Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 3, 2025 p: 30-44

OPEN ACCESS

Research Paper

Combinability and Heterosis in Diallele Crosses between Spring and Winter Canola

Mahtabeh Samadi Gorji[1], Nadali BabaeianJelodar[2], Ghafar Kiani[3], Valiollah Rameeh[4] and Nadali Bagheri[5]

1- Ph.D. Student, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
2- Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, (Corresponding author: nbabaeian@yahoo.com)
3- Associate Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Crops Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
4- Associate Professor, Center of Research and Education of Agriculture and Natural Resources of Mazandaran Province, Organization of Research, Education and Promotion of Agriculture, Sari, Iran
5- Associate Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 21 December, 2024 Revised: 17 February, 2025 Accepted: 26 April, 2025

Extended Abstract

Background: Canola (*Brassica napus* L.) has become the third most valuable edible oilseed crop worldwide after soybean and oil palm. Considering the importance of canola cultivation, it is important to identify genotypes with high yield potential to obtain superior crosses. Combining ability can determine the capacity of an individual toward the transmission of superior performance to offspring. Diallele analysis is used as a very powerful and efficient method to estimate genetic parameters, gene function, specific and general combinability, and determine the amount of heterosis. In this study, therefore, diallele crossing was used in eight spring and winter cultivars to estimate the combinability and heterosis of these cultivars in terms of phenological and morphological traits to identify promising parents and hybrids for future breeding programs.

Methods: Four spring canola cultivars (RGS, Asa, Baharan, and Dalgan) and four winter cultivars (Zarfam, Nima, SLM2246, and Okapi) were crossed as a one-way diallele design in 2022-2023. The hybrids of the first generation, along with eight parents (36 genotypes in total), were evaluated in a randomized complete block design with three replications in 2023-2024. The studied traits included the number of days to flowering, the number of days to maturity, plant height, length of the main branch, the number of sub-branches, the number of pods in the main branch, the number of pods in the sub-branch, pod length, the number of grains per pod, 1000-grain weight, and seed yield. Statistical calculations of the measured data were performed using DIALL (1.1) and SPSS (16) software.

Results: The results of diallele analysis in both general combinability (GCA) and specific combinability (SCA) were significantly different among the parents and hybrids for all the investigated traits; therefore, additive and non-additive components play a role in the inheritance of all traits. On the other hand, the estimates of GCA variances were higher than the SCA variance in all the studied traits, indicating that additive variance was more than the non-additive variance. Spring genotypes with negative and significant GCA for the number of days to flowering will be prioritized to reach early cultivars. Negative and significant results of SCA were observed in six crossings for this trait. Most crosses with negative and significant SCA had at least one parent with negative and significant GCA for this trait. In terms of plant height, RGS and Dalgan genotypes showed significant negative GCA. Six hybrids had negative and significant SCA for plant height; hence, they can be used to reduce height in breeding programs. There was a positive and significant GCA in increasing the number of pods in the main branch of the Baharan, Dalgan, and Asa genotypes and the number of pods in the sub-branch of the Nima, SLM046, and Okapi genotypes. Therefore, these genotypes will be prioritized to increase these traits. In addition, positive and negative SCA were observed in crosses for these traits. Asa, Baharan, and Zarfam genotypes with positive and significant GCA were recognized as the best combiners to increase the number of seeds in the pod. Seven hybrid compounds with positive and significant SCA were recognized as superior compounds for increasing this trait. Asa and Dalgan genotypes with significant positive GCA were considered among the desirable genotypes for increasing grain

Copyright ©2025 Samadi Gorji et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

yield. SCA was observed positively and significantly in 11 crosses, which indicated the non-additive effect of genes to increase this trait. The degree of heterosis compared to the superior parent for the number of days to flowering trait in most of the crosses was significant in the negative direction. Varieties RGS×Okapi, Baharan × Okapi, and Asa × Okapi crosses with significant heterosis will be given priority in terms of early maturity. Considering the desirability of shortening in rapeseed, RGS × Asa and RGS × Zarfam crosses with significant negative heterosis are preferred for height reduction. The crosses SLM046 × Okapi and Asa × Zarfam showed the highest amount of heterosis in the number of pods in the main branch. The crosses Nima × Okapi, SLM046 × Okapi, and Baharan × Dalgan with the highest amount of heterosis will be prioritized to improve the number of pods in the branch. RGS × Okapi, Baharan × Dalgan, Asa × Okapi, and RGS × Zarfam crosses showed significant positive heterosis in terms of the number of seeds in the pod. In terms of grain yield, Dalgan × Okapi, Dalgan × SLM046, Zarfam × SLM046, Baharan × Zarfam, and Nima × Okapi crosses are preferred with the highest amount of heterosis.

Conclusion: The estimation of traits' combinability showed that RGS and Dalgan cultivars were the best general combiners to reduce the number of days to flowering, the number of days to maturity, and plant height. Therefore, these cultivars can be considered a source of desirable alleles to achieve early maturity. In addition, Asa and Baharan cultivars were recognized as the best combiners to increase yield and some related traits. Nima × Okapi, Dalgan × Okapi, RGS × Dalgan, and Asa × Okapi crosses were the best specific combiner hybrids for increasing yield and some related traits, while these crosses showed positive and high heterosis in seed yield. Therefore, their parents can be suggested for the production programs of new cultivars and improvement of canola genotypes for seed yield.

Keywords: Combinability, Diallel, Heterosis, Rapeseed

How to Cite This Article: Samadi Gorji, M., BabaeianJelodar, N., Kiani, Gh., Rameeh, V., & Bagheri, N. (2025). Combinability and Heterosis in Diallele Crosses between Spring and Winter Canola. *J Crop Breed,* 17(3), 30-.44
DOI: 10.61882/jcb.2024.1592

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

تجزیه ترکیب‌پذیری و هتروزیس در تلاقی دای‌آلل بین ارقام بهاره و زمستانه کلزا

مهتابه صمدی گرجی[۱]، نادعلی بابائیان[۲]، غفار کیانی[۳]، ولی‌الله رامئه[۴] و نادعلی باقری[۵]

۱- دانشجوی دکتری، ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: nbabaeian@yahoo.com)
۳- دانشیار، گروه اصلاح نباتات، 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، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶
صفحه: ۳۰ تا ۴۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کلزا (*Brassica napus* L.) به سومین محصول با ارزش دانه‌های روغنی خوراکی در سراسر جهان پس از سویا و نخل روغنی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت کشت کلزا، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با برخورداری از پتانسیل عملکردی بالا برای به‌دست آوردن تلاقی‌های برتر دارای اهمیت است. توانایی ترکیب‌پذیری می‌تواند ظرفیت یک رقم را جهت انتقال عملکرد برتر به نتاج مشخص کند. تجزیه و تحلیل دای‌آلل به‌عنوان روشی بسیار قوی و کارا به‌منظور برآورد پارامترهای ژنتیکی، عمل ژن‌ها، ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی و تعیین میزان هتروزیس استفاده می‌شود. لذا، در این پژوهش از تلاقی دای‌آلل در هشت رقم بهاره و زمستانه بهره گرفته شد تا توانایی ترکیب‌پذیری و هتروزیس این ارقام از نظر صفات فنولوژیک و مورفولوژیک برای انتخاب برترین والدها و تلاقی‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

مواد و روش‌ها: چهار رقم کلزای بهاره (Dalgan, Baharan, and RGSAsa,) و چهار رقم زمستانه (Okapi, SLM2246, Nima, and Zarfam) در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به‌صورت طرح دای‌آلل یک طرفه تلاقی داده شدند. دورگ‌های نسل اول به‌همراه هشت والد (جمعاً ۳۶ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ ارزیابی شدند. در این آزمایش، صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، طول شاخه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در شاخه اصلی، تعداد خورجین در شاخه فرعی، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه با انتخاب تصادفی پنج بوته از هر کرت اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفتند. محاسبات آماری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزارهای DIALL(1.1) و SPSS (16) صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه دای‌آلل نشان دادند که میانگین مربعات توانایی ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) در همه صفات معنی‌دار بود، بنابراین اجزای افزایشی و غیر افزایشی در وراثت کلیه صفات نقش دارند. از طرفی، در تمامی صفات مورد مطالعه واریانس GCA نسبت به واریانس SCA بیشتر بود که نشان دهنده اهمیت بیشتر اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات بود. ژنوتیپ‌های بهاره با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای تعداد روز تا گلدهی جهت رسیدن به ارقام زودرس در اولویت خواهند بود. نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی در شش ترکیب تلاقی برای این صفت به‌صورت منفی و معنی‌دار مشاهده شد. اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای صفت تعداد روز تا گلدهی بودند. از لحاظ ارتفاع گیاه، ژنوتیپ‌های RGS و Dalgan ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار نشان دادند. شش ترکیب تلاقی دارای ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار برای ارتفاع بوته بودند، لذا می‌توانند برای کاهش ارتفاع در برنامه‌های به‌نژادی استفاده شوند. از لحاظ افزایش تعداد غلاف در شاخه اصلی، ژنوتیپ‌های Baharan و Asa, Dalgan و افزایش تعداد غلاف در شاخه فرعی ژنوتیپ‌های SLM046, Nima و Okapi ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار داشتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها برای افزایش این صفات در اولویت خواهند بود. ضمن این‌که ترکیب‌پذیری خصوصی به‌صورت مثبت و منفی معنی‌دار در ترکیب تلاقی‌ها برای این صفات مشاهده شد. ژنوتیپ‌های Asa، Baharan و Zarfam با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان بهترین ترکیب شونده جهت افزایش تعداد دانه در غلاف شناخته شدند. هفت ترکیب تلاقی با داشتن ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان ترکیبات برتر برای افزایش این صفت شناخته شدند. ژنوتیپ‌های Asa و Dalgan با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار برای افزایش عملکرد دانه در زمره ژنوتیپ‌های مطلوب محسوب شدند. ترکیب‌پذیری خصوصی در ۱۱ تلاقی به‌صورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد، که نمایانگر اثر غیر افزایشی ژن‌ها برای افزایش این صفت بود. میزان هتروزیس نسبت به والد برتر برای صفت تعداد روز تا گلدهی در اغلب تلاقی‌ها در جهت منفی معنی‌دار گردید، که از نظر رسیدن به ارقام زودرس تلاقی‌های RGS × Okapi، Baharan × Okapi و Asa × Okapi با میزان هتروزیس منفی و معنی‌دار در اولویت خواهند بود. با توجه به مطلوبیت پاکوتاهی در کلزا، تلاقی‌های RGS × Asa و RGS × Zarfam به‌ترتیب با هتروزیس منفی معنی‌دار برای کاهش ارتفاع در اولویت هستند. تلاقی‌های SLM046 × Okapi و Asa × Zarfam بیشترین میزان هتروزیس تعداد غلاف در شاخه اصلی را داشتند. تلاقی‌های Nima × Okapi، SLM046 × Okapi و Baharan × Dalgan با بیشترین میزان هتروزیس برای بهبود تعداد غلاف در شاخه فرعی در اولویت خواهند بود. تلاقی‌های RGS × Okapi، Baharan × Dalgan، Asa × Okapi و RGS × Zarfam هتروزیس مثبت معنی‌دار از لحاظ تعداد دانه در غلاف داشتند. از لحاظ عملکرد دانه، تلاقی‌های Dalgan × Okapi، Dalgan×SLM046، Zarfam×SLM046، Baharan × Zarfam و Nima × Okapi با دارابودن بیشترین میزان هتروزیس در اولویت هستند.

