

Research paper

Combinability and Heterosis of Spring Oilseed Rape Genotypes under Normal Irrigation and Drought Stress Conditions

Parvane Gholizadeh Sarcheshmeh¹, Jalal Saba², Hassan Amiri Oghan ³, Farid Shekari⁴ and Amir Gholizadeh⁵

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: amirioghan2014@gmail.com)

4- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

5- Assistant Professor, Agricultural and Horticultural Science Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan Province, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Gorgan, Iran

Received: 12 July, 2023

Accepted: 4 October, 2023

Extended Abstract

Background: Oilseed rape is a major source of vegetable oil in the world, and its seed contains more than 40% of oil. The meal obtained from oil extraction contains more than 35% of protein. Currently, it ranks third among oil plants after soybean and oil palm in the world. Environmental stresses, such as drought stress, cause a significant decrease in oilseed rape yields. Therefore, breeding for drought tolerance is very important, and creating high-yielding and early maturing or drought-tolerant cultivars is one of the important goals of breeders. This study aimed to determine the best general and specific combiners and the heterosis level compared to the superior parent in spring rapeseed using line $\times$ tester analysis in two normal irrigation and drought stress conditions.

Methods: Seven high-yielding rapeseed lines were crossed with five testers with a range of early maturity in 2018-2019. The first-generation hybrids along with 12 parents (47 genotypes in total) were evaluated in a randomized complete block design with three replications in two conditions of normal irrigation and end-season drought stress (irrigation cut off at the beginning of the podding stage) in 2019-2020. The studied traits included physiological maturity date, plant height, the number of pods per plant, pod length, the number of grains per pod, height of the first pod from the ground, 1000-seed weight (TSW), seed yield, oil percentage, and oil yield.

Results: The results of ANOVA in both normal irrigation and drought stress conditions showed significant differences between hybrids for all investigated traits, which indicated a significant variation between the genotypes. In analyzing the effect of hybrids into the relevant components, the interaction effect of line $\times$ tester was significant for all traits under normal irrigation and drought stress conditions, except for the height of the first pod from the ground and oil yield. The effect of parents versus hybrids was significant in normal conditions for all traits, except for the number of seeds per pod under normal irrigation conditions and except for plant height, pod length, and the number of seeds per pod in drought stress conditions, indicating the existence of heterosis for these traits. For the physiological maturing trait, line 6 among the lines showed the highest negative general combinability under normal irrigation and drought stress conditions, and tester 5 showed the highest negative general combinability among the testers under normal irrigation and drought stress conditions. Tester 5 contributed to the early maturing T5 $\times$ L3 hybrid under drought stress conditions. L1 and L5 in both conditions, T2, L3, and L4 in normal irrigation conditions, and T1 in drought stress conditions were identified as the best general positive and significant combiners for the number of pods per plant. The hybrids T5 $\times$ L1, T1 $\times$ L5, T2 $\times$ L4, T4 $\times$ L4, T1 $\times$ L7, T1 $\times$ L6, T2 $\times$ L7, T3 $\times$ L2, T5 $\times$ L7, and T4 $\times$ L3 were the best specific combiners to increase the number of pods per plant in both experimental conditions. T4 was the most significant positive general combiner under normal irrigation and drought stress conditions for the TSW trait. The highest positive and significant specific combinability for this trait was observed in the hybrids T2 $\times$ L7 and T3 $\times$ L7 in both conditions, hybrids T1 $\times$ L7 and T5 $\times$ L4 under normal irrigation conditions, and hybrids T1 $\times$ L6 and T3 $\times$ L5 under drought stress conditions. The most significant positive general combinability in grain yield was determined in T5, L1, and L6 in both conditions. The best significant positive specific combinability were T2 $\times$ L7 and T3 $\times$ L7 in both conditions. The highest positive and significant general combinability of the oil content belonged to T3, T5, and

L6 in both experimental conditions, T4 and L7 in normal irrigation conditions, and L5 in drought stress conditions. T1 × L6, T5 × L1, T2 × L5, T3 × L1, T5 × L3 and T4 × L4 were among the best hybrids in both conditions. In normal irrigation conditions, T2 × L3, T4 × L3, T5 × L1, T4 × L6, and T5 × L3 in drought stress, T5 × L1, T2 × L3, T2 × L4, T4 × L4, T4 × L3, T4 × L5, and T2 × L7 presented the highest heterosis level in the positive direction for the number of pods per plant. The highest heterosis level for the number of grains per pod trait was recorded in T2 × L3, T4 × L3, T5 × L1, and T2 × L5 under normal irrigation conditions, and T5 × L6, T3 × L6, and T5 × L3 under drought stress condition.

Conclusion: The estimation of traits' combinability showed that T5, L1, and L6 were the best general combiners in increasing grain yield. T3 × L7 and T2 × L7 hybrids were the best specific combiners for increasing grain yield under normal irrigation and drought stress conditions. For the TSW trait, T3 × L6, T4 × L1, T5 × L4, and T1 × L1 hybrids under normal irrigation conditions, and T3 × L7, T1 × L6, T2 × L6, and T3 × L3 hybrids under drought stress conditions showed the highest heterosis level. The T2 × L3, T4 × L3, and T5 × L1 showed significant positive heterosis levels for the number of pods per plant and the number of grains per pod under normal irrigation conditions. Therefore, their parents can be suggested in production programs for hybrid varieties.

Keywords: Analysis of line × tester, Combining ability, Drought stress, Oilseed rape

How to Cite This Article: Gholizadeh Sarcheshmeh, P., Amiri Oghan, H., Shekari, F., & Gholizadeh, A. (2024). Combinability and Heterosis of Spring Oilseed Rape Genotypes under Normal Irrigation and Drought Stress Conditions. *J Crop Breed*, 16(1), 74-85. DOI: [10.61186/jcb.16.49.74](https://doi.org/10.61186/jcb.16.49.74)

مقاله پژوهشی

ترکیب‌پذیری و هتروزیس ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی

پروانه قلی‌زاده سرچشمه^۱، جلال صبا^۲، حسن امیری اوغان^۳، فرید شکاری^۴ و امیر قلی‌زاده^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار پژوهش بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: amirioghan2014@gmail.com)

