Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 4, 2025 p: 72-81

OPEN ACCESS

Research Paper

Genetic Analysis of Silique-Related Traits in Rapeseed (*Brassica napus* L.) using the Line × Tester Method

Mahdieh Arshadi-Bidgoli[1], Mohammad Hossein Fotokian[2], Hassan Amiri Oghan[3], and Bahram Alizadeh[3]

1- Former MS Student of Genetics and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran,
(Corresponding author: fotokian@shahed.ac.ir)
3- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 12 April, 2025 Revised: 22 July, 2025 Accepted: 25 August, 2025

Extended Abstract

Background: Rapeseed, scientifically known as *Brassica napus* L., plays a very important role in meeting food and biofuel needs. Increasing rapeseed yield is essential to improve the economic performance of this plant and ensure food security. Rapeseed yield has low heritability due to its influence on environmental conditions and various genetic traits. For this reason, improving its yield is possible by using yield components that have genetic diversity and high transferability to offspring. In rapeseed breeding programs, traits related to the silique are of great importance to increase yield, and breeding for silique-related traits and creating high-yielding varieties is one of the important goals of breeders. Therefore, this study aimed to gain knowledge about the gene function, heritability, and combinability of silique-related traits and the effect of these traits on seed and oil yields using line × tester analysis in spring rapeseed.

Methods: In this study, three high-yielding spring rapeseed genotypes (SPN34, RGS003, and SPN1) were crossed as testers with five genotypes recommended for cultivation in the warm climate of Iran (SPN3, SPN9, SPN36, SPN30, and DH4) as lines. The resulting hybrids were studied in a randomized complete block design with two replications at the Seed and Seedling Breeding and Production Research Institute in the 2014-2015 crop year. The studied traits included the number of silique, the number of seeds per silique, silique length, the length of the first silique from the ground, seed yield, and oil yield. The line × tester analysis was used for statistical analysis of the design, and the specific combining ability of the hybrids, the general combining ability of the parents, the mode of gene action, and the Broad-sense and narrow-sense heritability of the traits were estimated in this analysis.

Results: The interaction effects of line × tester were significant for all traits, except for the number of seeds per silique, indicating that the lines reacted differently in combination with different testers, showing the role of dominance and non-additive effects in controlling these traits. The estimated broad-sense heritability of all traits was high (85.72-95.56%), which indicates the higher importance of genetic variance than environmental variance in the studied traits. The value of narrow-sense heritability for seed oil yield was 55.77%. The high narrow-sense heritability of the number of silique in the secondary branches (43.87 %), the number of silique per plant (98.82 %), the number of seeds per silique (34.66 %), and the length of the first silique from the ground (72.69 %) confirmed the greater contribution of the additive variance to the genetic control of these traits than the other evaluated traits. Selection-based breeding methods are suggested to improve these traits, while the non-additive variance played a greater role than the additive variance for the number of silique on the main stem, silique length, seed yield, and seed oil yield traits. The degree of dominance of more than one in the number of silique on the main stem, silique length, seed yield, and seed oil yield traits indicates the action of gene dominance in controlling these traits, which is suggested as a result of hybrid production and exploitation of the effects of gene dominance in these traits. Among the genotypes studied, testers SPN1 and SPN34 and lines DH4 and SPN3 were good combiners in terms of silique-related traits. As a result, they can be used as one of the suitable parents in breeding programs based on hybrid seed production. Among the combinations of rapeseed cultivars, the RGS003 × DH4 hybrids were superior for the number of silique trait in secondary and main branches and the whole plant, DH4 × SPN1 for the number of seeds per silique, seed

Copyright ©2025. Arshadi-Bidgoli et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 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 2026-02-14]

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

yield, and seed oil yield traits, RGS003 × SPN30 for the silique length trait, SPN1 × SPN9 for the length of the first silique from the ground, and SPN36 × RGS003 for the seed yield and seed oil yield traits. They can be used in hybrid cultivar production programs.
Conclusion: The results showed sufficient genetic diversity among the lines and testers in terms of silique-related traits, so that the diversity resulting from their crossing could be exploited for the introduction of new cultivars. Lines and testers with high general combining ability and parents of hybrids with high specific combinability are recommended to form a suitable population for producing offspring with superior silique-related traits and higher yields in future programs. Combining lines and testers with high general and specific combining ability can lead to the development of hybrids that not only have good grain yield but also show high heterosis and increase the yield of rapeseed seed and oil.

Keywords: Combining ability, Degree of dominance, Genetic variance, Heritability, Rapeseed

How to Cite This Article: Arshadi Bidgoli, M., Fotokian, M H., Amiri Oghan, H., & Alizadeh, B. (2025). Genetic Analysis of Silique-Related Traits in Rapeseed (*Brassica napus* L.) using the Line × Tester Method. *J Crop Breed,* 17(4), 72-81. DOI: 10.61882/jcb.2025.1591

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

مقاله پژوهشی

تجزیه ژنتیکی صفات مرتبط با خورجین در کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از روش لاین در تستر

مهدیه ارشدی بیدگلی[۱]، محمدحسین فتوکیان[۲]، حسن امیری‌اوغان[۳] و بهرام علیزاده[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشتهٔ ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، (نویسنده مسوول: fotokian@shahed.ac.ir)
۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳
صفحه ۷۲ تا ۸۱

چکیده مبسوط

مقدمه و اهداف: کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. به‌عنوان یک محصول‌عمده روغنی نقش بسیار با اهمیتی در تامین نیازهای غذایی و سوخت زیستی دارد. افزایش عملکرد دانه کلزا برای بهبود عملکرد اقتصادی این گیاه و تضمین امنیت غذایی ضروری است. عملکرد دانه کلزا به‌دلیل تاثیرپذیری از شرایط محیطی و صفات مختلف ژنتیکی دارای وراثت‌پذیری پایینی است. به همین دلیل، بهبود عملکرد آن با استفاده از اجزای عملکرد که تنوع ژنتیکی و قابلیت انتقال بالایی به نتاج دارند، امکان‌پذیر است. در برنامه‌های به‌نژادی کلزا، صفات مرتبط با خورجین به‌منظور افزایش عملکرد اهمیت بالایی دارند و به‌نژادی برای صفات مرتبط با خورجین و ایجاد ارقام پرعملکرد یکی از اهداف مهم به‌نژادگران است. بنا بر این، هدف از این تحقیق، آگاهی از نحوه عمل ژن، قابلیت توارث و ترکیب‌پذیری صفات مرتبط با خورجین و تاثیر این صفات بر میزان عملکرد دانه و روغن با استفاه از تجزیه لاین×تستر در کلزای بهاره بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق سه ژنوتیپ کلزای بهاره پرمحصول (SPN34، RGS003 و SPN1) به‌عنوان تستر، با پنج ژنوتیپ توصیه‌شده برای کشت در اقلیم گرم کشور (SPN3، SPN9، SPN36، SPN30 و DH4) به‌عنوان لاین با هم تلاقی داده شدند و دورگ‌های حاصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر طی سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ بررسی شدند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، عملکرد دانه و عملکرد روغن بودند. برای تجزیه آماری طرح، از تجزیه لاین × تستر استفاده شد و ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها، ترکیب‌پذیری عمومی والدین، نحوه عمل ژن و وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی صفات برآورد گردید.