نتیجه‌گیری: برآورد ترکیب‌پذیری صفات نشان داد که ارقام RGS و Dalgan به‌عنوان بهترین ترکیب شونده‌های عمومی در جهت کاهش تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی و ارتفاع گیاه بودند. لذا این ارقام می‌توانند به‌عنوان منبع آلل‌های مطلوب برای دستیابی به زودرسی مد نظر قرار گیرند. همچنین، ارقام Asa و Baharan در جهت افزایش عملکرد و برخی صفات مرتبط با آن به‌عنوان بهترین ترکیب شونده شناخته شدند. تلاقی‌های Nima × Okapi، Dalgan × Okapi، RGS × Dalgan و Asa × Okapi برای افزایش عملکرد و برخی صفات مربوط به آن، بهترین ترکیب شونده خصوصی شناخته شدند، ضمن این که این تلاقی‌ها هتروزیس مثبت و بالایی را در عملکرد دانه نشان دادند. بنابراین، می‌توان والدین آنها را برای برنامه‌های تولید ارقام جدید و بهبود ژنوتیپ‌های کلزا از لحاظ عملکرد دانه پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری عمومی، ترکیب‌پذیری خصوصی، کلزا، هتروزیس

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) به سومین محصول با ارزش دانه‌های روغنی خوراکی در سراسر جهان پس از سویا و نخل روغنی تبدیل شده است. سهم اختصاص‌یافته ایران در تولید دانه روغنی کلزا برابر با ۳۰۰ هزار تن از ۸۸ میلیون تن تولید جهانی در سال ۲۰۲۲ است (FAOSTAT, 2022). کلزا با میزان پایین اسید اروسیک و گلوکوزینولات تعریف شده است، از این‌رو به‌عنوان دانه روغنی مهم و ایمن در نظر گرفته می‌شود. اهمیت کلزا می‌تواند به‌دلیل وجود اسیدهای چرب مناسب، محتوای بالای روغن دانه و استفاده از آن به‌عنوان یک محصول بیودیزل امیدوارکننده باشد (Tian *et al.,* 2020). علاوه بر این، چندین مزیت در تناوب زراعی به‌دلیل برداشت زودتر نسبت به غلات زمستانه دارد (Menendez *et al.,* 2019). بنا بر این، می‌تواند به‌طور مؤثر در کاهش شکاف بین نیازهای تولید و مصرف روغن کمک کند. بر این اساس، توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد و کیفیت بالا از بزرگترین اهداف اصلاحی کلزا است. بهبود ژنتیکی در گونه‌های جنس *Brassica* از طریق اصلاح نباتات اساساً به وجود تنوع ژنتیکی کافی در خزانه ژنی نیاز دارد. دورگ‌گیری راهبرد اصلی اتخاذ شده برای ایجاد و گسترش تنوع ژنتیکی موجود و توسعه واریته‌های مطلوب است. با این وجود، انتخاب عاقلانه والدین جهت دورگ‌گیری همچنان برای انتخاب موفق برنامه و توسعه انواع واریته‌هایی که عملکرد بهتری نسبت به ارقام قدیمی دارند، چالش بزرگی است. توانایی ترکیب‌پذیری می‌تواند ظرفیت فرد را در جهت انتقال عملکرد برتر به نتاج آن مشخص کند. توانایی ترکیب‌پذیری نقش مهمی در انتخاب والدین دارد و برای پی بردن به ماهیت عملکرد ژن مفید است (Sincik *et al.,* 2011). از این‌رو می‌توان با انجام تلاقی و بررسی میزان ترکیب‌پذیری دورگ‌های مختلف و سرانجام گزینش در نسل‌های در حال تفکیک صفات مطلوب را به ارقام مورد نظر منتقل نمود. اما قبل از تلاش در راستای انتقال صفات به لاین‌های جدید با صفات زراعی مطلوب این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که اساساً یک صفت از نظر ژنتیکی به چه نحوی کنترل می‌شود. لذا ضروری است که اساس کنترل ژنتیکی این صفات از طریق تجزیه و تحلیل دای‌آلل بررسی شود. این اطلاعات در تعیین روش مناسب اصلاحی و همچنین انتخاب والدین دورگ‌های مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی بسیار حائز اهمیت است. روش دای آلل از متداول‌ترین طرح‌های ژنتیکی است که بیشترین کاربرد را در کارهای اصلاحی دارد و می‌تواند والدین برتر و هیبریدها، تجزیه و تحلیل عملکرد ژن و برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) والدین و تلاقی‌ها را مشخص کند. ترکیب‌پذیری عمومی معیاری از فعالیت افزایشی ژن است که به میانگین عملکرد یک ژنوتیپ در مجموعه‌ای از ترکیبات هیبریدی مربوط می‌شود، در حالی‌که ترکیب‌پذیری خصوصی عملکرد یک والد در یک تلاقی مشخص با توجه به توانایی ترکیب‌پذیری عمومی است (Ali *et al*., 2014). اکثر مطالعات قبلی در مورد توانایی‌های ترکیب‌پذیری، اثرات GCA و SCA قابل‌توجهی را برای عملکرد و ویژگی‌های اجزای آن نشان داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهند که هر دو عملکرد افزایشی و غیر افزایشی ژن در وراثت این صفات مهم هستند (Rameah *et al.,* 2003; Tahira & Hussain, 2008; Huang *et al.,* 2010). الشراری و همکاران (Alsharari *et al.,* 2023) به‌منظور بررسی توانایی ترکیب‌پذیری برای عملکرد، میزان روغن و ترکیبات فیزیو-بیوشیمیایی تلاقی نیمه دای‌آلل در بین هفت ژنوتیپ کلزا تحت تنش شوری اجرا کردند. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای همه صفات بسیار معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های والدینی Serw4 و Pactol ترکیب‌کننده‌های عمومی خوبی برای افزایش میزان روغن دانه (SOC)، عملکرد دانه در گیاه (SYPP) و برخی از اجزای عملکرد بودند. رامئه (Rameeh, 2023) در آزمایشی با استفاده از تجزیه لاین × تستر دو رقم بهاره و شش رقم کلزای زمستانه، الگوهای هتروتیک صفات فنولوژیکی، ارتفاع بوته و عملکرد دانه برآورد کرد. در این بررسی اثرات ژنتیکی غیر افزایشی (SCA)، تنها برای ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بود. ماندال و همکاران (Mandal *et al.,*2023) در بررسی تجزیه و تحلیل پنج تستر و هفت لاین برای شناسایی تلاقی‌های هتروتیک بالا و روابط آن‌ها از نظر GCA و SCA در خردل هندی (*Brassica juncea*)، واریانس SCA بالاتر از واریانس GCA را گزارش کردند که عملکرد غیر افزایشی ژن بر عملکرد افزایشی ژن غالب بود. در آزمایشی، اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی ارتفاع بوته، عملکرد دانه و همچنین عملکرد روغن و پروتئین برای سه تستر و شش لاین بهاره کلزا با استفاده از طرح لاین در تستر برآورد شد. تجزیه واریانس برای والدین و دورگ‌ها برای همه صفات نشان داد که تنوع ژنتیکی معنی‌داری در بین والدین و دورگ‌ها وجود داشت. میانگین مربعات والدین در مقابل دورگ‌ها که نشان‌دهنده میانگین اثرات هتروزیس است که برای همه صفات به‌جز محتوای روغن و پروتئین معنی‌دار بود (Rameeh, 2020). ماهانتا و باروا (Mahanta & Barua, 2020) در تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری، تنوع معنی‌دار ناشی از اثرات GCA، SCA برای صفات مختلف در شلغم روغنی (*Brassica rapa* L.) گزارش کردند. عبدالستار و همکاران (Abdelsatar *et al.,* 2020) برای تعیین انواع ترکیب‌پذیری، هتروزیس و اثرات ژنتیکی صفات زراعی، شش ژنوتیپ کلزا را با استفاده از طرح تلاقی نیمه دای‌آلل تلاقی دادند. برتری عمل غیرافزایشی ژن برای اکثر صفات مورد مطالعه مشاهده شد که توسط میانگین درجه غالبیت و وراثت‌پذیری خصوصی تأیید شد. ارقام کلزا با توجه به نیاز به بهاره‌سازی برای شروع گلدهی به دو دسته زمستانه و بهاره دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به محدودیت پایه ژنتیکی کلزای بهاره، نوع زمستانه آن می‌تواند انتخاب مناسبی برای افزایش پتانسیل عملکرد و تنوع ژنتیکی تیپ بهاره در دورگ‌گیری بین تیپ‌های زمستانه و بهاره باشد (Qian *et al.,*2007; Kebed *et al.,*2010). گوریون و همکاران (Gourrion *et al.,* 2020) امکان افزایش عملکرد تیپ بهاره را با استفاده از ژرم‌پلاسم زمستانی بررسی کردند. به‌طور کلی، دورگ‌گیری بین گروه‌های ژنتیکی متمایز از سطوح بالاتر هتروزیس نسبت به درون گروه‌ها بهره‌برداری می‌کند. بهره‌برداری از سطح بالای هتروزیس در گیاهان مستلزم هتروزیس بالا و قابل استفاده، مکانیسم کنترل گرده افشانی موثر و سودآوری تولید بذر است