۴- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۲

صفحه: ۷۴ تا ۸۵

چکیده مبسوط

مقدمه و اهداف: کلزا یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان به‌شمار می‌رود و دانه آن حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کتجاله حاصل از روغن‌کشی آن دارای بیش از ۳۵ درصد پروتئین است و در حال حاضر در بین گیاهان روغنی بعد از سویا و نخل روغنی مکان سوم را در جهان داراست. وجود تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد کلزا می‌شود. بنابراین اصلاح نژاد برای تحمل به خشکی بسیار مهم است و ایجاد ارقام پرمحصول و زودرس یا متحمل به خشکی یکی از اهداف مهم اصلاح‌کنندگان است. هدف از این تحقیق تعیین بهترین ترکیب‌کننده‌های عمومی و خصوصی و میزان هتروزیس نسبت به والد برتر با استفاده از تجزیه لاین‌تستر در کلزای بهاره در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: هفت لاین پرمحصول کلزا با پنج تستر با دامنه‌ای از زودرسی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ تلاقی داده شدند. دورگ‌های نسل اول به‌همراه ۱۲ والد (جمعاً ۴۷ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل (قطع آبیاری در مرحله آغاز خورجین‌دهی) در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ ارزیابی شدند. صفات مورد مطالعه شامل تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع گیاه، تعداد خورجین در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، میزان روغن و عملکرد روغن بودند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس ساده در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی اختلاف معنی‌داری را بین هیبریدها برای تمام صفات مورد بررسی نشان داد که بیانگر تنوع قابل‌توجه بین ژنوتیپ‌ها بود. در تجزیه اثر هیبریدها به‌جز اثر متقابل لاین‌تستر در شرایط آبیاری نرمال برای همه صفات و در شرایط تنش خشکی به‌جز صفات ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و عملکرد روغن برای سایر صفات معنی‌دار شد. اثر والدین در برابر هیبریدها در شرایط آبیاری نرمال برای همه صفات به‌جز تعداد دانه در خورجین و در شرایط تنش خشکی به‌جز صفات ارتفاع بوته، طول خورجین و تعداد دانه در خورجین برای بقیه صفات معنی‌دار بود که نشان دهنده وجود هتروزیس برای این صفات است. برای صفت رسیدگی فیزیولوژیکی در بین لاین‌ها بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی را لاین ۶ و در بین تسترها نیز در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار را تستر ۵ نشان داد. تستر ۵ در شرایط تنش در تشکیل دورگ زودرس T5×L3 شرکت داشت. لاین ۱ و لاین ۵ در هر دو شرایط و تستر ۲، و لاین ۳ و ۴ در شرایط آبیاری نرمال و تستر ۱ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی مثبت معنی‌دار برای تعداد خورجین در بوته شناخته شدند و دورگ‌های T5×L1، T1×L5، T2×L4، T4×L4، T1×L7، T1×L6، T2×L7، T3×L2، T5×L7 و T4×L3 جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای افزایش تعداد خورجین در بوته در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بودند. برای صفت هزاردانه بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به تستر ۴ تعلق گرفت. همچنین در مورد ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت معنی‌دار برای این صفت در هر دو شرایط دورگ‌های T2×L7، T3×L7 و علاوه بر این دورگ‌های T1×L7 و T5×L4 در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های T1×L6 و T3×L5 در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار را نشان دادند. بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار از لحاظ عملکرد دانه به تستر ۵ و لاین‌های ۱ و ۶ در هر دو شرایط تعلق گرفت. بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی مثبت معنی‌دار دورگ‌های T2×L7 و T3×L7 بودند. از لحاظ میزان روغن بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به تسترهای ۳ و ۵ و لاین ۶ در هر دو شرایط آزمایش و تستر ۴ و لاین ۷ در شرایط آبیاری نرمال و لاین ۵ در شرایط تنش خشکی تعلق گرفت. دورگ‌های T1×L6، T5×L1، T2×L5، T3×L1، T5×L3 و T4×L4 جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی در هر دو شرایط بودند. در شرایط آبیاری نرمال دورگ‌های T2×L3، T4×L3، T5×L1، T4×L6 و T5×L3 و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های T5×L1، T2×L3، T4×L4، T4×L5، T2×L7 و T2×L7 دارای بیشترین مقدار هتروزیس در جهت مثبت برای تعداد خورجین در بوته بودند. از لحاظ تعداد دانه در خورجین دورگ‌های T2×L3، T4×L3، T5×L1 و T2×L5 در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های T5×L6، T3×L6 و T5×L3 در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار هتروزیس را به‌خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: برآورد ترکیب‌پذیری صفات نشان داد که تستر ۵ و لاین‌های ۱ و ۶ به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی در جهت افزایش عملکرد دانه بودند. هیبریدهای T3×L7 و T2×L7 هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای افزایش عملکرد دانه بودند. از لحاظ صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در شرایط آبیاری نرمال دورگ‌های T2×L3، T4×L3، T5×L1 دارای هتروزیس مثبت معنی‌دار بودند و همچنین از لحاظ صفت وزن هزاردانه هیبریدهای T3×L6، T4×L1، T5×L4 و T1×L1 در شرایط آبیاری نرمال و هیبریدهای T3×L7، T1×L6، T2×L6 و T3×L3 در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس بودند. بنابراین، می‌توان والدین آنها را برای برنامه‌های تولید ارقام هیبرید پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه لاین‌تستر، ترکیب‌پذیری، کلزا، مقاومت به خشکی

مقدمه

روغنی بعد از سویا و نخل روغنی مکان سوم را در جهان دارا می‌باشد (FAO, 2016).

خشکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش آن می‌شود. بیش از ۴۵

کلزا یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان به‌شمار می‌رود (Nath et al., 2016). دانه کلزا حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کتجاله حاصل از روغن‌کشی آن دارای بیش از ۳۵ درصد پروتئین است و در حال حاضر در بین گیاهان

شرایط تنش خشکی و آبی اعلام شد تنش خشکی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد ساقه جانبی، عملکرد بیولوژیک، مدت گلدهی، روز تا رسیدن، خورجین در بوته، دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت. میانگین عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی از ۳۹۹۵/۱ به ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (Zirgoli and Kahrizi, 2015).

جمشید مقدم و همکاران (Jamshidmoghaddam et al., 2019) به‌منظور برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، هتروزیس و نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف کلزا در آزمایشی به‌صورت لاین در تستر، شش رقم بهاره (لاین) را با سه رقم پاییزه (تستر) تلاقی داده ۱۸ دورگ به‌دست آمده به‌همراه نه والد را دو آزمایش تحت تنش و عدم تنش رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر لاین در تمامی صفات به‌جز صفت طول خورجین در محیط غیر تنش و اثرات متقابل لاین در تستر در همه صفات به‌جز دو صفت دانه در خورجین و مقدار روغن در محیط تنش و طول خورجین در محیط غیر تنش معنی‌دار بود که نشان دهنده تفاوت معنی‌دار ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها بود. کنترل ژنتیکی صفات برای دو شرایط محیطی متفاوت بود و محیط اثرات ژنی را در صفات مورد مطالعه تغییر داد. برای صفت عملکرد دانه در محیط تنش اثرات افزایشی ژنی و محیط غیر تنش اثرات غالبیت ژنی نقش مهم‌تری داشت. مقدار روغن دانه در دو محیط از توارث‌پذیری خصوصی نسبتاً پایینی برخوردار بود. در مناطق مدیریت‌شده‌ای عموماً در انتهای فصل زراعی گیاهان با کمبود آب و تنش خشکی مواجه می‌شوند. بنابراین، شناسایی و آزادسازی ژنوتیپ‌هایی که با تحمل به خشکی باشند و یا اینکه دوره رشدشان کوتاه باشند و با گلدهی سریع‌تر بتوانند از خشکی انتهای فصل فرار نمایند، می‌تواند دارای اهمیت باشد. صفت فرار از خشکی یک صفت با توارث‌پذیری بالا بوده ولی صفت مقاومت یک صفت پیچیده بوده و توارث‌پذیری پایینی دارد و بدین‌جهت اصلاح از طریق صفت زودرسی می‌تواند به‌عنوان یک روش نتیجه‌بخش‌تر و سریع‌تر مورد توجه قرار گیرد. در آزمایشی اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی ارتفاع بوته، عملکرد دانه، مقدار روغن و پروتئین و همچنین عملکرد روغن و پروتئین برای سه آزمونگر 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 دارد. میانگین مربعات والدین در مقابل دورگ‌ها که نشان دهنده میانگین اثرات هتروزیس است، برای همه صفات به‌جز محتوای روغن و پروتئین معنی‌دار بود (Rameeh, 2020).

