



"Research paper"

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

Parvane Gholizadeh Sarcheshmeh¹, Jalal Saba², Hassan Amiri Oghan³, Farid Shekari⁴ and Amir Gholizadeh⁵

1-PhD 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

Introduction and Objectives: Oilseed rape is one of the most important sources of vegetable oil in the world, and its seed contains more than 40% of oil, and the meal obtained from oil extraction has more than 35% of protein, and currently it ranks third among oil plants after soybean and oil palm, in the world. The existence of environmental stresses, such as drought stress, causes 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. The purpose of this study was to determine the best general and specific combiners and the amount of heterosis compared to the superior parent in spring rapeseed using line×tester analysis in two conditions of normal irrigation and drought stress.

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

Results: The results of analysis of variance in both normal irrigation and drought stress conditions showed a significant difference between hybrids for all investigated traits, which indicated a significant diversity between genotypes. In analyzing the effect of hybrids into the relevant components, the interaction effect of line × tester was significant for all the traits under normal irrigation conditions and also under 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 for all traits except the number of seeds per pod under normal irrigation conditions and except for plant height, pod length and number of seeds per pod in drought stress conditions, which indicates the existence of heterosis for these traits. For the trait of physiological maturing, among the lines, line 6 showed the highest negative general combining ability under normal irrigation and drought stress conditions, and tester 5 showed the highest negative general combining ability among the testers under normal irrigation and drought stress conditions. Tester 5 was contributed in early maturing T5×L3 hybrid under drought stress conditions. L1 and L5 in both conditions and T2, and L3 and L4 in normal irrigation conditions and T1 in drought stress conditions were identified as the best general positive and significant combiner for the number of pods per plant, and hybrids T5×L1, T1×L5, T2×L4, T4×L4, T1×L7, T1×L6, T2×L7, T3×L2, T5×L7, and T4×L3 were the best specific combiner to increase the number of pods per plant in both experiment conditions. T4 was the most significant positive general combiner under normal irrigation conditions and drought stress for the 1000-grain trait. Also, regarding the positive significant specific combining ability for this trait hybrids T2×L7, T3×L7 in both conditions, and in addition hybrids T1×L7 and T5×L4 under normal irrigation conditions and hybrids T1×L6 and T3×L5 under drought stress conditions showed the highest amount. The most significant positive general combining ability in grain yield was determined to T5 and L1 and L6 in both conditions. The best significant positive specific combining ability were T2×L7 and T3×L7 in both conditions. The highest positive and significant amount of general combining ability of the amount of oil, was given to T3 and T5 and L6 in both experiment conditions, and 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 and in drought stress, T5×L1, T2×L3, T2×L4, T4×L4, T4×L3, T4×L5 and T2×L7 had the highest amount of heterosis in the positive direction for the number of pods per plant. The trait of the number of grain per pods, 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 had the highest amount of heterosis.

Conclusion: The estimation of traits' combining ability showed that T5 and L1 and L6 were the best general combiners to increase grain yield. T3×L7 and T2×L7 hybrids were the best specific combiner for increasing grain yield under normal irrigation and drought stress conditions. Also for the 1000-seed 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 have the highest amount of heterosis. The number of pods per plant and the number of grain per pods under normal irrigation conditions, T2×L3, T4×L3 and T5×L1 had significant positive heterosis. Therefore, their parents can be suggested for hybrid varieties production programs.

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



"مقاله پژوهشی"

ترکیب پذیری 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 کنگاله حاصل از روغن کنسی 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 تنش های محیطی مانند تنش خشکی باعث کاهش قابل توجه 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 لاین-تستر 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 تلافی داده شدند. دورگ‌های نسل اول به‌همراه ۱۲ والد (جمعا 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 قابل توجه بین ژنوتیپ‌ها بود. در تجزیه اثر هیبریدها به اجزاء مربوطه اثر متقابل لاین×تستر در شرایط آبیاری نرمال برای همه صفات و در شرایط تنش خشکی بجز 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 بجز تعداد دانه در خورجین و در شرایط تنش خشکی بجز 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 T3×L7، T2×L7 و T3×L4 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 در هر دو شرایط 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، T5×L3 و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های T5×L1، T2×L3، T4×L4، T4×L5، T4×L3، T2×L4، T2×L4، T2×L3، T5×L1، T4×L3، T2×L3، T5×L1، T4×L3، T2×L3 و T5×L1 در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های T5×L6، T3×L6، T5×L3 و T3×L3 در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار هتروزیس را به خود 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 T5×L1، T4×L3، T2×L3 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: ترکیب‌پذیری، تجزیه لاین×تستر، کلزا، مقاومت به خشکی

مقدمه

۳۵ درصد پروتئین است و در حال حاضر در بین گیاهان روغنی بعد از سویا و نخل روغنی مکان سوم را در جهان دارا می‌باشد (FAO, 2016).