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

(Chand *et al.,* 2018). هتروزیس به عملکرد بهتر نتاج تلاقی در مقایسه با والدین اشاره دارد و استفاده از آن کمک زیادی به تولیدات کشاورزی می‌کند. اطلاعات مربوط به هتروزیس می‌تواند زمینه‌ای را برای بهره‌برداری از ترکیبات تلاقی ارزشمند در برنامه اصلاحی فراهم کند (Naushad *et al.,* 2006) و به‌همین دلیل، دستیابی به هتروزیس به هدف اصلی برای اصلاح‌گران کلزا و گونه‌های خویشاوند تبدیل شده است (Ahmad *et al.,* 2013). استفاده از هتروزیس، به‌ویژه هتروزیس والدین برتر، تبدیل به یک راهبرد اصلی برای افزایش عملکرد گیاهان از جمله محصولات اصلی مانند ذرت، برنج، پنبه و دانه روغنی کلزا شده است (Hochholdinger & Baldauf, 2018). مشاهده هتروزیس مثبت یا منفی برای صفات مورد مطالعه بر اساس تنوع ژنتیکی بین والدین توسط ولکو و همکاران (Wolko *et al.,* 2019) گزارش شده است. در آزمایشی بر اساس بیان معنی‌دار و مثبت اثرات هتروزیس برای صفات فنولوژیکی و ارتفاع گیاه در والدین زمستانه، نتیجه‌گیری شد که نتاج F_1 بلوغ زودتر و کوتاه‌تری نسبت به والدین زمستانه داشتند (Rameeh, 2023). در بررسی که توسط ماندال و کار (Mandal & Kar, 2023) صورت گرفت تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها (والد و تلاقی) برای همه صفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هتروزیس مثبت معنی‌دار در TN-3 X NPJ-112 (۱۳/۷۵) مشاهده شد. بیشترین هتروزیس مثبت برتر از والد در تلاقی TN-3 X NPJ-112 (۱۷/۰۷) برای عملکرد دانه ثبت شد. در بررسی سینگ و همکاران (Singh *et al.,* 2003) هتروزیس معنی‌دار نسبت به رقم استاندارد برای عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و دانه در غلاف مشاهده شد. با این‌حال، هتروزیس والد برتر، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخه‌های اولیه و دانه در غلاف به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از هتروزیس رقم استاندارد بود. با توجه به اهمیت کشت کلزا، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با برخورداری از پتانسیل عملکردی بالا برای به‌دست آوردن تلاقی‌های برتر دارای اهمیت است. آگاهی از نحوه کنترل ژنتیکی و توارث اجزای عملکرد که موجب انتخاب بهترین روش به‌نژادی و در نهایت موجب اصلاح عملکرد می‌شود، ضروری است. از این‌رو، باید اطلاعات جامع و دقیقی از پارامترهای ژنتیکی کنترل‌کننده اجزای عملکرد در تصمیم‌گیری برای انتخاب روش به‌نژادی مناسب جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دانه جمع‌آوری گردد. تجزیه و تحلیل دای‌آلل به‌عنوان روشی بسیار قوی و کارا به‌منظور برآورد پارامترهای ژنتیکی همچون وراثت‌پذیری، عمل ژن‌ها، ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی و تعیین میزان هتروزیس استفاده می‌شود (Shoshi-Dezfoli & Honarnezhad, 2005). لذا، در این پژوهش از تلاقی دای‌آلل در هشت رقم بهاره و زمستانه بهره گرفته شد تا قابلیت ترکیب‌پذیری و هتروزیس این ارقام از نظر صفات فنولوژیک و مورفولوژیک برای انتخاب برترین والدها و تلاقی‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، چهار رقم کلزای بهاره (RGS، Asa، Baharan، و Dalgan) و چهار رقم زمستانه (Zarfam، Nima، SLM046، و Okapi) به‌عنوان والدین تلاقی‌ها انتخاب شدند (جدول ۱). پس از کاشت ارقام در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلاقی‌های ممکن بین ارقام بهاره و زمستانه به‌صورت طرح دای‌آلل یک‌طرفه انجام گرفت. به‌منظور همزمانی گلدهی جهت میسر شدن تلاقی بین ارقام بهاره و زمستانه، کشت بذور والدینی در دو تکرار با تاریخ کشت‌های مختلف برای ارقام زمستانه صورت گرفت. در مرحله گلدهی با ایزولاسیون گل‌های والد گرده دهنده (پدری) و اخته کردن گل‌های گرده گیرنده (مادری) در هر والد، چندین تلاقی دای‌آلل یک‌طرفه انجام شد تا بذور F_1 کافی جهت کشت در آزمایش تکراردار سال بعد حاصل گردد. برنامه تلاقی‌های لازم بین ارقام بهاره و زمستانه با اخته کردن گل‌ها و گرده‌افشانی به‌صورت دستی صورت گرفت. در هر تلاقی، بین ۳۶-۱۰ غنچه گل مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، بذور مربوط به هر تلاقی (F_1) به‌طور جداگانه برداشت و بوجاری و جهت کاشت و ادامه بررسی‌ها در سال زراعی بعد ذخیره‌سازی شدند. سپس در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ دورگ‌های نسل اول به‌همراه هشت والد (جمعا ۳۶ ژنوتیپ) در سه ردیف دو متری با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متری و فاصله روی ردیف ۸ سانتی‌متر در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار کشت شدند. در مرحله داشت، کلیه عملیات مربوطه از قبیل کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات انجام شد. در این آزمایش صفات فنولوژیک (تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی) به‌همراه صفات مورفولوژیک از قبیل ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، طول شاخه اصلی (سانتی‌متر)، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در شاخه اصلی، تعداد خورجین در شاخه فرعی، طول خورجین (سانتی‌متر)، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار) با انتخاب تصادفی پنج بوته از مرکز هر کرت اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفتند. تجزیه واریانس و ارزیابی نتاج نسل اول و والدین از نظر کلیه صفات مورد بررسی صورت گرفت. برای تجزیه ژنتیکی از روش دوم و مدل یک گریفینگ استفاده گردید. واریانس‌های ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) مطابق با واریانس‌های خطای مربوطه آن‌ها که از جدول تجزیه واریانس به‌دست آمد مورد آزمون قرار گرفتند. آزمون معنی‌دار بودن اثرات GCA و SCA با استفاده از آزمون t-استیودنت انجام شد. هتروزیس والد برتر برآورد شد و جهت آزمون هتروزیس از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. محاسبات آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده توسط نرم‌افزارهای DIALL(1.1) و SPSS (16) صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه ترکیب‌پذیری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دادند که برای تمامی صفات تفاوت معنی‌داری وجود داشت. با توجه به معنی‌دار بودن

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

کلیه صفات، امکان تجزیه دای‌آلل وجود داشت و لذا در ادامه کار تجزیه دای آلل بر روی کلیه صفات صورت گرفت (جدول ۲). نتایج تجزیه دای‌آلل براساس روش دوم و مدل یک گریفینگ نشان داد که میانگین مربعات توانایی ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) در همه صفات معنی‌دار بود، یعنی بین توانایی ترکیب‌پذیری عمومی والدین مختلف اختلاف معنی‌دار وجود داشت، بنابراین جزء افزایشی واریانس قابل توارث در وراثت کلیه صفات نقش دارد. همچنین، میانگین مربعات توانایی ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) در کلیه صفات معنی‌دار بود. بنابراین جزء غیر افزایشی واریانس قابل توارث نیز در کلیه صفات تأثیرگذار بود. از طرفی، در تمامی صفات مورد مطالعه واریانس GCA نسبت به واریانس SCA بیشتر بود.؛ این مسئله و همچنین قابلیت توارث خصوصی بالا برای تمامی صفات نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات در این بررسی بود (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های زی و همکاران (Xie *et al.,* 2018)، رامئه (Rameeh, 2016) و علی و همکاران (Ali *et al.,* 2015) مطابقت دارند که اهمیت بیشتر اثرات ژن افزایشی را در وراثت تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد شاخه فرعی، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و محتوای روغن گزارش کردند. با این‌حال، این نتایج متناقض با یافته‌های چانا و همکاران (Channa *et al.,* 2018)، دزفولی و همکاران (Dezfouli *et al.,* 2019)، ماندال و همکاران (Mandal *et al.,*2023) و الشتری و همکاران (Alsharari *et al.,* 2023) هستند، که اثرات بیشتر ژن غیر افزایشی را در کنترل صفات ارتفاع گیاه، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، وزن هزار دانه، میزان روغن و عملکرد دانه در بوته بیان می‌کنند.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های کلزا مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. Specifications of rapeseed genotypes used in the present study

Growth type	تیپ رشدی	origin	منشا	Name of genotypes	نام ژنوتیپ	Number شماره
Spring	بهاره	Germany	آلمان	RGS	آر جی اس	1
Spring	بهاره	Iran	ایران	Asa	آسا	2
Spring	بهاره	Iran	ایران	Baharan	بهاران	3
Spring	بهاره	Iran	ایران	Dalgan	دلگان	4
Winter	زمستانه	Iran	ایران	Zarfam	زرفام	5
Winter	زمستانه	Iran	ایران	Nima	نیما	6
Winter	زمستانه	Germany	آلمان	SLM046	اس ال ام ۰۴۶	7
Winter	زمستانه	French	فرانسه	Okapi	اکاپی	8

جدول ۲- تجزیه واریانس دای‌آلل صفات اندازه‌گیری شده بر اساس روش دوم مدل اول گریفینگ

Table 2. Diallel analysis of variance for the measured traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) based on Griffing's method 2 (model I)

میانگین مربعات (Mean square)												
عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	وزن هزار دانه 1000-grain Weight	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	طول غلاف Pod length	تعداد غلاف شاخه‌های فرعی Pod per lateral branches	غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	طول شاخه اصلی Length of main branch	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
49837.03 ns	9.02 ns	0.82 ns	0.161 ns	1548.57**	11.28 ns	2.83**	2.57 ns	19.78*	33.95**	6.67ns	2	تکرار Repeat
631379.89*	0.006*	13.06*	0.431*	25558.97*	271.00*	3.71**	325.85*	55.50**	235.85*	433.98**	35	تلاقی Crosses
1516000**	0.008*	11.06*	0.934*	65946.84*	539.19*	8.46**	897.38*	1235.13*	685.76*	1754.21*	7	ترکیب‌پذیری عمومی GCA
410157.27*	0.005*	13.56*	0.305 ns	15462.01*	203.93*	2.52**	182.97*	385.60**	123.38*	103.92**	28	ترکیب‌پذیری خصوصی SCA
23997.03	0.001	1.04	0.183	439.56	4.93	0.70	5.29	5.78	93.89	5.90	70	خطا Error
3.69**	1.60	0.82	3.06**	4.27**	2.64*	3.36**	4.90**	3.20**	5.56**	16.88**		MS(GCA)/MS(SCA)
0.88	0.74	0.60	0.83	0.89	0.84	0.86	0.91	0.86	0.91	0.77	-	توارث خصوصی h^2

ns ، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns ,*, **: non-Significant and Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

اختلاف در نتایج مطالعات مختلف می‌تواند به‌دلیل تنوع در ژرم‌پلاسم و شرایط محیطی اجرای آزمایش باشد.