درصد زمین‌های کشاورزی به‌طور دائم در معرض خشکی قرار دارند و ۳۸ درصد جمعیت دنیا در آن مناطق ساکن هستند (Farooq et al., 2009). متوسط کاهش عملکرد سالیانه محصولات کشاورزی به‌واسطه خشکی در جهان حدود ۱۷ درصد گزارش شده است که تا بیش از ۷۰ درصد در سال می‌تواند افزایش یابد (Bray et al., 2000; HongBo et al., 2006). کلزا اصولاً به‌هنگام جوانه‌زنی و نیز در مرحله گلدهی و رشد خورجین‌ها به خشکی حساس است (Pouzet, 1995). مندهام و سالیسبری (Mendham and Salisbury, 1995) گزارش کردند که تأمین آب در شروع مرحله رشد خورجین‌ها ضروری است و تنش آبی در ابتدای دوره رشد خورجین‌ها تعداد آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درحالی‌که تنش آب در مراحل بعدی بر تعداد دانه در خورجین اثر دارد. افزایش درصد سقط دانه و خورجین به‌واسطه کاهش فراهمی فرآورده‌های فتوسنتزی در تنش آخر فصل از دلایل مهم کاهش عملکرد در کلزا اعلام گردیده است (Fanaei et al., 2012). ژنوتیپ‌های زودرس از خشکی انتهای فصل فرار می‌کنند و در مناطق کم بارش عملکرد خوبی دارند. درحالی‌که، ژنوتیپ‌های دیررس زیست‌توده و عملکرد بیشتری در مناطق پر بارش تولید می‌کنند (Cullis et al., 2010; Zhang et al., 2013; Zhang and Flottmann, 2016). با توجه به وراثت کمتر عملکرد دانه در مقایسه با اجزای آن، گزینش بر مبنای این اجزا در نسل‌های در حال تفکیک مفیدتر از گزینش برای عملکرد دانه است (Ivanovska et al., 2007).

در آزمایشی که توسط فنایی و همکاران (Fanaei et al., 2018) جهت بررسی اثر زمان آخرین آبیاری بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی ارقام کلزا انجام شد، نشان داده شد که وقوع تنش کمبود آب در مراحل رشد زایشی گیاه (گلدهی، نمو خورجین و پر شدن دانه) از طریق کاهش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد. شیرانی و زندی (Shirani Rad and Zandi, 2012) گزارش کردند که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و تلقیح باعث کاهش دانه در خورجین در نتیجه ناباروری و عدم تشکیل گل می‌شود. زارعی سیاه‌بیدی و همکاران (Zarei Siahbidi et al., 2013) اثر تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آغاز خورجین‌دهی) بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای زمستانه جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا را مورد بررسی قرار دادند. اثر تنش خشکی آخر فصل بر همه صفات به‌جز میزان روغن دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و وزن هزاردانه معنی‌دار بود. عملکرد دانه در اثر تنش خشکی به‌میزان ۳۰ درصد کاهش یافت. در آزمایشی دیگر، به‌منظور شناسایی تحمل به تنش خشکی ارقام کلزا در دو

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در کرج (۹۹-۱۳۹۸)

Table1. Physical and chemical properties of the soil of the experimental field in Karaj (2018-2019)

مشخصات Specifications	عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)
	0-30	30-60
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electrical conductivity (decisiemens per meter)	1.39	1.19
pH	7.3	7.1
درصد مواد خنثی شونده The percentage of neutralizing substances	8.19	8.38
درصد رطوبت گل اشباع Saturated soil moisture percentage	36	38
درصد کربن آلی Organic carbon percentage	0.87	0.97
درصد نیتروژن کل Percentage of total nitrogen	0.09	0.04
فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Absorbable phosphorus (mg/kg)	14.7	15.6
پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Absorbable potassium (mg/kg)	171	139
درصد رس percentage of clay	31	26
درصد سیلت percentage of Silt	44	45
درصد شن percentage of sand	25	29
بافت خاک soil texture	رسی لومی	رسی لومی

جدول ۲- مشخصات لاین‌ها و تسترهای کلزا مورد استفاده در این پژوهش

Table 2. Characteristics of the lines of oilseed rape and testers used in this research

شماره Number	اسم تستر / لاین Name of tester/line	تستر / لاین Tester/Line	کد code	تیپ رشد Growth type	منشأ origin
1	SRL-96-7	لاین	L1	بهاره	ایران
2	SRL-96-8	لاین	L2	بهاره	ایران
3	SRL-96-10	لاین	L3	بهاره	ایران
4	SRL-96-21	لاین	L4	بهاره	ایران
5	SRL-96-22	لاین	L5	بهاره	ایران
6	SRL-96-12	لاین	L6	بهاره	ایران
7	SRL-96-23	لاین	L7	بهاره	ایران
8	RGS003	تستر	T1	بهاره	آلمان
9	Dalgan	تستر	T2	بهاره	ایران
10	Roshana	تستر	T3	بهاره	ایران
11	Longpod	تستر	T4	بهاره	ایران
12	Saffar	تستر	T5	بهاره	ایران

روز خشک جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود. ریزش باران بیشتر در اواخر پاییز و اوایل بهار رخ می‌دهد. حداکثر دمای سالیانه به‌طور متوسط ۲۸ درجه سانتی‌گراد (بیشتر در تیرماه) و حداقل دمای سالیانه به‌طور متوسط یک درجه سانتی‌گراد (بیشتر در دی ماه) است. متوسط بارندگی، دمای منطقه و خاک براساس آمار ۳۵ ساله به‌ترتیب ۲۴۲ میلی‌متر، ۱۳/۵ و ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

همزمان با آماده‌سازی بستر بذر، براساس آزمون خاک (جدول ۱)، مقدار فسفر و پتاسیم مورد نیاز به‌ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در پاییز به زمین داده شد. به‌وسیله دیسک سبک کود و علف‌کش ترفلان در سطح مزرعه با خاک مخلوط شد. اوره نیز به‌صورت سرک در سه مرحله ۲ تا ۴ برگی، ساقه‌رفتن و شروع گلدهی به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. هفت لاین پرمحصول به‌همراه پنج تستر با دامنه‌ای از

یکی از روش‌های برآورد پارامترهای ژنتیکی روش تجزیه لاین×تستر است. این روش در مقایسه با روش دیال، توان ارزیابی تعداد زیادی ژنوتیپ را دارد و در مقایسه با روش‌های دیگر از سادگی و قابلیت اطمینان خوبی برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی نحوه توارث برخی صفات مهم کلزا مانند صفات رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد خورجین در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، میزان روغن و عملکرد روغن و تعیین بهترین ترکیب شونده‌های عمومی و خصوصی و مقدار هتروزیس نسبت به میانگین والدین با استفاده از تجزیه لاین×تستر در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و با ارتفاع ۱۲۳۱ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. بر اساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروتیک، این منطقه با داشتن ۱۵۰-۱۸۰

که در آن، l = تعداد لاین‌ها t = تعداد تسترها و r = تعداد تکرارهاست.