یافته‌ها: اثر متقابل لاین × تستر برای تمامی صفات به‌جز تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود که این امر نشان می‌دهد که لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف واکنش متفاوتی داشتند و حاکی از نقش اثر غالبیت و غیرافزایشی در کنترل صفات مزبور است. برآورد وراثت‌پذیری عمومی تمامی صفات بالا بود که بیانگر اهمیت بالاتر واریانس ژنتیکی نسبت به واریانس محیطی در صفات مورد بررسی است. وراثت‌پذیری خصوصی برای عملکرد روغن دانه ۵۵/۷۷ درصد بود و توارث‌پذیری خصوصی بالای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی (۸۷/۴۳ درصد)، تعداد خورجین در بوته (۸۲/۹۸ درصد)، تعداد دانه در خورجین (۶۶/۳۴ درصد) و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین (۶۹/۷۲ درصد)، مؤید سهم بیشتر واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفات نسبت به سایر صفات مورد ارزیابی هستند و روش‌های اصلاحی مبتنی بر گزینش برای بهبود این صفات پیشنهاد می‌شوند. برآورد نحوه عمل ژن در صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه نقش بالاتر واریانس غیر افزایشی نسبت به واریانس افزایشی را نشان داد. درجه غالبیت بیش از یک در صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه مبین عمل غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفات است که در نتیجه، تولید هیبرید و بهره‌برداری از اثرات غالبیت ژن‌ها در این صفات پیشنهاد می‌شود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تسترهای SPN1 و SPN34 و لاین‌های DH4 و SPN3 از لحاظ صفات مرتبط با خورجین ترکیب‌شونده‌های خوبی بودند. در نتیجه، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یکی از والدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی مبتنی‌بر تولید بذر هیبرید استفاده کرد. در بین ترکیبات ارقام کلزا، دورگ‌های DH4 × RGS003 برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و اصلی و کل بوته، DH4×SPN1 برای صفات تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه، RGS003×SPN30 برای صفت طول خورجین و SPN1×SPN9 برای صفت ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و SPN36×RGS003 برای صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه جز تلاقی‌های برتر بودند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های تولید ارقام هیبرید استفاده کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دادند که در بین لاین‌ها و تسترها از لحاظ صفات مرتبط با خورجین تنوع ژنتیکی کافی وجود داشت، به‌طوری‌که تنوع حاصل از تلاقی آن‌ها می‌تواند برای معرفی ارقام جدید مورد بهره‌برداری قرار گیرد. لاین‌ها و تسترهای با قابلیت ترکیب عمومی بالا و والدین دورگ‌ها با ترکیب‌پذیری خصوصی بالا، به‌منظور تشکیل یک جمعیت مناسب جهت تولید نتاج دارای صفات برتر مرتبط با خورجین و عملکرد بالاتر در برنامه‌های آتی پیشنهاد می‌شوند. ترکیب لاین‌ها و تسترها با قابلیت ترکیب عمومی و خصوصی بالا می‌تواند منجربه توسعه دورگ‌هایی شود که نه‌تنها عملکرد دانه خوبی دارند، بلکه هتروزیس بالایی را نشان داده‌اند و عملکرد دانه و روغن کلزا را افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری، درجه غالبیت، کلزا، واریانس ژنتیکی، وراثت‌پذیری

مقدمه

یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی کلزا، افزایش عملکرد دانه در واحد سطح است. عملکرد دانه یک صفت چندژنی است که عمدتا تحت‌تاثیر شرایط محیطی مختلف قرار می‌گیرد و از این‌رو در بسیاری از موارد، وراثت‌پذیری پایینی دارد (Baye *et al.*, 2022)، از این‌رو، گزینش مستقیم برای به‌نژادی عملکرد دانه چندان مؤثر نیست و تنها گزینش روی اجزای عملکرد می‌تواند مفید واقع گردد (Abdel-Latif *et al.*, 2023). صفات مرتبط با خورجین یکی از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده میزان عملکرد دانه در کلزا محسوب می‌شوند. ارقامی با خورجین‌های بلندتر و تعداد خورجین بیشتر، به مراتب عملکرد دانه بالاتری را نسبت به ارقام با خورجین کوتاه‌تر و تعداد خورجین کمتر دارا هستند. از این‌رو، به‌نژادی صفات مرتبط با خورجین می‌تواند گام مهمی برای افزایش عملکرد دانه کلزا باشد (Youssefy *et al.*, 2012).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

اطلاع از نحوه کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با خورجین جهت انتخاب روش به‌نژادی مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در برنامه‌های بهبود ژنتیکی برای افزایش عملکرد، به‌نژادگران باید ابتدا به انتخاب والدین برای انجام تلاقی اقدام نمایند. نظر به کمی بودن صفات مرتبط با خورجین، این امر از حساسیت و پیچیدگی خاصی برخوردار است. از طرف دیگر، برای دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر از طریق انتخاب و تولید دورگ‌های مناسب، بررسی وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی (Payghamzadeh & Amiri Oghan, 2023)، نحوه عمل ژن، هتروزیس و قابلیت ترکیب والدین انتخابی نیز دارای اهمیت فراوانی است و نقش مهمی را در بهبود مواد ژنتیکی ایفا می‌کند (Payghamzadeh & Amiri Oghan, 2023). اگرچه طرح دای‌آلل بیشترین کاربرد را در تعیین ساختار ژنتیکی صفات دارد، اما با توجه به صرف وقت و هزینه زیاد و انجام تلاقی‌های متعدد، محققین با استفاده از طرح‌هایی مانند لاین × تستر جمعیت مورد مطالعه خود را تقلیل می‌دهند (Patel *et al*., 1984). طرح ژنتیکی لاین × تستر به‌عنوان یکی از روش‌های برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، نقش مهمی در ارزیابی پتانسیل ژنتیکی و برآورد آثار مختلف ژنتیکی در مواد آزمایشی مورد مطالعه بر عهده دارد (Gholizadeh Sarcheshmeh *et al*., 2024).