میانگین برآورد شده صفات و اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی

نتایج میانگین صفات بین ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی زیاد برای اصلاح صفات مورد مطالعه است (جدول ۳). میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (P = 0.05) دسته‌بندی شد. میانگین صفت تعداد روز تا گلدهی از ۱۱۳/۳۳ تا ۱۶۱ روز به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Asa و Okapi متغیر بود. ژنوتیپ‌های RGS، Asa، Baharan و Dalgan تعداد روز تا گلدهی کوتاهتری داشتند. از آنجایی‌که انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای گلدهی زودتر منجر به زودرسی نیز خواهد شد، لذا ژنوتیپ‌های RGS، Asa، Baharan و Dalgan با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای رسیدن به ارقام زودرس در اولویت خواهند بود (جدول ۴). میانگین تعداد روز تا گلدهی در تلاقی‌ها از ۱۲۲ تا ۱۶۰/۳۳ روز به‌ترتیب در تلاقی‌های RGS × Baharan و SLM046 × Okapi تغییر داشت و تلاقی‌های RGS × Dalgan ، RGS × Baharan و Asa × Zarfam به‌ترتیب با ۱۲۲، ۱۲۲/۳۳ و ۱۲۹ روز از مقادیر پایین این صفت برخوردار بودند (جدول ۵). برای

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

روز تا گلدهی، زودرسی معیاری مطلوب است و اثرات منفی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی مطلوب است. در نتیجه، والدین و تلاقی‌های با اثرات منفی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای این صفات اهمیت ویژه در برنامه اصلاحی خواهند داشت. نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی در شش ترکیب تلاقی برای این صفت به‌صورت منفی و معنی‌دار مشاهده شدند. اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای این صفت بودند (جدول ۶). ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی منفی معنی‌دار برای تعداد روز تا گلدهی در بررسی‌های یاداوا و همکاران (Yadava *et al.*,2012)، مینا و همکاران (Meena *et al.,* 2015) و ماندال و همکاران (Mandal *et al.,*2023) گزارش شده است.

میانگین تعداد روز تا رسیدگی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از ۱۸۰/۳۳ تا ۲۲۶ روز به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Zarfam و Okapi متغیر بود و اغلب ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج ترکیب‌پذیری عمومی ژنوتیپ‌ها برای تعداد روز تا رسیدگی نشان دادند که اثرات ترکیب‌پذیری عمومی تنها در ژنوتیپ‌های RGS (۵/۹۰-) و Zarfam (۶/۱۶-) به‌صورت منفی و معنی‌دار بودند (جدول ۴). بنا بر این، در برنامه‌های اصلاحی برای رسیدن به ارقام زودرس، ژنوتیپ‌های RGS و Zarfam با ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای بهبود ژنتیکی این صفت در اولویت هستند. میانگین تعداد روز تا رسیدگی در تلاقی‌های مورد بررسی از ۱۹۸/۳۳ تا ۲۲۳/۳۳ به‌ترتیب در تلاقی‌های RGS × Baharan و SLM046 × Okapi تغییر داشت (جدول ۵). به‌علت اهمیت بیشتر اثر افزایشی در کنترل این صفت فقط تلاقی Baharan × Zarfam دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای این صفت بود (جدول ۶). زودرسی همراه با عملکرد مناسب جز خصوصیات تیپ ایده‌آل در کلزا محسوب می‌شود. لذا برای این صفت انتخاب بر مبنای تعداد روز تا رسیدگی مدنظر قرار می‌گیرد و لیکن به‌علت تنوع پایین‌تر این صفت در مقایسه با تعداد روز تا شروع گلدهی به‌نظر می‌رسد که جهت انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس توجه بیشتر به تعداد روز تا شروع گلدهی از کارایی بیشتری برخوردار است.

پاکوتاهی به‌دلیل ایجاد افزایش تحمل به ورس و کودپذیری بالاتر از جمله صفات مطلوب در کلزا محسوب می‌شود. در این راستا، میانگین این صفت در ژنوتیپ‌ها از ۱۱۳/۴۶ تا ۱۴۹/۵۰ سانتی‌متر به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های RGS و Okapi متغیر بود و اغلب ژنوتیپ‌ها از نظر آماری در گروه‌های متمایزی دسته‌بندی شدند (جدول ۳). از لحاظ ارتفاع گیاه، ژنوتیپ‌های RGS (۱۴/۵۲-) و Dalgan (۱/۷۰-) ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار را نشان دادند. همچنین، برای این صفت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در ژنوتیپ‌های Asa (۵/۱۰)، Zarfam (۱/۸۴) و Nima (۱/۵۲) مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین ارتفاع گیاه در تلاقی‌های مورد مطالعه تنوع و پراکندگی زیادی را نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند. میانگین این صفت در تلاقی‌ها از ۱۲۲/۸۵ تا ۱۷۶/۳۳ سانتی‌متر به‌ترتیب در تلاقی‌های RGS × Asa و Zarfam × SLM046 تغییر داشت (جدول ۵). ترکیب‌پذیری خصوصی برای ارتفاع گیاه در شش تلاقی به‌صورت منفی و معنی‌دار مشاهده شد. همان‌طور که بیان شد، کاهش ارتفاع گیاه با افزایش تحمل به خوابیدگی از اهداف مهم به‌نژادی کلزا به‌شمار می‌آید. بنا بر این، می‌توان از تلاقی‌هایی مانند RGS × Asa، Baharan × Okapi، Dalgan × Zarfam، Dalgan × Okapi، Zarfam × Nima و Nima × Okapi که دارای ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار برای ارتفاع بوته هستند برای کاهش ارتفاع در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد (جدول ۶). قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh Sarcheshmeh *et al.,* 2024) در بررسی ترکیب‌پذیری و هتروزیس ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط آبیاری نرمال و خشکی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی منفی و معنی‌دار بین والدها و تلاقی‌های مورد مطالعه گزارش کردند. بیشترین و کمترین میانگین طول شاخه اصلی در ژنوتیپ‌های Dalgan و Nima به‌ترتیب ۶۲/۳۳ و ۲۹/۴۰ سانتی‌متر بود. اغلب ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مجزا دسته‌بندی شدند (جدول ۳). براساس نتایج ترکیب‌پذیری، ژنوتیپ‌های RGS، Baharan و Dalgan ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار نشان دادند. ژنوتیپ Baharan با داشتن بیشترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای بهبود این صفت در اولویت خواهد بود (جدول ۴). میانگین طول شاخه اصلی در تلاقی‌های مورد بررسی از ۳۷/۸۶ تا ۷۷/۰۳ سانتی‌متر تغییر داشت (جدول ۵). تلاقی‌های RGS × Dalgan و Baharan × Dalgan به‌ترتیب با ۷۷/۳۰ و ۷۲/۳۳ از اولویت برخوردار بودند. تلاقی‌های RGS × Dalgan و Nima × SLM046 دارای بیشترین میزان ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای صفت طول شاخه اصلی بودند (جدول ۶). میانگین تعداد شاخه فرعی از ۵/۵۶ تا ۸/۴۳ عدد در ژنوتیپ‌های Nima و Baharan تنوع داشت (جدول ۳). ژنوتیپ‌های Nima، SLM046 و Zarfam به‌ترتیب با تعداد شاخه فرعی ۸/۴۳، ۷/۳۰ و ۷/۱۶ عدد مقادیر بالای این صفت را به‌خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های Nima و SLM046 با برخورداری از ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار برای اصلاح در جهت افزایش این صفت در اولویت انتخاب خواهند بود (جدول ۴). میانگین تعداد شاخه فرعی در تلاقی‌های مورد مطالعه نیز از ۵/۵۶ تا ۱۰/۳۳ عدد تغییر داشت. تلاقی‌های Nima × Okapi، Asa × SLM046، Dalgan × Okapi وRGS × Nima به‌ترتیب با ۱۰/۳۳، ۹/۶۳، ۹/۴۰ و ۸/۹۳ عدد در ردیف ترکیبات برتر قرار گرفتند و از نظر آماری نیز تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). تلاقی‌های Dalgan × Okapi، Asa × SLM046 و Nima × Okapi با داشتن ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار به‌عنوان ترکیبات برتر برای این صفت شناخته شدند (جدول ۶).

میانگین صفت تعداد غلاف در شاخه فرعی از ۱۱۵/۶۶ تا ۳۴۶/۵۰ عدد به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Nima و Baharan تغییر داشت و ژنوتیپ‌های Nima، SLM046، Asa و Okapi به ترتیب با ۳۴۶/۵۰، ۲۳۵/۷۶، ۲۳۳/۹۰ و ۲۲۳/۰۶ از مقادیر بالای این صفت برخوردار بودند (جدول ۳).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

ژنوتیپ‌های Nima، SLM046 و Okapi با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده جهت افزایش تعداد غلاف در شاخه فرعی شناخته شدند (جدول ۴). میانگین این صفت در تلاقی‌ها از ۱۴۱/۶۶ تا ۵۲۶/۳۳ عدد تغییر داشت. تلاقی‌های Nima × Okapi، SLM046 × Okapi، Asa × SLM046 و Baharan × Nima به‌ترتیب با ۵۲۶/۳۳، ۴۰۲/۱۰، ۳۷۸/۹۶ و ۳۷۲/۰۳ عدد از مقادیر بالای این صفت برخوردار بودند (جدول ۵). نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی در هشت ترکیب تلاقی‌ها برای تعداد غلاف در شاخه فرعی به‌صورت مثبت و منفی معنی‌دار مشاهده شدند (جدول ۶). اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای این صفت دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار بودند. رامئه (Rameeh, 2016) با مطالعه تلاقی‌های دای‌آلل یک‌طرفه هشت لاین کلزا، ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری را برای صفت تعداد غلاف در بوته گزارش کرد و اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند.

طول غلاف یکی از اجزای مؤثر بر عملکرد کلزا است که با انتخاب روی این صفت به‌طور غیرمستقیم می‌توان به افزایش عملکرد در نتیجه افزایش روغن دست یافت. میانگین این صفت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۵/۷۶ تا ۶/۸۶ سانتی‌متر در ژنوتیپ‌های Asa و RGS متغیر بود (جدول ۳) و اغلب ژنوتیپ‌ها از نظر آماری در یک گروه دسته‌بندی شدند. ژنوتیپ Asa با داشتن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار برای بهبود ژنتیکی این صفت در اولویت انتخاب خواهد بود (جدول ۴). به‌دلیل قابلیت توارث خصوصی نسبتاً بالا برای طول غلاف، بهبود ژنتیکی آن از طریق انتخاب امکان‌پذیر است. میانگین طول غلاف در تلاقی‌ها نیز از ۵/۲۶ تا ۷/۱۹ سانتی‌متر به‌ترتیب در تلاقی‌های Asa×SLM046 و Dalgan ×Zarfam تغییر داشت که از نظر آماری در گروه‌های متمایز قرار گرفتند (جدول ۵) تلاقی‌های RGS × Dalgan و Asa × SLM046 با برخورداری از ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار جزو ترکیب‌شونده‌های برتر برای بهبود طول غلاف شناخته شدند (جدول ۶).