کلزا یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان به‌شمار می‌رود (Nath et al., 2016). دانه کلزا حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کنگاله حاصل از روغن کنسی آن دارای بیش از

به‌منظور شناسایی تحمل به تنش خشکی ارقام کلزا در دو 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).

جمشیدمقدم و همکاران (Jamshidmoghaddam et al., 2019) به‌منظور برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، هتروزیس و نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف کلزا در آزمایشی بصورت لاین در تستر، شش رقم بهاره (لاین) را با سه رقم پاییزه (تستر) تلاقی داده ۱۸ دورگ بدست آمده به همراه نه والد را دو آزمایش تحت تنش و عدم تنش رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر لاین در تمامی صفات به جز صفت طول خورجین در محیط غیر تنش و اثرات متقابل لاین در تستر در همه صفات به جز 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 مدیترانه‌ای عموماً در انتهای فصل زراعی گیاهان با کمبود آب و تنش خشکی مواجه می‌شوند. بنابراین، شناسایی و آزادسازی ژنوتیپ‌هایی که یا متحمل 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 بدین جهت 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 بجز محتوای روغن و پروتئین معنی‌دار بود (Rameeh, 2020).

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 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 به هنگام جوانه زنی 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 پربارش تولید می‌کنند (Cullis et al., 2010; Zhang et al., 2013; Zhang and Flottmann, 2016). 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 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 سیاه بیدی 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 ۲۰ درصد کاهش یافت. در آزمایشی دیگر،

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

Table 1. Physical and chemical properties of the soil of the experimental field in Karaj (2018-2019)

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

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

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

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 به ترتیب ۲۴۲ میلی‌متر، ۱۳/۵ و ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

همزمان با آماده سازی بستر بذر، بر اساس 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 به صورت سرک در سه مرحله ۲ تا ۴ برگی، ساقه‌رفتن و شروع گلدهی به‌ترتیب به میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. هفت لاین پرمحصول به‌همراه پنج تستر با دامنه‌ای از زودرسی (جدول ۲) به صورت آرایش لاین×تستر در بلوک‌های تلاقی

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 با ارتفاع 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 ۱۸۰-۱۵۰

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

برآورد اثرات SCA

$$Sig = \frac{X_{ij} \cdot X_{i..} \cdot X_{.j} + X_{...}}{r} - \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X_{.j}}{lr} + \frac{X_{...}}{ltr}$$

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 لاین‌تستر 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 (Bakhsi 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). والدین در همه صفات بجز 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 به معنای 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 لاین‌تستر نشان داد که اختلاف لاین‌ها در شرایط آبیاری نرمال در همه صفات بجز 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

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 ۹۸-۱۳۹۸، 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 لاین‌تستر انجام گرفت (Kempthorne, 1957). لازم به ذکر است که تجزیه لاین‌تستر 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 لاین‌تستر) معنی‌دار شوند، بلکه معنی‌دار شدن حتی یک جزء می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن گردد، البته عکس مطلب درست نیست (Farshadfar, 2010). برای تجزیه لاین‌تستر 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:

$$t = \frac{\text{اقتباسه معیار کمیت/کمیت}}{\text{اقتباسه معیار کمیت/کمیت}}$$

با فرض عدم وجود اپیستازی، واریانس GCA و واریانس SCA به صورت 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 خودگشنی $F=1$ محاسبه شدند.

برآورد اثرات GCA

الف) لاین‌ها

$$gt = \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X_{...}}{ltr}$$

ب) تسترها

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

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 $T1 \times L4$ و $T4 \times L6$ 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 ترکیب شونده‌های 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 به خود 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 $T2 \times L7$ و $T3 \times L7$ بیشترین مقدار

نیز در همه صفات بجز تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی معنی‌دار شد. (جدول ۳). در تجزیه اثر دورگ‌ها به اجزاء مربوطه اثر متقابل لاین \times 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 \times 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 $T4 \times L5$ و $T2 \times L3$ 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 $T5 \times L1$ ، $T1 \times L5$ ، $T2 \times L4$ ، $T4 \times L4$ ، $T1 \times L6$ ، $T1 \times L7$ ، $T2 \times L7$ ، $T3 \times L2$ ، $T5 \times L7$ و $T4 \times L3$ جزء بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای افزایش تعداد خورجین در بوته در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش

را در هر دو شرایط نشان دادند. نتایج آزمایشی که توسط مصطفی و همکاران بر روی کلزا انجام گرفت تفاوت معنی داری را در عملکرد و اجزاء عملکرد نشان داد. همچنین، آنالیزها برآورد مثبت و معنی‌داری را برای صفات ۵۰ درصد تا