اثرات معنی‌دار ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) و عمومی (GCA) برای عملکرد و اجزای عملکرد کلزا نشان‌دهنده وجود هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی در توارث این صفات هستند (Singh *et al*., 2018). خومرام و همکاران (Khumram *et al*., 2006) با مطالعه بر روی صفات مهم کلزا، از قبیل تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و عملکرد، به این نتیجه رسیدند که برای اغلب صفات سهم واریانس غالبیت بیشتر از واریانس افزایشی بود. همچنین، مقادیر وراثت‌پذیری عمومی کلیه صفات را بالا گزارش کردند (بیشتر از ۷۰ درصد)، حال آنکه وراثت‌پذیری خصوصی صفات به جز ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین (۳۹/۳۶ درصد) پایین برآورد شد که نشان‌دهنده تاثیر بیشتر اثرهای ژنتیکی غیر افزایشی و اثرهای محیطی در کنترل آن‌ها است.

لبنا و همکاران (Labana *et al*., 1978) گزارش کردند که صفت تعداد دانه در خورجین از وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برخوردار بود. خان و خان (Khan & Khan, 2005) پنج واریته کلزا را در همه حالات ممکن تلاقی دادند، و پارامترهای ژنتیکی صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین را بررسی کردند. آنها در برآورد اجزای واریانس نشان دادند که اثرات غیر افزایشی ژن‌ها نسبت به اثرات افزایشی اهمیت بیشتری داشتند. همچنین، برآورد وراثت‌پذیری خصوصی خیلی پایین برای تعداد دانه در خورجین نشان‌دهنده اهمیت اثر غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت بود، در حالی‌که تعداد خورجین در بوته وراثت‌پذیری خصوصی متوسطی نشان داد.

رامئه و همکاران (Rameah *et al*., 2018) هشت ژنوتیپ کلزا را برای برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در بوته، طول خورجین و تعداد دانه در خورجین بررسی کردند که در تجزیه واریانس، اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) و ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) را برای همه صفات معنی‌دار گزارش کردند. در آزمایش هاشمی (Hashemi, 2006)، کوچک‌تر بودن نسبت میانگین مربعات GCA به SCA برای صفت طول خورجین گزارش شد که نشان‌دهنده اهمیت اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفت بود.

از آن‌جایی که صفات مرتبط با خورجین می‌توانند تأثیر مثبتی بر روی محصول نهایی کلزا داشته باشند، هدف از تحقیق حاضر دستیابی به اطلاعاتی پیرامون اثر و نوع عمل ژن‌ها، نحوه توارث، ترکیب‌پذیری و سایر پارامترهای ژنتیکی مرتبط با این صفات از طریق روش لاین در تستر به‌منظور کاهش دادن طول برنامه‌های اصلاحی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ برای ارزیابی ۱۵ دورگ حاصل از تلاقی ارقام بهاره × بهاره کلزا که حاصل تلاقی پنج لاین توصیه‌شده برای کشت در اقلیم گرم ایران (SPN3، SPN9، SPN36، SPN30 و DH4) و سه تستر پرمحصول (SPN34، RGS003 و SPN1) بودند، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار اجرا شد. هم‌زمان با آماده‌سازی بستر بذر، مصرف کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک انجام شد. وجین علف‌های هرز به‌روش دستی و آبیاری نیز به‌صورت نشتی و با کمک سیفون در شش مرحله (کاشت، ساقه‌دهی، شروع و اواسط گل‌دهی، خورجین‌دهی، و پر شدن دانه) انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل دو پشته به‌طول سه متر با دو ردیف کاشت روی هر پشته به فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر از هم بود. به‌منظور برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و نحوه وراثت، صفات زراعی تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و اصلی و کل بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین با استفاده از میانگین پنج بوته تصادفی (پس از حذف ۱۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای خطوط به‌عنوان حاشیه)، عملکرد دانه و عملکرد روغن اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری میزان عملکرد دانه، به هنگام تغییر رنگ ۴۵ تا ۵۰ درصد خورجین‌های ساقه اصلی و رسیدن رطوبت دانه‌ها به حدود ۲۵ درصد، برداشت محصول انجام شد و محصول برداشت‌شده به‌مدت ۷-۳ روز در شرایط مزرعه و در معرض آفتاب قرارگرفت تا بذور سبز به رنگ تیره درآیند. پس از رسیدن رطوبت دانه به حدود ۱۲ درصد، توسط کمباین خرمن‌کوبی شد و پس از حذف کاه و کلش، عملکرد هر کرت به‌صورت جداگانه بر حسب تن در هکتار تعیین گردید. برای تعیین رطوبت بذرها درهر مرحله، نمونه‌های بذری ابتدا با ترازوی دیجیتال با دقت یک میلی‌گرم وزن شدند. سپس بذرها به‌مدت ۱۷ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس قرارگرفتند و درنهایت رطوبت بذرها بر مبنای وزن خشک از

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

طریق رابطه زیر محاسبه شد (Akram-Ghaderi *et al.*, 2008).

$$M1 = \frac{(W1-W2)}{W2} \times 100 \quad \text{(رابطه۱)}$$

در این رابطه، M1 درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک، W1 وزن بذر قبل از خشک‌شدن و W2 وزن بذر بعد از خشک‌شدن هستند.

عملکرد روغن دانه نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه (گرم در واحد کرت) در درصد روغن دانه بر حسب گرم در واحد کرت تعیین شد. برای تعیین درصد روغن دانه با دستگاه NMR[1] از نمونه ۲۰ گرمی از بذور پاک‌شده هر کرت استفاده شد (Fanaie e*t al.*, 2008).

برای تجزیه آماری طرح، از تجزیه لاین × تستر (Kempthorne, 1957) استفاده‌شد. در این نوع تجزیه، امکان برآورد ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها و عمومی والدین، برآورد عمل ژن و تعیین وراثت‌پذیری صفات وجود دارد. ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر برآورد شدند (فرمول‌های ۲، ۳ و ۴). برای محاسبه اجزای واریانس ژنتیکی با توجه به خالص بودن ژنوتیپ‌ها و استفاده از نسل F_1 از ضریب خویش‌آمیزی یک استفاده شد. واریانس افزایشی (V_A) و واریانس غالبیت (V_D) با توجه به ثابت بودن لاین‌ها از فرمول‌های ۵ و ۶ به‌دست آمدند (Arshadi-Bidgoli *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2018):

$$GCA_{line} = \frac{Xi_{..}}{tr} - \frac{X_{...}}{ltr} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$GCA_{tester} = \frac{X_{.j.}}{lr} - \frac{X_{...}}{ltr} \quad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

$$SCA_{line\times tester} = \frac{Xij_{.}}{r} - \frac{Xi_{..}}{tr} - \frac{X_{.j.}}{lr} + \frac{X_{...}}{ltr} \quad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