تعداد دانه در غلاف یکی از اجزای مهم عملکرد کلزا محسوب می‌شود. میانگین این صفت از ۲۱/۰۶ تا ۲۶/۲۶ عدد به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Zarfam و RGS تغییر داشت و ژنوتیپ‌های Zarfam، Baharan، SLM046، Asa و Dalgan از مقادیر بالای این صفت برخوردار بودند و از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های Asa، Baharan و Zarfam با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده جهت افزایش تعداد دانه در غلاف شناخته شدند (جدول ۴). میانگین این صفت در تلاقی‌های مورد بررسی از ۱۹/۴۰ تا ۲۹/۹۳ عدد به‌ترتیب در تلاقی‌های Baharan × Dalgan و Zarfam × SLM046 متغیر بود (جدول ۵). تلاقی‌های RGS × Baharan، RGS × Zarfam، RGS × Okapi، Asa × SLM046، Asa × Baharan × Dalgan Okapi، Dalgan × Nima و با داشتن ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان ترکیبات برتر شناخته شدند (جدول ۶). میانگین وزن هزار دانه از ۰/۳۷۷ تا ۰/۴۷۰ گرم در ژنوتیپ‌های Zarfam و Baharan متغیر بود (جدول ۳). ژنوتیپ‌های Zarfam و SLM046 به‌ترتیب با وزن هزار دانه ۰/۴۷۰ و ۰/۴۶۹ گرم مقادیر بالای این صفت را به‌خود اختصاص دادند. لاین‌های Zarfam و SLM046 با برخورداری از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در ردیف والدهای مطلوب برای بهبود این صفت قرار داشتند (جدول ۴). میانگین این صفت در تلاقی‌های مورد بررسی از ۰/۳۶۰ تا ۰/۶۰۶ گرم در تلاقی‌های Zarfam × SLM046 و RGS × Okapi تغییر داشت (جدول ۵). تلاقی‌های RGS × Asa، Asa × Dalgan، Asa × SLM046، Baharan × Dalgan، Baharan × Okapi، Zarfam × SLM046 و Nima × Okapi با داشتن ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان ترکیبات برتر شناخته شدند (جدول ۶). رامئه (Rameeh, 2016) گزارش کرد که به‌علت اهمیت بیشتر اثر افزایشی در کنترل صفت وزن هزار دانه، فقط در یک تلاقی ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای این صفت مشاهده شد.

میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۱۲۰۰ تا ۱۹۵۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Nima و Asa متغیر بود (جدول ۳). همچنین، ژنوتیپ‌های Asa و Dalgan به‌ترتیب با عملکرد دانه ۱۹۵۳/۳۳ و ۱۸۹۳/۳۳ از مقادیر بالای این صفت برخوردار بودند و از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند و در یک گروه دسته‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های Asa و Dalgan با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار برای افزایش این صفت در زمره ژنوتیپ‌های مطلوب محسوب شدند (جدول ۴). میانگین این صفت در تلاقی‌های حاصل نیز از ۱۰۵۳/۳۳ تا ۲۸۶۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در تلاقی‌های Dalgan × Okapi و Zarfam × Nima تنوع داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تلاقی‌ها و گروه‌بندی آن‌ها نشان داد که ۱۴ ترکیب تلاقی با عملکرد دانه بالا به‌عنوان تلاقی‌های برتر بودند. ترکیب‌پذیری خصوصی در ۱۱ تلاقی به‌صورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۶)، که نمایانگر اثر غیر افزایشی ژن‌ها برای افزایش این صفت بود. ماندال و کار (Mandal & Kar, 2023) در بررسی هتروزیس و تجزیه ترکیب‌پذیری عملکرد و اجزای عملکرد در خردل هندی از مجموع ۲۱ تلاقی، چهار ترکیب تلاقی اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌داری را برای صفت عملکرد دانه در بوته گزارش کردند.

برآورد هتروزیس

برآورد هتروزیس تلاقی‌ها نسبت به والد برتر از نظر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی در جدول ۷ ارائه شده است.

میزان هتروزیس نسبت به والد برتر برای صفت تعداد روز تا گلدهی در اغلب تلاقی‌ها در جهت منفی معنی‌دار گردید، که از ۱۸/۶۶- تا ۴/۳۳- متغیر بود. اغلب تلاقی‌ها نسبت به والدین خود زودتر وارد مرحله گلدهی شدند که از نظر رسیدن به ارقام زودرس این یک مزیت محسوب می‌شود. در این راستا، تلاقی‌های RGS × Okapi، Baharan × Okapi و Asa × Okapi به‌ترتیب با میزان هتروزیس معنی‌دار ۱۸/۶۶-،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

۱۸/۶۶- و ۱۵/۳۳- در اولویت خواهند بود. رامئه (Rameeh, 2023) در بررسی الگوهای هتروتیک در تلاقی بین کلزای بهاره و زمستانه، در تمامی تلاقی‌ها برای تعداد روز تا گلدهی اثرات هتروزیس منفی و معنی‌دار را در والدین زمستانه، و اثرات هتروزیس مثبت و معنی‌دار را برای والدین بهاره گزارش کرد. میزان هتروزیس والد برتر برای تعداد روز تا رسیدگی تنها در تلاقی RGS × Baharan به‌صورت منفی و معنی‌دار مشاهده شد. مقادیر منفی هتروزیس بیانگر این است که تلاقی‌ها به‌طرف والد دارای مقدار کمتر صفت گرایش داشته‌اند که از نظر این صفت یک مزیت محسوب می‌شود. هتروزیس منفی معنی‌دار متوسط والدین و والد برتر برای روز تا ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی گزارش شد (Nassimi *et al.*, 2006). با توجه به مطلوبیت پاکوتاهی در کلزا، تلاقی‌های با هتروزیس منفی و معنی‌دار در اولویت خواهند بود و در این راستا تلاقی‌های RGS × Asa و RGS × Zarfam به‌ترتیب با هتروزیس معنی‌دار ۲۳/۳۰- و ۸/۷۳- برای کاهش ارتفاع در اولویت هستند. در آزمایشی، نتاج F_1 تلاقی ارقام زمستانه در بهاره بلندتر از واریته‌های بهاره اما کوتاه‌تر از والدین زمستانه بودند. بنا بر این، اثرات منفی و مثبت معنی‌دار هتروزیس برای ارتفاع بوته به‌ترتیب در والدین تیپ بهاره و زمستانه مشاهده شد (Rameeh, 2023). میزان هتروزیس والد برتر برای طول شاخه اصلی در ۱۰ تلاقی به‌صوت مثبت معنی‌دار و در هشت تلاقی به‌صورت منفی معنی‌دار مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود اثرات افزایشی و غیر افزایشی در بروز این صفت است. از لحاظ تعداد شاخه فرعی، هتروزیس در شش تلاقی به‌صورت مثبت و معنی‌دار بود، که تلاقی‌های Dalgan × Okapi و Asa × SLM046 به‌ترتیب ۲/۴۳ و ۲/۳۳ بیشترین میزان هتروزیس را به‌خود اختصاص دادند. هتروزیس تعداد غلاف در شاخه اصلی در نیمی از تلاقی‌ها به‌صورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. تلاقی‌های SLM046 × Okapi و Asa × Zarfam به‌ترتیب با میزان ۲۹/۳۳ و ۱۷/۷۰ بیشترین میزان هتروزیس را داشتند. از لحاظ تعداد غلاف در شاخه فرعی، در هفت ترکیب تلاقی هتروزیس مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های Nima × Okapi، SLM046 × Okapi و Baharan × Dalgan به‌ترتیب با بیشترین میزان هتروزیس ۱۷۹/۸۳، ۱۶۶/۳۳ و ۱۴۸/۳۳ برای بهبود این صفت در اولویت خواهند بود. تلاقی‌های RGS × Okapi، Baharan × Dalgan، Asa × Okapi و RGS × Zarfam به‌ترتیب ۴/۷۳، ۴/۱۳، ۱/۹۳ و ۱/۷۳ هتروزیس مثبت معنی‌دار از لحاظ تعداد دانه در غلاف داشتند. میزان هتروزیس وزن هزاردانه در بین تمامی تلاقی‌های مورد مطالعه تنها برای تلاقی‌های Asa × Zarfam، RGS × Asa و Baharan × Okapi به‌ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۵ و ۰/۰۵ به‌صورت هتروزیس مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. از لحاظ عملکرد دانه، نه ترکیب تلاقی میزان هتروزیس به صورت مثبت و معنی‌دار نشان دادند، و تلاقی‌های Dalgan × Okapi، Dalgan × SLM046، Zarfam × SLM046، Baharan × Zarfam و Nima × Okapi به ترتیب ۹۷۳/۳۳، ۸۵۳/۳۳، ۶۸۰/۰۰، ۵۷۳/۳۳ و ۵۶۶/۶۶ با دارابودن بیشترین میزان هتروزیس در اولویت هستند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فنولوژیکی و اجزای عملکرد در هشت ژنوتیپ کلزا

Table 3. Mean comparisons of phonological traits and yield components of eight oil rapeseed genotypes

والدها Parents	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Length of main branch (cm)	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	تعداد غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد غلاف شاخه‌های فرعی Pod per lateral branches	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod(cm)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)
RGS	117.33^{e}	204.33^{ab}	113.46^{e}	46.63^{c}	6.40b^{c}	39.63^{c}	184.16^{d}	5.76^{b}	21.06^{b}	0.429^{ab}	1353.33^{c}
Asa	113.33^{e}	208.00^{ab}	146.20^{ab}	48.30^{c}	6.23b^{c}	39.26^{c}	233.90^{b}	6.86^{a}	25.40^{a}	0.401^{bc}	1953.33^{a}
Baharan	127.67^{d}	214.33^{ab}	144.96^{b}	61.13^{a}	5.56^{c}	51.06^{a}	115.66^{e}	6.30^{ab}	25.80^{a}	0.377c	1606.67^{b}
Dalgan	123.00^{d}	211.33^{ab}	140.33^{c}	62.33^{a}	5.90b^{c}	42.50^{b}	188.16^{cd}	5.83^{b}	25.13^{a}	0.434^{ab}	1893.33^{a}
Zarfam	143.33^{c}	180.33^{b}	149.46^{a}	53.63^{b}	7.16ab^{c}	38.46^{c}	210.83^{bcd}	6.00^{ab}	26.26^{a}	0.470^{a}	1220.00^{c}
Nima	157.67^{a}	226.00^{a}	134.30^{d}	29.40^{e}	8.33^{a}	23.29^{e}	346.50^{a}	6.33^{ab}	22.5^{b}	0.435^{ab}	1200.00^{c}
SLM046	149.33^{b}	224.67^{a}	148.16^{ab}	32.50^{e}	7.30^{ab}	29.06^{d}	235.76^{b}	6.16^{ab}	25.66^{a}	0.469^{a}	1320.00^{c}
Okapi	161.00^{a}	226.00^{a}	149.50^{a}	41.63^{d}	6.96^{abc}	28.86^{d}	223.06^{bcd}	5.86^{b}	21.36^{b}	0.427^{ab}	1360.00^{c}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level, using Duncan‘s multiple range test.