برآورد اثرات SCA

$$Sig = \frac{Xij.}{r} - \frac{Xi..}{tr} - \frac{X.j.}{lr} + \frac{X...}{ltr}$$

در این بررسی هتروزیس والد برتر محاسبه شد. به این منظور تفاوت هر صفت در هیبرید با والد برتر را به‌دست آورده و معنی‌دار بودن آن به‌روش LSD مورد آزمون قرار گرفت (Singh et al., 1986).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ساده لاین×تستر بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ در هر دو شرایط آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۳). در آزمایشی که توسط امین‌زاده و همکاران انجام گرفت، نتایج تجزیه واریانس، اختلافات معنی‌داری را در صفات کمی ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد. همچنین تجزیه واریانس بر اساس شاخص‌های تحمل نشان داد بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده از لحاظ کلیه شاخص‌های تحمل به خشکی اختلاف معنی‌داری می‌باشد (Aminzadeh, et al., 2022). در آزمایشی که توسط بخشی و همکاران انجام گرفت، بررسی نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری را از نظر صفات روز تا پایان گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد کل خورجین در بوته، طول ساقه اصلی، عملکرد و عملکرد بیولوژیک در بین لاین‌های مورد بررسی نشان داد (Bakhshi et al., 2022). اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه است. تنوع ژنتیکی بین ارقام و لاین‌های کلزا محدود می‌باشد و افزایش تنوع ژنتیکی ارقام کلزا همواره یکی از چالش‌های برنامه‌های اصلاحی کلزا است. با این ژنتیکی معنی‌داری برای صفات زراعی و مورفولوژیک کلزا گزارش شده است (Jeena and Sheikh, 2003; Sana et al., 2003). اختلاف والدین در همه صفات به‌جز عملکرد روغن در شرایط آبیاری نرمال و ارتفاع بوته و طول خورجین و عملکرد روغن در شرایط تنش در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر والدین به‌معنای آن است که در صورت انتخاب درست والدین با تنوع کافی می‌توان مقدار صفت در هیبرید را به‌سمت تولید ارقام مناسب سوق داد. بین دورگ‌ها از نظر همه صفات و در هر دو شرایط کشت اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که نشان دهنده تنوع ژنتیکی کافی بین دورگ‌ها می‌باشد.

تجزیه اثر دورگ‌ها به اجزای خود بر مبنای تجزیه لاین×تستر نشان داد که اختلاف لاین‌ها در شرایط آبیاری نرمال در همه صفات به‌جز ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین معنی‌دار شد و در شرایط تنش خشکی صفات رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه، میزان روغن و وزن هزاردانه معنی‌دار شد (جدول ۳). اختلاف تسترها نیز در همه صفات به‌جز تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی معنی‌دار

زودرسی (جدول ۲) به‌صورت آرایش لاین×تستر در بلوک‌های تلاقی در پاییز سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کشت شده و در فروردین سال ۱۳۹۸ تلاقی‌های مورد نظر انجام گرفت. در پاییز سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، دورگ‌های نسل اول به‌همراه ۱۲ والد (در مجموع ۴۷ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو آزمایش آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهای فصل در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج کشت شد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط چهار متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر بود. در آبیاری نرمال، آبیاری در مراحل کشت، روزت، ساقه رفتن، شروع گلدهی، تشکیل خورجین و توسعه دانه انجام گردید. در شرایط تنش خشکی آبیاری از مرحله آغاز خورجین‌دهی به بعد قطع شد. وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز انجام گردید. طی دوران رشد برای مبارزه با شته از سم سیستمیک متاسیتوکس به‌میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد.

روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

داده‌ها براساس موازین طرح بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شد. نرمال بودن توزیع خطاها با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ (Anderson and Darling, 1952) بررسی شد. تجزیه واریانس برای محاسبه ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها و عمومی والدین و هتروزیس در هر دو شرایط آزمایش براساس اطلاعات حاصل از تجزیه لاین×تستر انجام گرفت (Kempthorne, 1957). لازم به ذکر است که تجزیه لاین×تستر فقط برای صفاتی انجام می‌گیرد که مقدار میانگین مربعات ژنوتیپ در آنها معنی‌دار شده باشد. برای معنی‌دار شدن اثر دورگ‌های مربوط به یک صفت، لازم نیست که همه اجزای آن (لاین‌ها، تسترها و لاین×تستر) معنی‌دار شوند، بلکه معنی‌دار شدن حتی یک جزء می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن گردد، البته عکس مطلب درست نیست (Farshadfar, 2010). برای تجزیه لاین×تستر با استفاده از بسته آماری Agricolae موجود در نرم‌افزار R استفاده گردید.

برای آزمون کمیتهای مختلف محاسبه شده از آزمون t با استفاده از فرمول کلی (Sendecor, 1956) زیر استفاده شد:

اشتباه معیار کمیت/کمیت $t =$ با فرض عدم وجود ایپستازی، واریانس GCA و واریانس SCA به‌صورت زیر استفاده شدند.

$$\sigma_{gca}^2 = Cov.H.S. = \left(\frac{1+F}{4} \right) \sigma_A^2$$

$$\sigma_{sca}^2 = \left(\frac{1+F}{4} \right)^2 \sigma_D^2$$

واریانس‌های ژنتیکی افزایشی و غالبیت با در نظر گرفتن ضریب خودگشتی $F=1$ محاسبه شدند.

برآورد اثرات GCA

الف) لاین‌ها

$$gi = \frac{Xi..}{tr} - \frac{X...}{ltr}$$

ب) تسترها

$$gt = \frac{X.j.}{lr} - \frac{X...}{ltr}$$

شد. (جدول ۳). در تجزیه اثر دورگ‌ها به اجزاء مربوطه اثر متقابل لاین×تستر برای همه صفات در شرایط آبیاری نرمال معنی‌دار شد و در شرایط تنش خشکی برای همه صفات به‌جز ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و عملکرد روغن معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثرات لاین‌ها، تسترها و لاین×تستر در اکثر صفات اندازه‌گیری شده در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ می‌توان نتیجه گرفت که گزینش لاین‌ها و تسترها از پایه‌های ژنتیکی متفاوتی صورت گرفته و دورگ‌گیری بین آن‌ها نیز هیبریدهای متنوعی ایجاد کرده است. میانگین مربعات والدین در برابر دورگ‌ها که آزمونی برای وجود هتروزیس (Hallauer et al., 2010) است در شرایط آبیاری نرمال برای همه صفات به‌جز تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود و در شرایط تنش خشکی به‌جز صفات ارتفاع بوته، طول خورجین و تعداد دانه در خورجین برای بقیه صفات معنی‌دار بود.

ترکیب‌پذیری والدین

نتایج بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی لاین‌ها و تسترها و نیز بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی دورگ‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. برای صفت رسیدگی فیزیولوژیک در بین لاین‌ها بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی را لاین ۶ و در بین تسترها نیز در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار را تستر ۵ نشان داد. لذا می‌توان از این تستر جهت تولید هیبریدهای زودرس کلزا در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود. تستر ۵ در شرایط تنش در تشکیل دورگ زودرس $T5 \times L3$ شرکت داشت. دورگ‌های $T4 \times L1$ و $T2 \times L3$ در هر دو شرایط جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی شناخته شدند (جدول ۴ و ۵). از لحاظ ارتفاع بوته تستر ۱ و ۲ هم در شرایط آبیاری نرمال هم در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار را نشان دادند. علاوه بر این‌ها لاین‌های ۴، ۵ و ۶ نیز جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی منفی معنی‌دار شناخته شدند. کاهش ارتفاع بوته در کلزا همراه با افزایش مقدار تحمل به خوابیدگی ارقام و در نتیجه بهبود شاخص برداشت از اهداف مهم به‌نژادی کلزا محسوب می‌شود (Pouzet, 1995). بنابراین می‌توان از دورگ‌هایی مانند $T2 \times L3$ و $T4 \times L5$ که دارای ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار برای ارتفاع بوته هستند برای کاهش ارتفاع بوته در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد. لاین ۱ و لاین ۵ در هر دو شرایط و تستر ۲، و لاین ۳ و ۴ در شرایط آبیاری نرمال و تستر ۱ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی مثبت معنی‌دار برای تعداد خورجین در بوته شناخته شدند و دورگ‌های $T1 \times L5$ ، $T2 \times L4$ ، $T4 \times L4$ ، $T1 \times L6$ ، $T2 \times L7$ ، $T3 \times L2$ ، $T5 \times L7$ و $T4 \times L3$ جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای افزایش تعداد خورجین در بوته در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بودند. از لحاظ طول خورجین تستر ۴ و لاین ۴ در شرایط آبیاری نرمال بیشترین ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار را