در روابط فوق، Xi، X...، X.j.، Xij، GCA_{line}، GCA_{tester}، و $SCA_{line\times tester}$ به‌ترتیب معادل میانگین لاین، میانگین کل، میانگین تستر، میانگین دورگ، ترکیب‌پذیری عمومی لاین، ترکیب‌پذیری عمومی تستر و ترکیب‌پذیری خصوصی هستند.

$$V_A = [(MS_{pooled} - MS_e)/r] \times [4/(1+F)] \quad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

$$V_D = [(MS_{L\times T} - MS_e)/r] \times [2/(1+F)]^2 \quad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

در این فرمول‌ها، r تعداد تکرار، MS_e میانگین مربعات خطای آزمایشی، و F ضریب خویش‌آمیزی هستند و MS_{pooled} عبارت از میانگین مربعات ادغام شده است که از طریق فرمول ۷ محاسبه شد (Arshadi-Bidgoli *et al.*, 2021):

$$MS_{pooled} = (SS_L + SS_T)/(df_L + df_T) \quad \text{(رابطهٔ ۷)}$$

در این فرمول، SS_L و SS_T به‌ترتیب مجموع مربعات لاین و تستر و df_L و df_T به‌ترتیب درجات آزادی لاین و تستر هستند.

نحوه عمل ژن از نسبت میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی به میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی تعیین گردید. میانگین درجه غالبیت نیز از جذر دو برابر واریانس غالبیت تقسیم بر واریانس افزایشی به‌دست آمد. مقادیر وراثت‌پذیری عمومی (h^2_B) و وراثت‌پذیری خصوصی (h^2_N) صفات در واحد میانگین تیمارها به‌ترتیب از روابط ۸ و ۹ محاسبه شدند (Arshadi-Bidgoli *et al.*, 2021):

$$h^2_b = [(V_A+V_D)/(V_A+V_D+M`_e)] \times 100 \quad \text{(رابطهٔ ۸)}$$

$$h^2_n = [VA/(V_A+V_D+M`_e)] \times 100 \quad \text{(رابطهٔ ۹)}$$

در این فرمول‌ها، V_A و V_D به‌ترتیب برابر با واریانس افزایشی و واریانس غالبیت هستند و $M`_e$ خطای آزمایشی موثر است که از تقسیم میانگین مربعات خطای آزمایشی بر تعداد تکرار به‌دست می‌آید. برای آزمون پارامترهای ژنتیکی مختلف محاسبه‌شده از آزمون t استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس لاین × تستر نشان دادند که اختلاف بین دورگ‌ها از لحاظ همه صفات مرتبط با خورجین معنی‌دار بود (جدول ۱). این موضوع نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین دورگ‌ها است. تفکیک اثر تلاقی‌ها به اجزای خود بر مبنای تجزیه لاین × تستر نشان داد که اختلافات لاین‌ها برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در کل بوته در سطح احتمال ۱ درصد و برای صفات ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. اثر تسترها نیز در صفات طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد و در صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در خورجین و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. وجود تفاوت معنی‌دار بین لاین‌ها و تسترها از لحاظ صفات مختلف نشان‌دهنده اثرات افزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مزبور است. در به‌نژادی، گزینش برای اثرات افزایشی مطمئن‌تر است و در نتیجه، انتقال صفات دارای واریانس افزایشی به نسل‌های بعدی آسان‌تر است. اثر متقابل لاین × تستر برای صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد و برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). این امر نشان می‌دهد که لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف واکنش متفاوتی داشتند که حاکی از نقش اثر غالبیت و غیر افزایشی در کنترل صفات مزبور است و ترکیب‌پذیری خصوصی بین تلاقی‌ها را نشان می‌دهد. تحقیق گزارش‌شده برروی کلزا نیز نشان داد که اثر متقابل معنی‌دار لاین × تستر تاکیدی بر تسلط اثرات ژنی غیر افزایشی در کنترل صفات مرتبط با خورجین به‌خصوص صفات مهم مانند عملکرد دانه و طول خورجین بود که مشابه با نتایج این تحقیق است (Rameah, 2016).

[1]. Nuclear Magnetic Resonance

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

لازم به ذکر است که برای معنی‌دار شدن اثر تلاقی‌های مربوط به یک صفت، لزومی بر معنی‌دار شدن کلیه اجزای آن (لاین، تستر و اثر متقابل لاین × تستر) نیست، بلکه معنی‌دار شدن تنها یک جز نیز می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن گردد؛ البته عکس این مطلب صادق نیست (Kempthorne, 1957). همچنین، بیشترین سهم از ایجاد واریانس کل، در صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، عملکرد دانه و عملکرد روغن مربوط به اثر متقابل لاین × تستر بود (جدول ۱). به طور کلی، تجزیه ژنتیکی لاین × تستر تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی را در بین دورگ‌های کلزا نشان داد، و گویای آن است که ترکیبات برتر لاین‌ها و تسترها می‌توانند صفات عملکردی را افزایش دهند که با نتایج سایر تحقیقات نیز مطابقت دارد (Sadat Hashemi *et al*., 2024; Rameeh, 2015).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات براساس تلاقی لاین × تستر و سهم نسبی اجزای لاین، تستر و اثرمتقابل آن‌ها از واریانس کل در گیاه کلزا
Table 1. Analysis of variance based on line × tester crossing and the estimation of the relative contribution of lines, testers, and their interaction from the total variance in rapeseed

Mean Squares (میانگین مربعات)									Source of variance (S.O.V) منبع تغییرات
Oil Yield عملکرد روغن دانه	Grain Yield عملکرد دانه	The length of the first silique from the ground ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین	Silique length طول خورجین	The number of seeds per silique تعداد دانه در خورجین	The number of silique per plant تعداد خورجین در بوته	The number of silique in the main stem تعداد خورجین در ساقه اصلی	The number of silique in secondary branches تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	Degree of freedom (df) درجه آزادی	
13.51^{ns}	7363.33*	30.81^{ns}	0.58*	0.05^{ns}	151.42^{ns}	34.56^{ns}	21.17^{ns}	1	بلوک Block
21.54**	11631.91**	45.94*	0.51**	3.33*	1684.90**	123.33**	1379.21**	14	تلاقی Crosse
12.29*	6695.00*	57.65*	0.16^{ns}	2.52^{ns}	3645.91**	153.61**	3035.82**	4	لاین Line
29.82**	17203.33**	56.88*	0.17**	6.93*	688.73^{ns}	60.66^{ns}	1089.73*	2	تستر Tester
24.09**	12707.50**	37.36^{ns}	0.52**	2.83^{ns}	953.44*	123.86**	623.28*	8	لاین×تستر Line × Tester
2.95	1577.62	14.39	0.11	1.20	336.68	20.85	219.91	14	خطا Error
18.84	18.59	7.15	4.37	4.26	15.01	13.04	16.94	-	ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)
16.31	16.44	35.85	8.73	21.66	61.82	35.59	62.89	-	سهم لاین‌ها (٪) Contribution of Lines (%)
19.78	21.13	17.69	32.94	29.73	5.84	7.03	11.29	-	سهم تسترها (٪) Contribution of Testers (%)
63.91	62.43	46.46	58.34	48.60	32.34	57.39	25.82	-	سهم لاین×تستر (٪) Contribution of Line × Tester(%)

ns و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, * and **: Non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