جدول ۴- ترکیب‌پذیری عمومی اجزای عملکرد و عملکرد دانه در هشت ژنوتیپ کلزا

Table 4. General combining ability of yield components and seed yield in eight oil rapeseed genotypes

والدها Parents	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Length of main branch (cm)	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	تعداد غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد غلاف شاخه های فرعی Pod per lateral branches	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)
RGS	-9.03**	-5.90**	-14.52**	2.94**	-0.55**	-1.11**	-70.38**	-0.09^{ns}	-0.56**	-0.01*	-216.33**
Asa	-6.63**	-1.66^{ns}	5.10**	0.28^{ns}	-0.07^{ns}	1.70**	-8.34*	0.36**	0.38*	0.00^{ns}	256.33**
Baharan	-4.63**	-0.53^{ns}	0.53^{ns}	7.26**	-0.41**	7.41**	-21.24**	0.12^{ns}	1.05**	-0.00^{ns}	13.00^{ns}
Dalgan	-4.93**	-.90^{ns}	-1.70**	6.37**	-0.24^{ns}	2.98**	-18.09**	-0.09^{ns}	0.14^{ns}	0.00^{ns}	397.66**
Zarfam	0.00^{ns}	-6.16**	1.84**	-0.24^{ns}	-0.42**	-2.07**	-33.56**	-0.21**	0.47**	0.02**	-113.00**
Nima	9.53**	6.30**	1.52**	-8.68**	0.98**	-6.95**	73.31**	-0.07^{ns}	-0.55**	-0.01*	-259.00**
SLM046	5.06**	2.96^{ns}	6.46**	-3.53**	0.31*	0.28^{ns}	36.27**	0.02^{ns}	-0.46**	0.02**	-35.00^{ns}
Okapi	10.90**	5.90**	0.72^{ns}	-4.38**	0.42^{ns}	-2.24**	42.03**	-0.02^{ns}	-0.48**	-0.01*	-43.66^{ns}
SE(gi)	0.41	1.65	0.41	0.39	0.14	0.37	3.58	0.07	0.17	0.004	26.45

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns ,*, **: non-significant and significant at 5% and 1% probabilitylevels, respectively

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فنولوژیکی و اجزای عملکرد تلاقی‌های دای‌آلل یک‌طرفه هشت ژنوتیپ کلزا

Table 5. Mean comparisons of phonological traits and yield components of half diallel crosses of eight oil rapeseed genotypes

عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	طول غلاف (سانتی متر) Pod length (cm)	تعداد غلاف شاخه‌های فرعی Pod per lateral branches	تعداد غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Length of main branch (cm)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تلاقی‌ها Crosses
1560.00^{fg}	0.470^{b-f}	23.60^{ijk}	5.80^{b-f}	163.85^{j-m}	46.85^{efg}	7.20^{e-h}	50.35^{jk}	122.85^{n}	203.00^{d}	132.50^{ef}	RGS×Asa
1720.00^{def}	0.448^{f-h}	27.46bcd	6.43^{bc}	166.33^{j-m}	50.33^{de}	7.23^{e-h}	65.03^{c}	142.73^{lm}	198.33^{e}	122.00^{g}	RGS×Baharan
2320.00^{b}	0.401^{ijk}	25.40^{e-i}	6.36^{bc}	167.63^{j-m}	51.13^{de}	6.96^{f-j}	77.03^{a}	143.66^{lm}	204.00^{d}	122.33^{g}	RGS×Dalgan
1586.67^{fg}	0.479^{b-e}	28.00^{b}	6.23^{b-e}	141.33^{m}	40.00^{ijk}	5.56^{j}	61.73^{cde}	140.73^{m}	211.67^{c}	131.33^{ef}	RGS× Zarfam
1313.33^{g-j}	0.400^{ijk}	23.06^{k}	5.46^{ef}	202.23^{ijk}	39.06^{ijk}	8.93^{a-d}	48.60^{k}	156.100^{ghi}	216.67^{bc}	147.67^{c}	RGS× Nima
1186.67^{ij}	0.453^{c-h}	24.86^{g-k}	5.83^{b-f}	160.16^{lm}	41.13^{h-k}	7.50^{d-h}	55.63^{ghi}	146.83^{kl}	211.67^{c}	142.33^{c}	RGS× SLM046
1220.00^{ij}	0.360^{k}	26.10^{b-h}	6.03^{b-f}	178.33^{j-m}	38.26^{jk}	7.03^{f-j}	53.83^{hij}	145.90^{kl}	220.67^{ab}	142.33^{c}	RGS× Okapi
2086.67^{bc}	0.445^{d-i}	25.73^{c-h}	6.60^{ab}	162.03^{klm}	63.23^{a}	6.86^{f-j}	58.36^{d-g}	163.06^{ef}	213.33^{c}	131.67^{ef}	Asa×Baharan
2226.67^{bc}	0.500^{bc}	25.00^{g-k}	6.10^{b-e}	179.03^{j-m}	30.83^{l}	8.00^{b-h}	47.83^{k}	156.03^{ghi}	216.67^{bc}	144.33^{abc}	Asa×Dalgan
2133.33^{bc}	0.458^{c-h}	25.60^{d-i}	5.73^{c-f}	193.73^{i-l}	56.96^{bc}	6.73^{hij}	60.80^{c-f}	171.63^{bc}	213.33^{c}	129.00^{f}	Asa× Zarfam
2180.00bc	0.413^{ghi}	25.16^{f-j}	6.56^{ab}	291.10^{fg}	42.93^{ghi}	8.76^{b-e}	49.00^{jk}	172.23^{bc}	220.67^{ab}	149.67^{b}	Asa× Nima
2033.33^{bc}	0.511^{b}	26.86^{b-g}	7.19^{a}	378.96^{bc}	51.13^{de}	9.63^{ab}	58.40^{d-g}	169.26^{cd}	213.33^{c}	137.67^{d}	Asa× SLM046
2213.33^{bc}	0.462^{c-g}	27.36^{b-e}	6.60^{ab}	332.16^{de}	43.70^{f-i}	8.36^{b-h}	56.66^{fgh}	174.53^{ab}	220.67^{ab}	145.67^{c}	Asa× Okapi
2173.33^{bc}	0.480^{b-e}	29.93^{a}	6.20^{b-e}	336.50^{de}	63.03^{a}	8.10^{b-g}	72.33^{b}	151.60^{ij}	213.33^{c}	137.67^{d}	Baharan×Dalgan
2180.00^{bc}	0.434^{e-i}	27.13^{b-f}	6.00^{b-f}	203.96^{ijk}	50.43^{de}	6.83g-j	61.93^{cd}	158.96^{fg}	220.67^{ab}	137.67^{d}	Baharan×Zarfam
1246.67^{hij}	0.427^{f-i}	24.40^{h-k}	6.27^{b-e}	372.03^{bcd}	47.96^{ef}	8.76^{be}	53.26^{hij}	163.43^{e}	220.67^{ab}	144.00^{c}	Baharan×Nima
1673.33^{ef}	0.458^{c-h}	26.13^{b-h}	6.13^{b-e}	362.80^{cd}	49.76^{de}	8.10^{b-g}	57.50^{e-h}	157.96^{g}	216.67^{bc}	144.00^{c}	Baharan×SLM046
1573.33^{fg}	0.486^{bcd}	24.66^{h-k}	5.96^{b-f}	205.73^{ij}	43.30^{ghi}	7.56^{d-h}	57.16^{fgh}	148.83^{jk}	216.67^{bc}	142.33^{c}	Baharan×Okapi
2053.33^{bc}	0.433^{e-i}	23.36^{jk}	5.26^{f}	170.900^{j-m}	42.20^{hij}	6.36^{ij}	48.76^{k}	143.90^{lm}	213.33^{c}	133.00^{ef}	Dalgan ×Zarfam
1540.00^{fgh}	0.406^{hij}	26.00^{c-h}	5.96^{b-f}	249.56^{h}	39.80^{ijk}	7.90^{c-h}	49.86^{jk}	163.50^{e}	220.67^{ab}	144.00^{c}	Dalgan ×Nima
2746.67^{a}	0.484^{bcd}	23.26^{jk}	6.30^{bcd}	232.60^{hi}	53.06^{bc}	7.73^{d-h}	54.73^{ghi}	166.06^{de}	213.33^{c}	134.67^{de}	Dalgan×SLM046
2866.67^{a}	0.431^{e-i}	24.73^{h-k}	6.13^{b-e}	359.60^{cd}	52.86^{bc}	9.40^{abc}	63.70^{c}	148.53^{jk}	220.67^{ab}	152.33^{b}	Dalgan ×Okapi
1053.33^{j}	0.439^{d-i}	27.66^{bc}	5.70^{c-f}	303.53^{ef}	26.20^{m}	8.50^{b-g}	37.86^{l}	145.63^{kl}	222.00^{a}	151.00^{b}	Zarfam×Nima
2000.00^{bcd}	0.606^{a}	19.40^{l}	5.83^{b-f}	259.23^{gh}	45.23^{fgh}	7.80^{c-h}	55.96^{ghi}	176.73^{a}	213.67^{c}	144.00^{c}	Zarfam×SLM046
1160.00^{j}	0.427^{f-i}	27.60^{bcd}	6.10^{b-e}	223.10^{hi}	37.36^{k}	8.33^{b-g}	38.40^{l}	152.93^{hij}	216.67^{bc}	151.00^{b}	Zarfam ×Okapi
1486.67^{f-i}	0.442^{d-i}	25.60^{d-i}	5.53^{def}	348.50^{cd}	42.00^{hij}	8.53^{b-f}	52.10^{ijk}	165.36^{de}	222.00^{a}	152.67^{b}	Nima×SLM046
1926.67^{cde}	0.447^{d-i}	24.10^{h-k}	6.10^{b-e}	526.33^{a}	42.00^{hij}	10.33^{a}	38.00^{l}	151.40^{j}	222.00^{a}	156.67^{a}	Nima ×Okapi
1620.00^{fg}	0.366^{jk}	24.40^{h-k}	6.10^{b-e}	402.10^{b}	58.40^{b}	8.00b-^{h}	40.33^{l}	157.100^{gh}	223.33^{a}	160.33^{a}	SLM046×Okapi

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level, using Duncan’s multiple range test.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

جدول ۶- ترکیب‌پذیری خصوصی اجزای عملکرد و عملکرد دانه در تلاقی‌های دای‌آلل یک‌طرفه هشت رقم کلزا

Table 6. Specific combining ability of yield components and seed yield in half diallel crosses of eight rapeseed genotypes

عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	وزن هزار دانه (گرم) 1000grain weight (g)	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	طول غلاف (سانتی متر) Pod length (cm)	تعداد غلاف شاخه های فرعی Pod per lateral branches	تعداد غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	طول شاخه اصلی (سانتی متر) Length of main branch (cm)	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تلاقی‌ها Crosses
-268.51**	0.04**	-1.12*	-0.27^{ns}	-6.72^{ns}	1.13^{ns}	0.18^{ns}	-6.55**	-20.02**	-4.28^{ns}	7.92**	RGS×Asa
174.81*	0.02^{ns}	1.80**	0.30^{ns}	7.61^{ns}	0.02^{ns}	0.56^{ns}	2.02^{ns}	4.36**	-10.08^{ns}	-4.47**	RGS×Baharan
390.14**	-0.03*	0.64^{ns}	0.45*	5.76^{ns}	5.25**	0.12^{ns}	14.92**	7.55**	-4.05^{ns}	-4.10**	RGS×Dalgan
167.48*	0.02^{ns}	2.91**	0.43^{ns}	-5.06^{ns}	-0.82^{ns}	-1.09*	6.24**	1.07^{ns}	8.88^{ns}	-0.04^{ns}	RGS× Zarfam
40.14^{ns}	-0.01^{ns}	-0.98^{ns}	-0.47*	-51.04**	3.12**	0.86*	1.54^{ns}	16.76**	1.41^{ns}	4.75**	RGS× Nima
-310.51**	-0.00^{ns}	0.72^{ns}	-0.20^{ns}	-56.07**	-2.04^{ns}	0.09^{ns}	3.44**	2.53*	-0.25^{ns}	5.89**	RGS× SLM046
-268.51**	-0.05**	1.97**	0.04^{ns}	-43.66**	-2.38*	-0.47^{ns}	2.47*	7.36**	5.81^{ns}	0.05^{ns}	RGS× Okapi
68.81^{ns}	0.00^{ns}	-0.87^{ns}	0.00^{ns}	-58.73**	10.11**	-0.28^{ns}	-1.98^{ns}	5.07**	0.68^{ns}	2.79*	Asa×Baharan
-175.85*	0.04**	-0.70^{ns}	-0.27^{ns}	-44.87**	-17.86**	0.68^{ns}	-11.62**	0.29^{ns}	4.38^{ns}	15.49**	Asa×Dalgan
241.48**	-0.01^{ns}	-0.43^{ns}	-0.52*	-14.70^{ns}	13.33**	-0.40^{ns}	7.96**	12.34**	6.31^{ns}	-4.77**	Asa× Zarfam
434.14**	-0.02^{ns}	0.16^{ns}	0.16^{ns}	-24.22*	4.18**	0.21^{ns}	5.49**	13.26**	1.18^{ns}	6.35**	Asa× Nima
63.48^{ns}	0.03*	1.77**	0.69**	100.68**	5.14**	1.75**	8.87**	5.36**	-2.81^{ns}	-1.17^{ns}	Asa× SLM046
252.14**	0.02^{ns}	2.29**	0.14^{ns}	48.12**	0.23^{ns}	0.37^{ns}	7.96**	16.37**	1.58^{ns}	0.99^{ns}	Asa× Okapi
14.14^{ns}	0.04**	3.56**	0.06^{ns}	125.48**	8.62**	1.12*	5.89**	0.41^{ns}	-0.08^{ns}	7.09**	Baharan×Dalgan
531.48**	-0.02^{ns}	0.43^{ns}	-0.01^{ns}	8.42^{ns}	1.08^{ns}	0.03^{ns}	2.11^{ns}	4.23**	12.51*	2.15^{ns}	Baharan×Zarfam
-255.85**	0.00^{ns}	-1.27*	0.10^{ns}	69.60**	3.50**	0.55^{ns}	1.88^{ns}	9.02**	0.04^{ns}	-1.04^{ns}	Baharan×Nima
-53.18^{ns}	-0.00^{ns}	.037^{ns}	-0.12^{ns}	97.41**	-1.93^{ns}	0.56^{ns}	0.98^{ns}	-1.38^{ns}	-0.61^{ns}	3.42**	Baharan×SLM046
-144.51^{ns}	0.06**	-1.07*	-0.24^{ns}	-65.41**	-5.87**	-0.07^{ns}	1.48^{ns}	-4.77**	-3.55^{ns}	-4.07**	Baharan×Okapi
20.14^{ns}	-0.03*	-2.42**	-0.53*	-27.78*	-2.72*	-0.59^{ns}	-10.16**	-8.57**	5.54^{ns}	-2.47^{ns}	Dalgan ×Zarfam
-347.18**	-0.02^{ns}	1.23*	0.02^{ns}	-56.00**	-0.23^{ns}	-0.47^{ns}	-0.62^{ns}	11.34**	0.41^{ns}	-1.00	Dalgan ×Nima
635.48**	0.01^{ns}	-1.58**	0.26^{ns}	-35.92**	5.79**	0.02^{ns}	-0.88^{ns}	8.97**	-3.58^{ns}	-5.87**	Dalgan×SLM046
764.14**	0.00^{ns}	-0.09^{ns}	0.14^{ns}	85.31**	8.11**	1.58**	8.91**	-2.82*	0.81^{ns}	5.95**	Dalgan ×Okapi
-323.18**	-0.01^{ns}	2.57**	-0.12^{ns}	13.43^{ns}	-8.77**	0.30^{ns}	-6.00**	-10.07**	7.01^{ns}	1.05^{ns}	Zarfam×Nima
399.48**	0.11**	-5.78**	-0.09^{ns}	6.17^{ns}	3.01*	0.27^{ns}	6.96**	16.08**	2.01^{ns}	-1.47^{ns}	Zarfam×SLM046
-431.85**	-0.02^{ns}	2.43**	0.22^{ns}	-35.71**	-2.32*	0.70^{ns}	-9.77**	-1.97^{ns}	2.08^{ns}	-0.30^{ns}	Zarfam ×Okapi
32.14^{ns}	-0.01^{ns}	1.44**	-0.53*	-11.44^{ns}	4.66**	-0.40^{ns}	11.53**	5.04**	-2.11^{ns}	-2.34^{ns}	Nima×SLM046
480.81**	0.03*	-0.03^{ns}	0.08^{ns}	160.63**	7.19**	1.28**	-1.73^{ns}	-3.18*	-5.05^{ns}	-4.17**	Nima ×Okapi
-49.85^{ns}	-0.08^{ns}	0.17^{ns}	-0.01^{ns}	73.43**	16.35**	-0.37^{ns}	-2.40*	-2.42^{ns}	-0.38^{ns}	3.95**	SLM046×Okapi
81.09	0.013	0.53	0.22	10.97	1.16	0.43	1.20	1.25	5.07	1.27	SE(sij)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

جدول ۷- هتروزیس والد برتر (Htb) در تلاقی‌های دای‌آلل یک‌طرفه هشت ژنوتیپ کلزا

Table 7. Heterosis over parents in half diallel crosses of eight oil rapeseed genotypes

عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	طول غلاف (سانتی متر) Pod length (cm)	تعداد غلاف شاخه‌های فرعی Pod per lateral branche	تعداد غلاف شاخه اصلی Pod per main branch	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	طول شاخه اصلی (سانتی متر) Length of main branch (cm)	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	روز تا رسیدگی Days to maturity	روز تا گلدهی Days to flowering	تلاقی Cross
Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	Htb	
-433.33 **	0.05*	-1.53 ns	-0.76*	-69.00**	6.10**	0.80 ns	1.16 ns	-23.30**	-5.00 ns	15.33**	RGS×Asa
113.33 ns	0.01 ns	1.66 ns	0.13 ns	-17.83 ns	-0.73 ns	0.83 ns	3.90**	-2.23 ns	-16.00*	-5.66**	RGS×Baharan
426.66**	-0.03 ns	0.26 ns	0.53 ns	-20.53 ns	4.63**	0.56 ns	14.70**	3.33 ns	-7.33 ns	-0.66 ns	RGS×Dalgan
233.33 ns	0.00 ns	1.73*	0.23 ns	-69.50**	0.36 ns	-1.60*	8.10**	-8.73**	7.33 ns	-12.00**	RGS× Zarfam
-40.00 ns	-0.03 ns	0.56 ns	-0.86*	-144.26**	-0.56 ns	0.50 ns	1.96 ns	21.80**	-9.33 ns	-12.00**	RGS× Nima
-166.66 ns	-0.01 ns	-0.80 ns	-0.33 ns	-75.60**	1.50 ns	0.20 ns	9.00**	-1.33 ns	-13.00 ns	-7.00**	RGS× SLM046
-140.00 ns	-0.06 *	4.73**	0.16 ns	-44.73*	-1.36 ns	0.06 ns	7.2**	-3.60 ns	-5.33 ns	-18.66**	RGS× Okapi
133.33 ns	0.04 ns	-0.06 ns	-0.26 ns	-71.86**	12.16**	0.63 ns	-2.76 ns	17.48**	-1.00 ns	4.00**	Asa×Baharan
273.33 ns	0.06 *	-0.40 ns	-0.76*	-54.86**	-15.66**	1.76*	-14.50**	12.76**	5.33 ns	21.33**	Asa×Dalgan
180.00 ns	-0.01 ns	-0.66 ns	-1.13 ns	-40.16*	17.70**	-0.43 ns	7.16**	23.80**	5.33 ns	-14.33**	Asa× Zarfam
226.66 ns	-0.02 ns	-0.23 ns	-0.30 ns	-55.40**	3.66*	0.33 ns	1.60 ns	31.98**	-5.33 ns	-8.00**	Asa× Nima
80.00 ns	0.04 ns	1.20 ns	0.32 ns	143.20**	11.86**	2.33**	10.10**	22.08**	-11.33 ns	-11.66**	Asa× SLM046
260.00*	0.03 ns	1.96*	-0.26 ns	98.26**	4.43*	1.40*	8.36**	26.68**	-5.33 ns	-15.33**	Asa× Okapi
280.00*	0.04 ns	4.13**	-0.10 ns	148.33**	11.96**	2.20**	10.00**	8.95**	-1.00 ns	10.00**	Baharan×Dalgan
573.33**	-0.03 ns	0.86 ns	-0.30 ns	-6.86 ns	-0.63 ns	-0.33 ns	0.80 ns	11.75**	6.33 ns	-5.66**	Baharan×Zarfam
-360.00**	-0.00 ns	-1.40 ns	-0.06 ns	25.53 ns	-3.10 ns	0.33 ns	-7.86**	23.80**	-5.33 ns	-13.66**	Baharan×Nima
66.66 ns	-0.01 ns	0.33 ns	-0.16 ns	127.03**	-1.30 ns	0.80 ns	-3.63 ns	11.40**	-8.00 ns	-5.33**	Baharan×SLM046
-33.33 ns	0.05*	-1.13 ns	-0.33 ns	-17.33 ns	-7.76**	0.60 ns	-3.96*	1.60 ns	-9.33 ns	-18.66**	Baharan×Okapi
160.00 ns	-0.03 ns	-2.90**	-0.73*	-39.93*	-4.30*	-0.80 ns	-13.56**	-1.00 ns	2.00 ns	-10.33**	Dalgan ×Zarfam
-353.33**	-0.02 ns	0.86 ns	-0.36	-96.93**	-6.70**	-0.53 ns	-12.46**	26.18**	-5.33 ns	-13.66**	Dalgan ×Nima
853.33**	0.01 ns	-2.40**	0.13 ns	-3.16 ns	6.56**	0.43 ns	-7.60**	21.81**	-11.33 ns	-14.66**	Dalgan×SLM046
973.33**	-0.00 ns	-0.40 ns	0.26 ns	136.53**	6.36**	2.43**	1.36 ns	3.61 ns	-5.33 ns	-8.66**	Dalgan ×Okapi
-166.66 ns	-0.03 ns	1.40 ns	-0.63 ns	-42.96*	-12.26**	0.06 ns	-15.76**	3.75 ns	-4.00 ns	-6.66**	Zarfam×Nima
680.00**	0.13 ns	-6.86**	-0.33 ns	23.46 ns	6.76**	0.50 ns	2.33 ns	27.91**	-11.00 ns	-5.33**	Zarfam×SLM046
-200.00 ns	-0.04 ns	1.33 ns	0.10 ns	0.03 ns	-1.10 ns	1.16 ns	-15.23**	3.45 ns	-9.33 ns	-10.00**	Zarfam ×Okapi
166.66 ns	-0.02 ns	-0.06 ns	-0.80**	2.00 ns	12.93**	0.10 ns	19.60**	24.13**	-4.00 ns	-5.00**	Nima×SLM046
566.66**	0.01 ns	1.60 ns	-0.23 ns	179.83**	13.13**	1.90**	-3.63 ns	9.50**	-4.00 ns	-4.33**	Nima ×Okapi
260.00*	-0.10 ns	-1.26 ns	-0.06 ns	166.33**	29.33**	0.70 ns	-1.30 ns	8.26**	-2.66 ns	-0.66 ns	SLM046×Okapi