نشان دادند (جدول ۴). تستر ۴ و لاین ۴ در تشکیل دورگ‌های $T4 \times L6$ و $T1 \times L4$ در شرایط آبیاری نرمال شرکت داشتند. علاوه بر این دورگ‌های $T1 \times L6$ ، $T2 \times L5$ و $T3 \times L1$ در شرایط آبیاری نرمال و $T1 \times L7$ در شرایط تنش خشکی دورگ جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی به‌شمار آمدند. لاین ۱ در شرایط آبیاری نرمال ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار را از لحاظ تعداد دانه در خورجین نشان داد. بیشترین ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت معنی‌دار در شرایط آبیاری نرمال را دورگ‌های $T2 \times L7$ ، $T1 \times L6$ و $T2 \times L4$ و $T4 \times L6$ و در شرایط تنش خشکی $T1 \times L7$ نشان دادند (جدول ۶). از لحاظ صفت ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی فقط تستر ۵ در بین والدین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار را به‌خود اختصاص داد. ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار دورگ $T2 \times L7$ به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده خصوصی در هر دو شرایط شناخته شد. علاوه بر این دورگ $T3 \times L7$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ $T4 \times L7$ در شرایط تنش خشکی ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار را نشان دادند. برای صفت هزاردانه بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به تستر ۴ تعلق گرفت (جدول ۶). استفاده از لاین‌ها و تسترهایی که دارای ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار هستند می‌تواند سبب افزایش سهم اثر افزایشی ژن‌ها شده و بازده گزینش را بالا ببرد. در مورد ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت معنی‌دار در هر دو شرایط دورگ‌های $T2 \times L7$ ، $T3 \times L7$ و علاوه بر این دورگ‌های $T1 \times L7$ و $T5 \times L4$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T1 \times L6$ و $T3 \times L5$ در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار را برای صفت هزاردانه نشان دادند. بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار از لحاظ عملکرد دانه به تستر ۵ و لاین‌های ۱ و ۶ در هر دو شرایط تعلق گرفت. بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی مثبت معنی‌دار دورگ‌های $T2 \times L7$ و $T3 \times L7$ در هر دو شرایط بودند. علاوه بر این‌ها تستر ۵ در تشکیل دورگ $T5 \times L1$ در شرایط آبیاری نرمال نیز شرکت داشت. از این دورگ‌ها می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی مبتنی بر دورگ‌گیری برای افزایش عملکرد دانه کلزا متناسب با نوع آبیاری نرمال یا تنش خشکی استفاده کرد. از لحاظ میزان روغن بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به تسترهای ۳ و ۵ و لاین ۶ در هر دو شرایط آزمایش و تستر ۴ و لاین ۷ در شرایط آبیاری نرمال و لاین ۵ در شرایط تنش خشکی تعلق گرفت. دورگ‌های $T1 \times L6$ ، $T5 \times L1$ ، $T2 \times L5$ ، $T3 \times L1$ ، $T5 \times L3$ و $T4 \times L4$ جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی در هر دو شرایط بودند. بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار از لحاظ عملکرد روغن را لاین‌های ۱ و ۶ در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی نشان دادند. لاین ۱ در تشکیل دورگ $T4 \times L1$ در هر دو شرایط آزمایش شرکت داشت. از لحاظ ترکیب‌پذیری خصوصی هم دورگ‌های $T3 \times L7$ و $T2 \times L7$ بیشترین مقدار را در هر دو شرایط نشان دادند. نتایج آزمایشی که توسط مصطفی و همکاران بر روی کلزا انجام گرفت تفاوت

معنی‌داری را در عملکرد و اجزاء عملکرد نشان داد. همچنین، ترکیب‌پذیری عمومی و نیز برآورد قابل‌توجهی برای آنالیزها برآورد مثبت و معنی‌داری را برای صفات ۵۰ درصد تا گلدهی و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، از لحاظ ترکیب‌پذیری خصوصی برای اجزاء عملکرد را نشان دادند (Mustafa et al., 2023).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کلزا به‌روش لاین در تستر در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
Table 3. Analysis of variance of some agricultural traits in oilseed rape genotypes line ×tester method under normal irrigation and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological Maturity	ارتفاع بوته Bush Height	تعداد خورجین در بوته Number of pods per Bush	طول خورجین length of pods	تعداد دانه در خورجین Number of seeds in pods
تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress
تکرار Replication	2	88.88 **	122.52 *	19.89 ^{ns}	72.12 ^{ns}	3892.52**
تیمار Treatments	46	52.07 **	185.49 **	131.58 **	14024.22**	15281.23 **
والدین Parents	11	37.54 *	230.68 **	96.21 ^{ns}	4031.16**	6483.19**
والدین در برابر Parents vs. Crosses	1	110.09**	128.54**	155.76 ^{ns}	184495.00**	235727.86**
دورگ‌ها Crosses	34	61.32**	54.52**	142.32**	12243.42**	11643.93**
لاین Lines	6	65.26 **	62.82**	76.72 ^{ns}	5451.10**	16828.09**
تستر Tester	4	103.22 **	49.82*	379.15**	21060.05**	8073.14 **
تستر×لاین Lines×Testers	24	53.35**	53.22**	119.25**	12472.07**	10943.02**
خطا Error	92	65.12	16.68	53.83	720.99	544.39
ضریب تغییرات C.V. (%)		1.64	1.77	6.97	9.56	12.57

***, * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.
***, * and ns: significant difference at the probability level of 0.01 and 0.05 and non-significance, respectively

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کلزا به‌روش لاین در تستر در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
Continued Table 3. Analysis of variance of some agricultural traits in oilseed rape genotypes line ×tester method under normal irrigation and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین height of the first pod above the ground	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	تشنش خشکی Drought stress
تکرار Replication	2	100.87 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.18 ^{ns}	24.45**	1173918.94**
تیمار Treatments	46	146.01 **	0.30 **	0.32 **	10.89**	184661.14**
والدین Parents	11	243.77 **	0.31**	0.37 **	19.03**	107722.31 ^{ns}
والدین در برابر Parents vs. Crosses	1	494.20 **	0.58 *	0.74 *	3.14**	537657.26*
دورگ‌ها Crosses	34	75.90 **	104.14 *	0.29 **	8.48**	199170.87**
لاین Lines	6	30.53 ^{ns}	19.15 ^{ns}	0.23 ^{ns}	14.60**	344027.83**
تستر Testers	4	243.66 **	332.32 **	0.41*	5.96**	213164.06 ^{ns}
تستر×لاین Lines×Testers	24	59.28 *	87.35 ^{ns}	0.28 **	7.37**	160624.43*
خطا Error	92	69.29	59.32	0.13	0.14	88436.21
ضریب تغییرات C.V. (%)		9.32	13.26	9.02	1.02	31.77

***, * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.
***, * and ns: significant difference at the probability level of 0.01 and 0.05 and non-significance, respectively

ترکیب‌پذیری و هتروزیس ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی ۸۲

جدول ۴- بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی لاین‌ها و تسترها برای برخی صفات کلزا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
Table 4. The best general combiner of lines and testers for some traits of oilseed rape under normal irrigation and drought stress conditions

تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	افزایش/کاهش Increase/Decrease	صفت Trait
T3×L5(-6/55**), T4×L1(-5/86**), T5×L3(-5/514**), T2×L3(-5/181), T4×L4(-4/92*)	T4×L1(-6.42**), T2×L3(-5.58**), T4×L4(-4.59*), T3×L7(-2.50**), L7×T4 (-2.02**)	کاهش decrease	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity
T2×L3(-8/66**), T3×L7(-8/50*), T1×L7(-1/80**), T4×L7 (-1/56**), T5×L7(-1/51**), T5×L1(94/06**), T3×L2(77/88**), T4×L4(71/52**), T2×L4(64/59**), T1×L6(59/39**), T1×L5(58/80**), T4×L3(36/10*), T2×L7(28/03**), T5×L7(14/61**), T1×L7(0/73**)	T4×L5(-11.96**), T1×L4(-6.76**), T5×L7(-4.17**), T4×L7(-2.80**), T3×L7 (-0.32**), T5×L1(118.03**), T3×L2(72.18**), T2×L4 /41.05**), T1×L6(39.52**), T1×L5(38.79**), T4×L3(38.27**), T4×L4(34.54*), T2×L7(28.64**), T1×L7(23.48**), T5×L7(5.51**)	کاهش decrease	ارتفاع بوته Bush height
T1×L7(0/36**)	T1×L6(2/62**), T1×L4(1/85**), T2×L5(1/608**), T3×L1(1/20**), T4×L6(1/07**)	افزایش Increase	تعداد خورجین در بوته Number of pods per bush
T1×L7(5/28**)	T2×L7(3/94**), T1×L6(3/30**), T2×L4(3/19*), T4×L6(2/75*)	افزایش Increase	طول خورجین length of pods
T4×L7(6/01**), T2×L7(7/67**)	T3×L7(4/25**), T2×L7(3/87**)	افزایش Increase	تعداد دانه در خورجین Number of seeds in pod
T3×L7(0/52**), T2×L7(0/24**), T1×L6(0/44*), T3×L5(0/45*)	T2×L7(0/24**), T3×L7(0/22**), T1×L7(0/15**), T5×L4(0/47*)	افزایش Increase	ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین height of the first pod above the ground
T3×L7(698/08*), T2×L7(172/45**), T3×L5(601/79*), T4×L4(583/05*)	T3×L7(572/09**), T4×L7(162/35**), T2×L7(112/26**), T5×L1(630/37*)	افزایش Increase	وزن هزاردانه 1000-seed weight
T5×L7(4/23**), T2×L2(3/73**), T4×L4(2/68**), T1×L6(2/37**), T3×L4(2/37**), T3×L1(2/26**), T5×L1(2/02**), T2×L5(0/88**), T5×L3(0/83**), T3×L7(421/17**), T2×L7(23/67**), T4×L1(388/17*)	T1×L6(2.62**), T3×L7(2/19**), T5×L1(1/64**), T2×L5(1/608**), T3×L1(1/20**), T5×L3(1/12**), T4×L4(0/54**)	افزایش Increase	عملکرد دانه Seed yield
	T3×L7(586/15**), T2×L7(7/72**), T4×L1(426/82**)	افزایش Increase	درصد روغن Oil percent
		افزایش Increase	عملکرد روغن Oil yield

**, *: significant difference at the probability level of 0.01 and 0.05 and non-significance, respectively

جدول ۵- بهترین ترکیب شونده‌های خصوصی دورگ‌ها برای برخی صفات زراعی کلزا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
Table 5. The best specific combiner of hybrids for some agricultural traits of oilseed rape under normal irrigation and drought stress conditions

تنش خشکی Drought Stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	افزایش/کاهش Increase/Decrease	صفت Trait
L6(-2/83**), T5(-2/35**)	T5(-3/66**), L6(-2/78**)	کاهش decrease	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological Maturity
T1(-4/69**), L5(-4/31*), T2(-4/20*)	T2(-5/41**), L6(-4/63**), L4(-3/63**), T1(-2/94*)	کاهش decrease	ارتفاع بوته Bush Height
L1(33/03**), T1(27/00**), L5(19/64**)	T2(33/40**), L3(30/87**), L1(29/00**), L5(26/39**), L4(17/67**)	افزایش Increase	تعداد خورجین در بوته Number of pods per Bush
-	T4(0/74**), L4(0/31*)	افزایش Increase	طول خورجین length of pods
-	L1(1/89**)	افزایش Increase	تعداد دانه در خورجین Number of seeds in pods
T5(5/20**)	T5(5/24**)	افزایش Increase	ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین height of the first pod above the ground
T4(0/16*)	T4(0/22**)	افزایش Increase	وزن هزاردانه 1000-seed weight
L1(444/44**), T5(382/72**), L6(267/94*)	T5(452/19**), L6(384/04**), L1(273/93*)	افزایش Increase	عملکرد دانه Seed yield
T3(1/76**), L6(0/99**), T5(0/92**), L5(0/91**)	L6(1/96**), L7(0/55**), T4(0/35**), T3(0/28**), T5(0/26**)	افزایش Increase	درصد روغن Oil percent
L1(203/50**), L6(142/92*)	L6(222/19**), L1(183/43*)	افزایش Increase	عملکرد روغن Oil yield

**, *: significant difference at the probability level of 0.01 and 0.05 and non-significance, respectively

جدول ۶- برآورد هتروزیس دورگ‌ها نسبت به والد برتر برای برخی صفات زراعی کلزا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی

Table 6. Estimation of heterosis of hybrids compared to the superior parent for some agricultural traits of oilseed rape under normal and drought stress planting

تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation	افزایش/کاهش Increase/Decrease	صفت Trait
-	-	کاهش decrease	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity
L5(12.63 ^{**})×L3(-16.57 ^{**}), T1×T2 L5(-17.71 ^{**}),×T2	L4(-8.68 [*]),×L7(09.43 [*]), T2×L4(-13.97 ^{**}), T1×L6(-14.69 ^{**}), T1×T2 L5(-8.56 [*])×T4	کاهش decrease	ارتفاع بوته Bush height
L4(93.36 ^{**}), ×L4(93.70 ^{**}),T4×L3(121.74 ^{**}),T2×L1(149.19 ^{**}),T2×T5 L1(54.90 ^{**}), ×L7(59.05 ^{**}),T4×L5(62.29 ^{**}),T2×L3(91.20 ^{**}),T4×T4 L7(40.07 [*]),×L2(42.26 [*]),T5×L4(49.28 ^{**}),T3×L1(51.64 ^{**}),T5×T3 L5(36.99 [*])×T2	L6(120.85 ^{**})×L1(130.53 ^{**}),T4×L3(131.03 ^{**}),T5×L3(133.14 ^{**}),T4×T2 L2(78.52 ^{**}),×L5(88.98 ^{**}),T2×L5(103.78 ^{**}),T4×L3(118.82 ^{**}),T2×T5 L1(56.78 ^{**}),×L6(62.68 ^{**}),T3×L1(67.64 ^{**}),T2×L5(69.62 ^{**}),T2×T3 L7(46.52 [*]),×L2(49.40 [*]),T2×T3	افزایش Increase	تعداد خورجین در بوته Number of pods per bush
L5(8.03 ^{**}),×T3 L4(10.00 ^{**}),×T1 L3(10.55 ^{**}),×L7(11.49 ^{**}),T1×T1 L1(4.03 ^{**}),×T5 L2(5.06 ^{**}),×T1 L3(5.08 ^{**}),×T2 L4(8.02 ^{**}),×T5 L5(1.77 ^{**})×T4 L4(3.18 ^{**}),×T4	L7(0.77 [*])×L4(1.07 ^{**}),T2×L1(1.26 ^{**}),T3×L1(2.22 ^{**}),T5×T3	افزایش Increase	طول خورجین length of pods
L3(10.84 ^{**})×L6(11.22 ^{**}),T5×L6(29.65 ^{**}),T3×T5	L2 ×L5(103.78 ^{**}),T2×L1(130.53 ^{**}),T2×L3(131.03 ^{**}),T5×L3(133.14 ^{**}),T4×T2 L2(36.12 ^{**})×L6(62.68 ^{**}), T5×L1(67.64 ^{**}),T2×L5(69.62 ^{**}),T2×(78.54 ^{**}),T3	افزایش Increase	تعداد دانه در خورجین Number of seeds in pods
L2(14.12 [*])×L6(16.46 [*]),T5×L6(21.71 ^{**}),T5×T3	-	افزایش Increase	ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین height of the first pod above the ground
L3(1.51 ^{**}),×L6(1.56 ^{**}),T3×L6(3.34 ^{**}),T2×L7(5.27 ^{**}),T1×T3 L1(0.70 [*])×T2	L1(0.65 [*])×L4(1.87 ^{**}), T1×L1(2.53 ^{**}),T5×L6(4.34 ^{**}), T4×T3	افزایش Increase	وزن هزاردانه 1000-seed weight
-	-	افزایش Increase	عملکرد دانه Seed yield
L1(4.09 ^{**}),×L3(4.25 ^{**}),T5×L1(6.96 ^{**}),T5×L2(8.06 ^{**}),T3×T5 L7(1.84 ^{**}),×L3(2.28 ^{**}),T3×L2(3.79 ^{**}),T1×T2 L6(0.71 [*])×T3	L6(4.073 ^{**}), ×L6(5.21 ^{**}),T2×L2(5.59 ^{**}),T3×L3(8.47 ^{**}),T4×T5 L2(1.24 ^{**}),×L7(1.90 ^{**}),T5×L6(2.34 ^{**}),T3×L3(2.67 ^{**}),T5×T2 L4(0.746 [*])×L3(1.07 ^{**}),T2×T4	افزایش Increase	درصد روغن Oil percent
-	-	افزایش Increase	عملکرد روغن Oil yield

***, **: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.

***, **: significant difference at the probability level of 0.01 and 0.05 and non-significance, respectively

هتروزیس

برآورد هتروزیس دورگ‌ها نسبت به والد برتر از نظر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در جدول ۶ منعکس شده است. در شرایط آبیاری نرمال چهار دورگ $T_1 \times L_4$ ، $T_2 \times L_6$ ، $T_1 \times L_7$ ، $T_2 \times L_4$ و $T_2 \times L_5$ در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T_1 \times L_5$ و $T_2 \times L_3$ از بیشترین هتروزیس معنی‌دار در جهت منفی برای ارتفاع بوته برخوردار بودند. از چهار دورگ مذکور در شرایط آبیاری نرمال، دورگ‌های $T_1 \times L_4$ و $T_4 \times L_5$ و در شرایط تنش خشکی دورگ $T_2 \times L_3$ بهترین ترکیب‌شونده خصوصی در جهت کاهش ارتفاع بوته بودند. مقادیر منفی هتروزیس بیانگر این است که دورگ‌ها به طرف والد واجد مقدار کمتر صفت گرایش داشته‌اند که از نظر این صفت یک مزیت محسوب می‌شود. برای اینکه ارتفاع کوتاه بوته و افزایش نسبت ریشه به ساقه یک ویژگی کلیدی در حفظ وزن تاج پوشش تا زمان برداشت است (Kuai *et al.*, 2015). در شرایط آبیاری نرمال دورگ‌های $T_2 \times L_3$ ، $T_4 \times L_3$ ، $T_5 \times L_1$ ، $T_4 \times L_6$ و $T_5 \times L_3$ و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T_5 \times L_1$ ، $T_2 \times L_3$ ، $T_4 \times L_4$ ، $T_2 \times L_4$ ، $T_4 \times L_5$ ، $T_4 \times L_3$ و $T_2 \times L_7$ دارای بیشترین مقدار هتروزیس در جهت مثبت برای تعداد خورجین در بوته بودند. از بین این دورگ‌ها، دورگ‌های $T_2 \times L_3$ ، $T_4 \times L_3$ و $T_5 \times L_1$ در هر دو شرایط دارای بیشترین مقدار هتروزیس در جهت مثبت برای تعداد خورجین در بوته بودند. از میان دورگ‌های ذکر شده دورگ‌های $T_4 \times L_3$ ، $T_5 \times L_1$ و $T_4 \times L_6$ در شرایط آبیاری نرمال و در شرایط تنش خشکی همه دورگ‌های ذکر شده جز $T_4 \times L_5$ به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی نیز شناخته شدند. از لحاظ طول خورجین در شرایط آبیاری نرمال دورگ‌های $T_3 \times L_1$ ، $T_5 \times L_1$ ، $T_3 \times L_4$ و $T_2 \times L_7$ و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T_1 \times L_7$ ، $T_1 \times L_3$ ، $T_1 \times L_4$ و $T_3 \times L_4$ بیشترین مقدار هتروزیس را نشان دادند. از بین دورگ‌های ذکر شده دورگ $T_3 \times L_1$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ $T_1 \times L_7$ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده خصوصی نیز شناخته شدند. از لحاظ تعداد دانه در خورجین دورگ‌های $T_2 \times L_3$ ، $T_4 \times L_3$ ، $T_5 \times L_1$ و $T_2 \times L_5$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T_5 \times L_6$ ، $T_3 \times L_6$ و $T_5 \times L_3$ در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار هتروزیس را به‌خود اختصاص دادند. دورگ‌های $T_3 \times L_6$ ، $T_5 \times L_6$ و $T_5 \times L_2$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس از لحاظ ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین بودند. از لحاظ هزاردانه دورگ‌های $T_3 \times L_6$ ، $T_4 \times L_1$ ، $T_5 \times L_4$ و $T_1 \times L_1$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T_3 \times L_7$ ، $T_1 \times L_6$ ، $T_2 \times L_6$ و $T_3 \times L_3$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس بودند. از بین دورگ‌های ذکر شده دورگ $T_5 \times L_4$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T_3 \times L_7$ و $T_1 \times L_6$ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده خصوصی نیز شناخته شدند. دورگ‌های $T_5 \times L_3$ ، $T_4 \times L_2$ ، $T_3 \times L_6$ و $T_2 \times L_6$ در شرایط آبیاری