واریانس ژنتیکی برای کلیه صفات مورد مطالعه به واریانس افزایشی و واریانس غالبیت تفکیک شد (جدول ۲). مقدار واریانس افزایشی تمامی صفات مورد مطالعه بیشتر از واریانس غالبیت بود. وراثت‌پذیری عمومی صفات به‌طورکلی خیلی زیاد و از ۸۵/۷۲ درصد برای تعداد دانه در خورجین تا ۹۵/۵۶ درصد برای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی متغیر بود. می‌توان اظهار داشت که واریانس محیطی در این بررسی کم است، اهمیت واریانس ژنتیکی به مراتب بیشتر از واریانس محیطی است و قابلیت انتقال این صفات به نسل‌های بعدی از طریق دورگ‌گیری بالا خواهد بود؛ این موضوع تأثیر انتخاب همراه با تلاقی را بر صفات مرتبط با عملکرد افزایش خواهد داد. این موضوع با نتایج ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2006)، خان و همکاران (Khan *et al*., 2006) و هاشمی (Hashemi, 2006) مبنی بر وارثت‌پذیری عمومی بالا در صفت مرتبط با خورجین در کلزا مطابقت دارد.

با وجود این، به‌علت انجام آزمایش در یک‌سال، احتمالا بخشی از واریانس ژنتیکی مربوط به واریانس اثر متقابل ژنوتیپ با محیط است. همچنین، عدم تعادل در پیوستگی ژن‌ها بخشی از تفاوت در برآورد وراثت‌پذیری صفات را توجیه می‌کند.

فالکونر (Falconer, 1961) نیز معتقد است که در صورت عدم تعادل در پیوستگی ژن‌ها، اثر غالبیت سبب اریبی در برآورد وراثت‌پذیری می‌شود. درصد وراثت‌پذیری خصوصی به‌طور کلی برای صفات مورد مطالعه متوسط به بالا بود و از ۵۵/۷۷ درصد برای عملکرد روغن دانه تا ۸۷/۴۳ درصد برای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی متفاوت بود (جدول ۲). توارث‌پذیری خصوصی بالای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی (۸۷/۴۳)، تعداد خورجین در بوته (۸۲/۹۸)، تعداد دانه در خورجین (۶۶/۳۴) و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین (۶۹/۷۲) نیز مؤید سهم بیشتر واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفات نسبت به سایر صفات مورد ارزیابی هستند.

امیری اوغان و همکاران (Amiri oghan, 2010) با استفاده از تجزیه لاین در تستر در کلزا مقدار وراثت‌پذیری خصوصی را برای اکثر صفات متوسط گزارش کردند. همچنین، وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برای صفات تعداد خورجین در بوته گزارش شده‌است (Rameah, 2016) که نشان می‌دهد اثرات ژنتیکی افزایشی نقش مهمی در کنترل این صفات دارند و با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

در برآورد نحوه عمل ژن، اگر نسبت MS_{GCA}/MS_{SCA} بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده واریانس ژنتیکی افزایشی و در صورت کمتر بودن از یک، نشان‌دهنده اهمیت واریانس غیرافزایشی است (Hosseini *et al*., 2013). برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی (۵/۳۷)، تعداد خورجین در بوته (۳/۷۷)، تعداد دانه در خورجین (۱/۷۱) و ارتفاع اولین

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

خورجین از سطح زمین (۱/۸۷)، نقش واریانس افزایشی نسبت به واریانس غیرافزایشی بیشتر بود و برای صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی (۰/۹۹)، طول خورجین (۰/۹۴)، عملکرد دانه (۰/۷۷) و عملکرد روغن دانه (۰/۷۲) نقش واریانس غیر افزایشی نسبت به واریانس افزایشی بالاتر بود. نتایج مشابهی در مورد نحوه عمل ژن در کنترل صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در کل بوته، تعداد دانه در خورجین ، طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه توسط سایر محققان گزارش شدند (Farshadfar *et al*., 2011). نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات خومرام و همکاران (Khumram *et al*., 2006) در مورد تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین مغایرت دارند.

میانگین درجه غالبیت ژن‌های کنترل‌کننده صفات از ۰/۴۳ (تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی) تا ۱/۱۸ (عملکرد روغن دانه) نوسان داشت. بالاتر بودن میانگین درجه غالبیت از یک بیانگر اثرات غالبیت تا فوق غالبیت در کنترل آن صفت است.

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، درجه غالبیت بیش از یک، در صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی (۱/۰۱)، و طول خورجین (۱/۰۳)، عملکرد دانه (۱/۱۴) و عملکرد روغن دانه (۱/۱۸) می‌تواند مبین عمل فوق غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفات باشد. اما با توجه به این‌که میزان واریانس غالبیت کمتر از واریانس افزایشی است، عمل فوق غالبیت می‌تواند از نوع کاذب و ناشی از تجمع اثرات غالبیت ناقص یا کامل ژن‌های کنترل‌کننده این صفات و ناشی از پیوستگی ژنی باشد (Amiri Oghan, 2000). بنا بر این، می‌توان نتیجه گرفت که نقش اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل و بروز این صفات نسبت به اثرات افزایشی ژن‌ها بیشتر و مهم‌تر است. بالاتر بودن واریانس غالبیت نشان‌دهنده این است که گزینش در شرایط خودگشنی برای این صفات قابل تثبیت نیست و برای اصلاح این صفات انجام تلاقی و اداره جامعه بعد از آن، مؤثرتر از روش انتخاب خواهد بود.

در مطالعه‌ای برروی کلزا، میانگین درجه غالبیت برای صفت عملکرد دانه و اجزای عملکرد بیش از یک گزارش شد که نشان‌دهنده‌ی نقش اثر فوق غالبیت ژن‌ها است (Jamshidmoghaddam *et al*., 2018). نتایج به‌دست آمده با نتایج این تحقیق که در بررسی‌های ژنتیکی، نقش اثرات غیرافزایشی ژن‌ها را مهم‌تر می‌داند، مطابقت دارند.