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

ns ، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

نتیجه‌گیری کلی

کشت ارقام یکنواخت به‌صورت مداوم در یک منطقه باعث ایجاد نژادهای جدیدی از بیماری و آفات شده، پس افزایش آسیب‌پذیری و کاهش عملکرد را به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین، نیاز است که تولید ارقام آزاد گرده‌افشان جدید و سازگار با مناطق مختلف از طریق تلاقی بین دو رقم متفاوت صورت گیرد. نتایج نشان دادند که تنوع ژنتیکی کافی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از منظر صفات زراعی کلزا وجود داشت و می‌توان از این تنوع در جهت ایجاد ارقام مناسب با عملکرد بالا استفاده کرد. با توجه به بیشتر بودن واریانس ترکیب‌پذیری عمومی نسبت به واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی و همچنین قابلیت توارث خصوصی بالا در تمامی صفات مورد مطالعه، از تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد ژن افزایشی در کنترل ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مربوطه مهمتر بود. در مطالعه ارائه شده، اثرات ترکیب‌پذیری عمومی برای والدین ارزیابی شده برای هر صفت به‌طور قابل توجهی متفاوت بودند. علاوه بر این، هیچ‌یک از والدین اثرات ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار برای همه صفات مورد بررسی نشان ندادند. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی و ارتفاع گیاه به‌طور همزمان تنها در رقم بهاره RGS و برای تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع گیاه به‌طور همزمان تنها در رقم Dalgan مشاهده شدند. لذا این ارقام می‌توانند به‌عنوان منبع آلل‌های مطلوب برای دستیابی به زودرسی مدنظر قرار گیرند. ارقام Asa و Baharan با داشتن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای افزایش عملکرد و برخی صفات مرتبط با آن به‌عنوان بهترین ترکیب شونده شناخته شدند. اثر ترکیب‌پذیری خصوصی، شاخصی برای تعیین سودمندی ترکیب‌پذیری تلاقی خاص در بهره‌گیری از هتروزیس است. در این بررسی، بهترین ترکیب‌شونده خصوصی برای عملکرد و برخی صفات مربوط به آن، تلاقی‌های Nima × Okapi، Dalgan × Okapi، RGS × Dalgan و Asa × Okapi بودند، ضمن این که این تلاقی‌ها هتروزیس مثبت و بالایی را در عملکرد دانه نشان دادند. بنابراین، این تلاقی‌ها منبع مطلوبی برای بهبود ژنوتیپ‌های کلزا از لحاظ عملکرد دانه خواهند بود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌خاطر تأمین منابع مالی و امکانات اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdelsatar, M. A., Mourad, K. A. & Ibrahim, S. A. (2020). The genetic system controlling agronomic traits in canola. *Egyptian Journal of Plant Breeding*, *24*(2), 355-387.

Ahmad, R., Khan, R. S. & Quiros, C. F. (2013). Inheritance of fertility restorer gene for cytoplasmic male-sterility in *B. napus* and identification of closely linked molecular markers to it. *Euphytica. 194*(3), 351-60.

Ali, N., Khan, N. U., Ali, S., Ullah, F., Gul, S., Saeed, M. & Naveed, K. (2015). Combining ability studies for quantitative traits in *Brassica juncea*. *Journal of Animal & Plant Sciences, 25*(2), 495-501.

Ali, Q., Ali, A., Awan, M. F., Tariq, M., Ali, S., Samiullah, T. R., ... & Hussain, T. (2014). Combining ability analysis for various physiological, grain yield and quality traits of *Zea mays* L. *Life Science Journal*, *11*(8s), 540-551.

Alsharari, S. F., Ibrahim, A. A. & 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).

Chand, S., Patidar, O. M., Meena, V. K. & Shiv, A. (2018). Barnase-barstar system: an indelible technique to produce hybrid seeds in self- pollinated crops. *International Journal of Farm Sciences. 8*(2), 109-113.

Channa, S. A., Tian, H., Mohammed, M. I., Zhang, R., Faisal, S., Guo, Y., ... & Hu, S. (2018). Heterosis and combining ability analysis in Chinese semi-winter× exotic accessions of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, *214*(8), 134.

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

FAO. (2022). Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT statistics database Available online at: http://www.faostat.fao.org.

Gholizadeh Sarcheshmeh, P., Amiri Oghan, H., Shekari, F., & Gholizadeh, A. (2024). Combining ability and heterosis of spring oilseed rape genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding,* 74-85. [In Persian]

Gourrion, A., Simon, C., Vallée, P., Delourme, R., Chatres, S. & Jdheu, E. (2020). Enlarging the genetic diversity of win-ter oilseed rape (WOSR) by crossing with spring oilseed rape (SOSR). *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 27(16), 1-5.

Hochholdinger, F., & Baldauf, J. A. (2018). Heterosis in plants. *Current Biology*, *28*(18), R1089-R1092.

Huang, Z., Laosuwan, P., Machikowa, T. & Chen, Z. (2010). Combining ability for seed yield and other characters in rapeseed. *Suranaree Journal of Science and Technology. 17,* 39-47.

Kamara, M. M., Rehan, M., Ibrahim, K. M., Alsohim, A.S., Elsharkawy, M. M., Kheir, A., Hafez, E. M., & El-Esawi M. A. (2020). Genetic diversity and combining ability of white maize inbred lines under different plant densities. *Plants*, *9,* 1140.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]

Kebede, B., Thiagarajah, M. R., Zimmerli, C. & Rahman, M. H. (2010). Improvement of open-pollinated spring rapeseed (*Brassica napus* L.) through introgression of genetic diversity from winter rapeseed. *Crop Science, 50*(3), 1236-1243.

Mahanta, M., & Barua, P. K. (2020). Combining ability, heterosis and maternal effects for yield and attributing traits in yellow sarson (*Brassica rapa* L. var. yellow sarson). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(4), 641-646.

Mandal, S., & 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), 579-583.

Mandal, K., Subba, V., Dasgupta, T., & 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), 100-106.

Meena, H. S., Kumar, A., Ram, B., Singh, V. V., Meena, P. D., Singh, B. K., & Singh, D. (2018). Combining ability and heterosis for seed yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology. 17*, 1861-1871

Menendez, Y. C., Botto, J. F., Gomez, N. V., Miralles, D. J., & Rondanini, D. P. (2019). Physiological maturity as a function of seed and pod water concentration in spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research,* 231, 1-9.

Nassimi, A., Raziuddin, W., Ali, S. & Ali, N. (2006). Study on heterosis in agronomic characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) using Diallel. *Journal of Agronomy, 5*(3), 505-508.

Qian, W., Sass, O., Meng, J., Li, M., Frauen, M., & Jung, C. (2007). Heterotic patterns in rapeseed (Brassica napus L.): I. Crosses between spring and Chinese semi-winter lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(1), 27-34.

Rameah, V., Rezai, A., & Saeidi, G. (2003). Estimation of genetic parameters for yield, yield components and glucosinolate in rapeseed (*Brassica napus* L.*). Journal of Agricultural Science and Technology. 5,* 143-151.

Rameeh, V. (2016). Estimation of combining ability of rapeseed advanced lines for yield and yield components. *Seed and Plant Journal,* 31(4), 665-679. [In persion]

Rameeh, V. (2020). Combining ability of plant height, seed yield and quality traits in rapeseed. Genetika. 52(2), 805-814.

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).

Shoshi-Dezfoli, A. A., & Honarnezhad. R. (2005). Determination of gene action and heritability of some of the traits related to rice quality using graphical analysis of diallel. *Iranian Journal of Agricultural Science*, *36*(4), 813-818.

Sıncık, M., Sozen, E., Falk, K. C., Goksoy, A. T., & Acıkgoz, E. (2014). Heterosis and combining ability in a diallel cross of turnip rape genotypes. *Turkish Journal of Field Crops,* 19(2), 219-225.

Singh, K. H., Gupta, M. C., Srivastava, K. K., & Kumar. P. R. (2003). Combining ability and heterosis in Indian mustard. *J. oilseeds Res. 20*(1), 35-39.

Tahira Atta, B. M. & Hussain, M. (2008). Combining ability studies in *Brassica napus* L*. International Journal of Agriculture and Biology. 10,* 205–8.

Tian, C., Zhou, X., Liu, Q., Peng, J., Zhang, Z., Song, H., ... & Abou-Elwafa, S. F. (2020). Increasing yield, quality and profitability of winter oilseed rape (Brassica napus) under combinations of nutrient levels in fertiliser and planting density. *Crop and Pasture Science,* 71(12), 1010-1019.

Wolko, J., Dobrzycka, A., Bocianowski, J., & Bartkowiak-Broda, I. (2019). Estimation of heterosis for yield-related traits for single cross and three-way cross hybrids of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Euphytica, 215*(10), 156.

Xie, F., Zha, J., Tang, H., Xu, Y., Liu, X., & Wan, Z. (2018). Combining ability and heterosis analysis for mineral elements by using cytoplasmic male-sterile systems in non-heading Chinese cabbage (Brassica rapa). *Crop and Pasture Science,* 69(3), 296-302.

Yadava, D. K., Singh, N., Vasudev, S., Singh, R., Singh, S., Giri, S. C., Dwivedi, V. K., & Prabhu. K.V. (2012). Combining ability and heterobeltiosis for yield and yield-contributing traits in Indian Mustard (*Brassica juncea*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences, 82*(7), 563–567.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1592]