نرمال و دورگ‌های $T_5 \times L_2$ ، $T_3 \times L_1$ ، $T_5 \times L_3$ و $T_5 \times L_1$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس برای میزان روغن بودند. دورگ $T_5 \times L_3$ در هر دو شرایط هتروزیس خوبی را نشان داد. دورگ $T_4 \times L_2$ در شرایط آبیاری نرمال جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی نیز شناخته شدند. در تحقیقی که بر روی کلزا انجام گرفت همه صفات تفاوت معنی‌داری را از لحاظ ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی نشان دادند. هتروزیس در دورگ‌ها مشاهده شد و بر اساس صفات مقدارش متفاوت بود. اکثر صفات هتروزیس مثبت و معنی‌داری در مقایسه با والد برتر و معیار تجاری نشان دادند. برای عملکرد و اجزا عملکرد، همه دورگ‌ها دارای مقدار قابل توجهی هترو بلتیوز بودند (Kaur *et al.*, 2023).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی کافی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از منظر صفات زراعی کلزا در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی وجود داشته و می‌توان از این تنوع در جهت ایجاد ارقام مناسب با عملکرد زیاد برای مناطق گرم و نیمه گرمسیر کشور که با خشکی مواجه هستند استفاده کرد. بر اساس جمیع صفات مورد مطالعه تستر ۵ از بین والدین از لحاظ صفاتی مانند رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، عملکرد دانه و میزان روغن در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی از ژنوتیپ‌های پرمحصول به‌شمار آمد. لذا، از این تستر می‌توان برای ایجاد ارقام مناسب زودرس و با عملکرد بالا برای مناطق خشک استفاده نمود. لاین ۶ نیز بعد از تستر ۵ از لحاظ صفاتی همچون رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه، میزان روغن و عملکرد روغن در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی و از لحاظ ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین فقط در شرایط آبیاری نرمال جزء ژنوتیپ‌های پرمحصول شناخته شد. تستر ۳ در شرایط آبیاری نرمال در ترکیب با لاین‌های مختلف در همه صفات و در شرایط تنش خشکی در اغلب صفات بجز طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین وجود داشت. دورگ $T_3 \times L_7$ به‌جهت ترکیب‌پذیری خصوصی در صفاتی مانند ارتفاع بوته، هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد روغن در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی و از لحاظ صفات رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین و میزان روغن در شرایط آبیاری نرمال جزء ژنوتیپ‌های برتر و به‌جهت هتروزیس در صفاتی مانند درصد روغن در شرایط آبیاری نرمال و وزن هزاردانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی جزء ژنوتیپ‌های برتر به‌شمار آمد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بخش تحقیقات دانه‌های روغنی به‌علت تأمین بودجه مورد نیاز برای این تحقیق تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

References

- Aminzadeh, B., Sani, B., Alizadeh, B., & Mozaffari, H. (2022). Identification of drought tolerant oilseed rape genotypes using multivariate analysis. *Journal of Crop Breeding*, 14(41), 75-84 (In Persian).
- Anderson, T.W., and Darling, D.A. (1952). Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. *The annals of mathematical statistics*, 23, 193-212.
- Bakhshi, B., Amiri Oghan, H., & Kashtgar Khaje Dad, M. (2022). Evaluation of agronomic and phenological traits of promising rapeseed lines in the Sistan region. *Journal of Crop Breeding*, 14(41), 150-162 (In Persian).
- Bray, E. Bailey-Serres, J., & Weretilnyk, E. (2000). Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville: *American Society of Plant Physiologists*, 1158-1203.
- Cullis, B. R., Smith, A., Beeck, C., & Cowling, W. (2010). Analysis of yield and oil from a series of canola breeding trials. Part II. Exploring variety by environment interaction using factor analysis. *Genome*, 53(11), 1002-1016.
- Fanaei, H., Akbarimoghaddam, H., & Narouyirad, M. (2012). Evaluation response of different genotypes of spring canola to water deficit. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(11), 2327-2332.
- Fanaei, H. R., Kaikha, G. A., Saranei, M., Akbarimoghadam, A., Shariati, F., Khajedad Keshtkar, M. (2018). Study effect time of terminal irrigation on grain yield, oil and some agronomic traits of canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 65-77 (In Persian).
- FAO. (2016). Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT statistics database. Available online at: <http://www.faostat.fao.org>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- Farshadfar, A. (2010). New issues in biometric genetics. Publications of Islamic Azad University, Kermanshah branch, (1), 830 (In Persian).
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., and Miranda Filho, J. D. (2010). Quantitative genetics in maize breeding, (Vol. 6). Springer Science and Business Media.
- HongBo, S., ZongSuo, L., & MingAn, S. (2006). Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 47(2), 132-139.
- Ivanovska, S., Stojkovski, C., Dimov, Z., Marjanović-Jeromela, A., Jankulovska, M., & Jankuloski, L. (2007). Interrelationship between yield and yield related traits of spring canola (*Brassica napus* L.) genotypes. *Genetika*, 39(3), 325-332.
- Jamshidmoghaddam, M., Farshadfar, E., & Najaphy, A. (2019). Estimation of Genetic Effects for Different Traits in Rapeseed (*Brassica napus* L.) using Line× Tester Crosses under Water-Stressed and Well-Watered Conditions. *Journal of Crop Breeding*, 11(29), 17-28 (In Persian).
- Jeena, A. S. & Sheikh, F.A. (2003). Genetic divergence analysis in gobhi sarson. *Journal of oilseeds research*, 20, 210-212.
- Kuai, J., Sun, Y., Zuo, Q., Huang, H., Liao, Q., Wu, C., Lu, J., Wu, J., & Zhou, G. (2015). The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. *Scientific Report*, 5(1), 18835. DOI: 10.1038/srep18835.
- Kaur, S., Sharma, R. K. M., Singh, V., & Gupta, S. (2023). Heterosis and combining ability for quantitative traits in Canola (*Brassica napus* L.) using half diallel mating design. *Journal of Oilseed Brassica*, 14(1), 59-67.
- Kempthorne, O. 1957. An Introduction to Genetic Statistics. John Wiley and Sons, New York.
- Mendham, N.J. & Salisbury, P.A. (1995). Physiology: Crop development, growth and yield. In: D.S. Kimber. and D.I. McGregor (eds). Brassica oilseeds: Production and utilization. *CAB International*, 11-64.
- Mustafa S.E., Razzaq H., Khan F.A., Khan, S.H. (2023). Estimation of combining ability effects for yield and fatty acid-related traits in Brassica rapa using line by tester analysis SABRAO. *J. Breed. Genet*, 55(4), 1123-1131. DOI: 10.54910/sabrao2023.55.4.9.
- Nath, U. K., Kim, H.T., Khatun, K., Park, J. I., Kang, K. K., and Nou, I. S. (2016). Modification of fatty acid profiles of rapeseed (*Brassica napus* L.) oil for using as food, industrial feed-stock and biodiesel. *Plant Breeding and Biotechnology*, 4(2), 123-134.
- Pouzet, A. (1995). Agronomy. Brassica oilseeds: Production and utilization, 33-110.
- Rameeh, V. (2020). Combining ability of plant height, seed yield and quality traits in rapeseed. *Genetika*. 52 (2), 805-814. DOI: 10.2298/GENSR2002805R
- Sana, M., Ali, A., Malik, M. A., Saleem, M. F., & Rafiq, M. (2003). Comparative yield potential and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Agronomy (Pakistan)*, 2(1).
- Sendecor, G.W. (1956). Statistical methods: applied to experiments in agriculture and biology. The Iowa state college press.
- Shirani Rad, A.H., & Zandi, P. (2012). The effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 99(1), 47-54.
- Singh, I., Paroda, R.S., & Singh, S. (1986). Relative efficiency of diallel, partial diallel and triple test-cross designs for studying genetic architecture of some traits in wheat. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46, 530-540.
- Zarei Shabbidi, A., Rezaizad, A., & Niazi Fard, A.S. (2013). The effect of drought stress at the end of the season on yield and yield components of some rapeseed genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, 30(3), 297-314 (In Persian).
- Zhang, H., Berger, J. D., and Milroy, S. P. (2013). Genotype× environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus* L.) to contrasting Mediterranean climates. *Field Crops Research*, 144, 77-88.
- Zhang, H., & Flottmann, S. (2016). Seed yield of canola (*Brassica napus* L.) is determined primarily by biomass in a high-yielding environment. *Crop and Pasture Science*, 67(4), 369-380.
- Zirgoli, M.H., & Kahrizi, D. (2015). Effects of end-season drought stress on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm regions of Kermanshah Province. *Biharean Biologist*, 9(2), 133-140.