جدول ۲- برآورد اجزای واریانس، متوسط درجه غالبیت، وراثت‌پذیری و نحوه عمل ژن در گیاه کلزا

Table 2. Estimates of variance components, average degree of dominance, heritability, and gene action in rapeseed

Oil Yield عملکرد روغن دانه	Grain Yield عملکرد دانه	The length of the first silique from the ground ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین	Silique length طول خورجین	The number of seeds per silique تعداد دانه در خورجین	The number of silique per plant تعداد خورجین در بوته	The number of silique in the main stem تعداد خورجین در ساقه اصلی	The number of silique in secondary branches تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	
15.18	8620.16	43.01	0.38	2.79	2323.50	101.78	2167.21	واریانس افزایشی Additive variance
10.57	5564.94	11.48	0.20	0.81	308.38	51.50	201.68	واریانس غالبیت Dominance variance
1.18	1.14	0.73	1.03	0.76	0.52	1.01	0.43	متوسط درجه غالبیت Mean degree of dominance
25.75	14185.10	54.49	0.59	3.61	2631.88	153.28	2368.90	واریانس ژنتیکی Genotypic variance
27.23	14973.91	61.69	0.64	4.21	2800.22	163.71	2487.85	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance
94.58	94.73	88.34	91.28	85.72	93.99	93.63	95.56	وراثت‌پذیری عمومی* Broad sense heritability*
55.77	57.57	69.72	59.57	66.34	82.98	62.17	87.43	وراثت‌پذیری خصوصی* Narrow sense heritability*
7.59	4310.08	21.50	0.19	1.40	1161.75	50.89	1083.61	میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی Mean squares of general combining ability
10.57	5564.94	11.48	0.20	0.82	308.38	51.50	201.68	میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی Mean squares of specific combining ability
0.72	0.77	1.87	0.94	1.71	3.77	0.99	5.37	نحوه عمل ژن Gene action

*: وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی در واحد میانگین تیمارها محاسبه شده است.

*: Heritability is computed based on the mean sof treatments.

با توجه به این که اثر تلاقی‌ها برای صفات معنی‌دار بود، مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی برای کلیه لاین‌ها و تسترها برآورد شدند (جدول ۳). نتایج تفاوت معنی‌داری را بین ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها برای هر صفت نشان دادند. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تستر SPN1 و لاین DH4 برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و کل بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه و تستر SPN34 و لاین SPN3 برای صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین ترکیب شونده‌های خوبی بودند. در نتیجه، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یکی از والدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی مبتنی‌بر تولید بذر هیبرید استفاده کرد. در فرآیند اصلاحی کلزا نباید هدف یافتن بهترین لاین خالص باشد، بلکه هدف یافتن بهترین ترکیب هیبریدی است که از نظر ژنوتیپی و فنوتیپی مناسب باشد، زیرا مشاهده شده است که ترکیب بهترین لاین‌ها به لحاظ قابلیت ترکیب عمومی همیشه بهترین هیبرید را تولید نخواهد کرد. در گیاهانی مانند کلزا که هدف نهایی عمدتاً عملکرد دانه است، تاکید بر صفات مرتبط با عملکرد دانه است و نیز نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به این صفات می‌توانند به‌عنوان یکی از

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

کارآمدترین ابزارها مورد استفاده قرار گیرند (Hosseini *et al*., 2013). بر اساس نتایج حاصل از ترکیب‌پذیری خصوصی (جدول ۴)، ترکیبات DH4 × RGS003 برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و اصلی و کل بوته، DH4 × SPN1 برای صفات تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه، SPN30 × RGS003 برای صفت طول خورجین، SPN9 × SPN1 برای صفت ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و SPN36 × RGS003 برای صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه جزء ترکیبات برتر بودند. به طور کلی، نتایج این آزمایش از لحاظ صفات مورد مطالعه با نتایج گزارش‌شده توسط سایر محققان مطابقت دارند (Akbar e*t al*., 2008; Nassimi *et al*., 2006). همچنین، آزمایشات با گونه‌های مختلف براسیکا از جمله کلزا دلالت بر این مطلب داشتند که اثر ترکیب‌پذیری عمومی در جوامع F_1 برای اجزای عملکرد به میزان بالایی معنی‌دار بود و تأثیر ترکیب‌پذیری خصوصی نیز به میزان کمتری معنی‌دار بود (Arunachalam, 1998).

جدول ۳- برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها و اشتباه معیار آن‌ها برای صفات مورد مطالعه در گیاه کلزا

Table 3. Estimations of general combining ability for lines and testers and their standard errors in rapeseed

Oil Yield عملکرد روغن دانه	Grain Yield عملکرد دانه	The length of the first silique from the ground ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین	Silique length طول خورجین	The number of seeds per silique تعداد دانه در خورجین	The number of silique per plant تعداد خورجین در بوته	The number of silique in the main stem تعداد خورجین در ساقه اصلی	The number of silique in secondary branches تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی		
1.48^{ns}	36.00^{**}	7.79^{**}	-0.46^{**}	1.31^{*}	17.05^{*}	9.32^{**}	9.81^{ns}	SPN3	لاین Line
-1.26^{ns}	-30.67^{ns}	0.52^{ns}	0.26^{ns}	1.44^{**}	4.79^{ns}	7.79^{**}	-3.12^{ns}	SPN9	
-4.04^{**}	-100.67^{**}	-8.48^{**}	-0.22^{ns}	-1.36^{**}	-55.01^{**}	-16.01^{**}	-39.19^{**}	SPN36	
1.43^{ns}	26.00^{ns}	3.32^{ns}	-0.27^{ns}	-0.96^{ns}	-37.41^{**}	1.05^{ns}	-38.19^{**}	SPN30	
2.75^{**}	69.33^{**}	-3.15^{ns}	0.14^{ns}	-0.43^{ns}	70.59^{**}	-2.15^{ns}	70.68^{**}	DH4	
0.70	16.21	-10.80^{**}	0.14	0.45	7.49	1.86	6.05	SE_L	
0.99	22.93	3.52^{*}	0.19	0.66	10.59	2.64	8.56	$SE_{L(gi-gi)}$	
-7.67^{**}	-182.67^{**}	-10.80^{**}	-1.51^{**}	-1.07^{**}	36.29^{**}	-7.07^{**}	44.08^{**}	SPN34	تستر Tester
1.95^{**}	41.33^{**}	3.52^{*}	0.33^{**}	-2.67^{**}	-7.47^{ns}	-4.19^{*}	-5.12^{ns}	RGS003	
5.73^{**}	141.33^{**}	7.28^{**}	1.17^{**}	3.73^{**}	-27.83^{**}	11.25^{**}	-38.96^{**}	SPN1	
0.54	12.56	1.20	0.11	0.35	5.80	1.44	4.69	SE_T	
0.77	17.76	1.70	0.15	0.49	8.21	2.04	6.63	$SE_{T(gi-gi)}$	

ns و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد. SE_L، $SE_{L(gi-gi)}$، SE_T و $SE_{T(gi-gi)}$ به‌ترتیب نشان‌دهنده خطای استاندارد ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها، اختلاف خطای استاندارد ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها، خطای استاندارد ترکیب‌پذیری عمومی تسترها و اختلاف خطای استاندارد ترکیب‌پذیری عمومی تسترها هستند.

ns, * and **: Non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. SE_L, $SE_{L(gi-gi)}$, SE_T and $SE_{T(gi-gi)}$ represent the standard error of the general combining ability of lines, the standard error difference of the general combining ability of lines, the standard error of the general combining ability of testers, and the standard error difference of the general combining ability of testers, respectively.

جدول ۴- برآورد اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی و اشتباه معیار آن‌ها برای صفات مورد مطالعه در گیاه کلزا

Table 4. Estimations of specific combining ability and their standard errors in rapeseed

Oil Yield عملکرد روغن دانه	Grain Yield عملکرد دانه	The length of the first silique from the ground ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین	Silique length طول خورجین	The number of seeds per silique تعداد دانه در خورجین	The number of silique per plant تعداد خورجین در بوته	The number of silique in the main stem تعداد خورجین در ساقه اصلی	The number of silique in secondary branches تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	لاین × تستر Line × Tester
-0.47^{ns}	-12.00^{ns}	-5.47^{ns}	0.48^{ns}	-2.67^{**}	48.99^{**}	12.00^{**}	38.23^{**}	SPN3×SPN34
-1.34^{ns}	-35.33^{ns}	-2.00^{ns}	0.21^{ns}	0.80^{ns}	10.05^{ns}	-7.07^{*}	15.96^{ns}	SPN9×SPN34
-4.77^{**}	-105.33^{**}	-4.60^{ns}	-0.20^{ns}	0.40^{ns}	24.05^{ns}	-0.27^{ns}	24.63^{*}	SPN36×SPN34
5.13^{**}	118.00^{**}	3.40^{ns}	-0.73^{**}	0.80^{ns}	-13.55^{ns}	10.27^{**}	-25.17^{*}	SPN30×SPN34
1.45^{ns}	34.67^{ns}	8.67^{**}	0.24^{ns}	0.67^{ns}	-69.55^{**}	-14.93^{**}	-53.64^{**}	DH4×SPN34
-3.36^{*}	-74.00^{*}	7.97^{*}	-0.04^{ns}	1.33^{ns}	-47.33^{**}	-12.84^{**}	-34.37^{**}	SPN3×RGS003
0.53^{ns}	-12.67^{ns}	-7.36^{*}	-0.09^{ns}	-1.60^{ns}	-19.87^{ns}	-10.51^{**}	-9.04^{ns}	SPN9×RGS003
7.73^{**}	172.67^{**}	7.84^{*}	0.16^{ns}	1.20^{ns}	-7.27^{ns}	13.69^{**}	-20.57^{ns}	SPN36×RGS003
4.04^{**}	96.00^{**}	2.64^{ns}	1.53^{**}	2.00^{*}	12.13^{ns}	-9.97^{**}	23.03^{*}	SPN30×RGS003
-8.94^{**}	-207.33^{**}	-11.09^{**}	-1.56^{**}	-2.93^{**}	62.33^{**}	19.63^{**}	40.96^{**}	DH4×RGS003
3.83^{**}	86.00^{**}	-2.51^{ns}	-0.44^{ns}	1.33^{ns}	-1.65^{ns}	0.84^{ns}	-3.85^{ns}	SPN3×SPN1
0.81^{ns}	22.67^{ns}	9.36^{**}	-0.11^{ns}	0.80^{ns}	9.81^{ns}	17.57^{**}	-6.92^{ns}	SPN9×SPN1
-2.96^{*}	-67.33^{*}	3.24^{ns}	0.04^{ns}	-1.60^{ns}	-16.79^{ns}	-13.43^{**}	-4.05^{ns}	SPN36×SPN1
-9.18^{**}	-214.00^{**}	-6.04^{*}	-0.81^{**}	-2.80^{**}	1.41^{ns}	-0.29^{ns}	2.15^{ns}	SPN30×SPN1
7.49^{**}	172.67^{**}	2.43^{ns}	1.32^{**}	2.27^{*}	7.21^{ns}	-4.69^{ns}	12.68^{ns}	DH4×SPN1
1.21	28.09	2.68	0.24	0.77	12.97	3.23	10.49	SE_{ig}
1.72	39.72	3.79	0.33	1.09	18.35	4.57	14.83	SE(ig-kl)

ns و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد. SE_{ig} و $SE_{(ig-kl)}$ به‌ترتیب نشان‌دهنده خطای استاندارد ترکیب‌پذیری خصوصی و اختلاف خطای استاندارد ترکیب‌پذیری خصوصی هستند.

ns, * and **: Non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. SE_{ig} and $SE_{(ig-kl)}$ represent the standard error of specific combining ability and the difference of standard errors of specific combining ability, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق می‌توان گفت که تنوع ژنتیکی کافی در بین ژنوتیپ‌های مورد استفاده برای صفات زراعی مرتبط با خورجین کلزا وجود داشت که می‌توان از این تنوع در جهت افزایش عملکرد و ایجاد ارقام مناسب استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان دادند که برای صفات تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، نقش واریانس افزایشی نسبت به واریانس غیر افزایشی بیشتر بود؛ در نتیجه، روش‌های اصلاحی مبتنی بر گزینش

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]
[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

برای بهبود این صفات پیشنهاد می‌شوند. درجه غالبیت بیش از یک در صفات تعداد خورجین در ساقه اصلی، طول خورجین، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه مبین عمل غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفات بود در نتیجه تولید هیبرید و بهره‌برداری از اثرات غالبیت ژن‌ها در این صفات پیشنهاد می‌شود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تسترهای SPN1 و SPN34 و لاین‌های DH4 و SPN3 از لحاظ صفات مرتبط با خورجین و عملکرد ترکیب‌شونده‌های خوبی بودند؛ در نتیجه، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یکی از والدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر دورگ‌گیری به‌ویژه تولید بذر هیبرید استفاده کرد. همچنین ترکیبات DH4 × SPN1، SPN30 × RGS003، DH4 × RGS003 و SPN9 × SPN1 در بین ترکیبات ارقام کلزا جزء ترکیبات برتر بودند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های تولید ارقام هیبرید استفاده کرد. لازم به ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به‌علت ثابت بودن ژنوتیپ‌ها احتمالا قابل تعمیم به سایر ژنوتیپ‌ها نیستند و فقط در رابطه با مواد ژنتیکی مورد آزمایش صادق هستند. وجود برخی تفاوت‌ها در یافته‌های این تحقیق با یافته‌های دیگران و نیز یافته‌های دیگر محققان با یکدیگر نشان می‌دهد که نوع مواد و طرح آزمایشی مورد استفاده نمی‌توانند در این مورد بی‌تاثیر باشند، بنا بر این، انتخاب لاین‌های مختلف با دامنه وسیع‌تری از تغییرات می‌تواند به نتیجه‌گیری عمومی‌تر و جامع‌تری منجر شود. همچنین، لازم است که صفات در سال و مکان‌های دیگر نیز بررسی شوند تا ضمن تعیین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، وراثت‌پذیری صفات نیز با ضریب اطمینان بالا برآورد شود.

References

Abdel-Latif, I. S., Abd EL-Kader, M. N., & Salous, M. (2023). Construction of some selection procedures for improvement of grain yield in durum wheat. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *101*(2), 670-684.

Akbar, M., Tahira, B., Atta, H. M., & Hussain, M. (2008). Combining ability studies in rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture & Biology, 10*(2), 205-208.

Akram-Ghaderi, F., Soltani, A., & Sadeghipour, H.R. (2008). Effect of temperature and water potential on germination of medicinal pumpkin (Cucurbita pepo. convar. pepo var. styriaca), black cumin (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*. *15*, 157-170. [In Persian]

Amiri Oghan, H. (2000). Heritability of indices of drought resistance in Rapeseed. *M.Sc. thesis Islamic Azad University, Ardabil Branch.* [In Persian]

Amiri oghan, H., Dehghani, H., & Heidari, M. (2010). Heritability of yield and its related traits in winter rapeseed cultivars under non-drought stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *20(1)*, 33-48.

Arshadi-Bidgoli, M., Fotokian, M. H., Amiri Oghan, H., & Alizadeh, B. (2021). Genetic evaluation of some phonological and morphological traits of oilseed rape (*Brassica napus* L.) Genotypes by line×tester method. Ir*anian Journal of Field Crop Science*, *52 (1)*, 37-46. [In Persian]

Arunachalam, V. (1998). Oilseed and vegetable brassicas: Indian perspective. *Agricultural Economics Research Review*, *11*(2), 174-174.

Baye, W., Xie, Q., & Xie, P. (2022). Genetic architecture of grain yield-related traits in sorghum and maize. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(5), 2405.

Falconer, D. S. (1961). *Introduction to Quantative Genetics*. Ronald Press Company.

Fanaie, H. R., Ghanbari, A., Akbarimoghadam, H., Souloki, M., & Narouirad, M.R. (2008). Yield comparsion and yield,components and some agronomic traits of rapeseed varieties in Sistan region. P*ajhoesh and Sazandaki in Agronomy and Horticultuer*, *79*, 36-44. [In Persian]

Farshadfar, E., Karouni, M., Pourdad, S., Zareie, L., & Moghaddam, M. (2011). Genetic analysis of some physiological, phenological and morphological traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using diallel method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42(3)*, 627-647.

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*, 16(1), 74-85.

Hashemi, A. (2006). Genetic Studies of Rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) via diallele analysis M. Sc. thesis. The University of Mazandaran, Faculty of Agriculture, 627 pp. [In Persian].

Hosseini, S., Choukan, R., Bihamta, M., & Mohammadi, A. (2013). Estimation of combining ability and gene effect in maize lines using line× tester analysis under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(1), 60-70. [In Persian]

Jamshidmoghaddam, M. Farshadfar, E. A., & 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)*, 15-36. [In Persian]

Kempthorne, O. (1957). *An Introduction to Genetic Statistics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Khan, F., Sajid Ali, S. A., Amir Shakeel, A. S., Asif Saeed, A. S., & Ghulam Abbas, G. A. (2006). Genetic variability and genetic advance analysis for some morphological traits in *Brassica napus* L. *Journal of Agricultural Research (Lahore)*, *44(2)*, 83-87.

Khan, F. A., & Khan, R. (2005). Inheritance pattern of quantitative characters in *Brassica napus*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 420-423.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]

Khumram, M. H., Alizadeh, B., Javidfar, F., & Amiri Oghan, H. (2006). Estimation of genetic variance components and heritability of important rapeseed traits through cross-alleles. *9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding Tehran. Iran*.

Labana, K. S., Jindal, S. K., & Mehan, D. K. (1978). Heterosis and combining ability in yellow Sarsoon. *Journal of Crop Improvement*, *5*, 50-55.

Nassimi, A. W., Raziuddin, R., Sardar Ali, S. A., Ghulam Hassan, G. H., & Naushad Ali, N. A. (2006). Combining ability analysis for maturity and other traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, *5(3)*, 523-526.

Payghamzadeh, K., & Amiri Oghan, H. (2023). Estimation of Genetic Parameters of some Important Agronomical Traits in Oilseed Rape by Griffing's Diallel Method. *Journal of Crop Breeding*, *15*(46), 11-21. [In Persian]

Patel, J. D., Christie, B. R. & Kannenberg, L. W. (1984). Line × tester crosses: a new approach of analysis. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, *26 (5)*, 523-527.

Rameah, V. (2016). Line × tester analysis in rapeseed: Identification of superior parents and combinations for seed yield and its components. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska Sectio C – Biologia*, *70(2)*, 69.

Rameah, V., Rezai, A., & Saeidi, G. (2018). Estimation of genetic parameters for yield, yield components and glucosinolate in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, *5*, 143-151.

Sadat Hashemi, P., Mohammadi, A., Alizadeh, B., Mostafavi, K., & Amiri Oghan, H. (2024). Enhancing yield and oil content in oilseed rape hybrids: Insights from line × tester and SIIG approaches. *Food Science & Nutrition*, *12(5)*, 3628-3641.

Singh, B., Singh, S., Singh, A., & Singh, A. (2018). Studies on combining ability effect on seed yield and itâ€™ s components in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(1), 879-882.

Youssefy, Z., Jelodar, N., & Kazemitabar, S. (2012). Genetic assessment of silique length in rapeseed (*Brassica napus* L.) using generation mean analysis and RAPD markers. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *14(1),* 72-83. [In Persian]

Zhang, G., He, Y., Xu, L., Tang, G., & Zhou, W. (2006). Genetic analyses of agronomic and seed quality traits of doubled haploid population in Brassica napus through microspore culture. *Euphytica*, *149*, 169-177.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-14]

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1591]