گلدھی و تعداد شاخه های فرعی در بوته، از لحاظ ترکیب‌پذیری عمومی و نیز برآورد قابل توجهی برای ترکیب‌پذیری خصوصی برای اجزاء عملکرد را نشان دادند (Mustafa et al., 2023).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کلزا به روش 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
		آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress
تکرار Replication	2	110.09**	88.88 **	122.52 *	19.89 ^{ns}	72.12 ^{ns}
تیمار Treatments	46	59.04**	52.07 **	185.49 **	131.58 **	14024.22**
والدین Parent	11	47.72**	37.54 *	230.68 **	96.21 ^{ns}	6483.19**
والدین در برابر دورگ‌ها Parents vs. Crosses	1	105.79 **	128.54**	775.53**	155.76 ^{ns}	235727.86**
دورگ‌ها Crosses	34	61.32**	54.52**	153.52**	142.32**	11643.93**
لاین Lines	6	65.26 **	62.82**	236.31**	76.72 ^{ns}	16828.09**
تستر Tester	4	103.22 **	49.82*	367.73**	379.15**	8073.14 **
تستر لاین Lines×Tester	24	53.35**	53.22**	97.12 **	119.25**	10943.02**
خطا Error	92	65.12	16.68	84.27	53.83	544.39
ضریب تغییرات C.V. (%)		1.64	1.77	4.90	6.97	9.56

**، * 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 به روش 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
		آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress	آبیاری نرمال Normal irrigation تنش خشکی Drought stress
تکرار Replication	2	301.94**	100.87 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.18 ^{ns}	2697255.61**
تیمار Treatments	46	151.33**	146.01 **	0.30 **	0.32 **	143443.41**
والدین Parents	11	361.93 **	243.77 **	0.31**	0.37 **	95232.37 ^{ns}
والدین در برابر دورگ‌ها Parents vs. Crosses	1	399.39 **	494.20 **	0.58 *	0.74 *	555829.14**
دورگ‌ها Crosses	34	75.90 **	104.14 *	0.29 **	0.29 **	146912.10**
لاین Lines	6	30.53 ^{ns}	19.15 ^{ns}	0.27 *	0.23 ^{ns}	292319.82**
تستر Testers	4	243.66 **	332.32 **	0.39 **	0.41*	146912.64 ^{ns}
تستر لاین Lines×Tester	24	59.28 *	87.35 ^{ns}	0.28 **	0.29 **	110560.08 ^{ns}
خطا Error	92	69.29	59.32	0.10	0.13	75175.66
ضریب تغییرات C.V. (%)		9.32	13.26	7.75	9.02	33.72

**، * 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

جدول ۴- بهترین ترکیب شونده‌های 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 Ttrait
T3×L5(-6/55**), T4×L1(-5/86**), T5×L3(-5/514**), T2×L3(-5/181), T4×L4(-4/92*) 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**), T1×L7(0/36**), T1×L7(5/28**), T4×L7(6/01**), T2×L7(7/67**), T3×L7(0/52**), T2×L7(0/24**), T1×L6(0/44*), T3×L5(0/45*), T3×L7(698/08**), T2×L7(172/45**), T3×L5(601/79*), T4×L4(583/05*), 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*)	T4×L1(-6.42**), T2×L3(-5.58**), T4×L4(-4.59*), T3×L7(-2.50**), L7×T4 (-2.02**), 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**), T1×L6(2/62**), T1×L4(1/85**), T2×L5(1/608**), T3×L1(1/20**), T4×L6(1/07**), T2×L7(3/94**), T1×L6(3/30**), T2×L4(3/19*), T4×L6(2/75**), T3×L7(4/25**), T2×L7(3/87**), T2×L7(0/24**), T3×L7(0/22**), T1×L7(0/15**), T5×L4(0/47*), T3×L7(572/09**), T4×L7(162/35**), T2×L7(112/26**), T5×L1(630/37*), 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**), T3×L7(586/15**), T2×L7(7/72**), T4×L1(426/82**)	کاهش decrease کاهش decrease افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase	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 pod 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

***, **: 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

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 Ttrait
L6(-2/83**), T5(-2/35**), T1(-4/69**), L5(-4/31*), T2(-4/20*) L1(33/03**), T1(27/00**), L5(19/64**), - - T5(5/20**), T4(0/16*) L1(444/44**), T5(382/72**), L6(267/94*) T3(1/76**), L6(0/99**), T5(0/92**), L5(0/91**), L1(203/50**), L6(142/92*)	T5(-3/66**), L6(-2/78**), T2(-5/41**), L6(-4/63**), L4(-3/63**), T1(-2/94*) T2(33/40*), L3(30/87**), L1(29/00**), L5(26/39**), L4(17/67**), T4(0/74**), L4(0/31*), L1(1/89**), T5(5/24**), T4(0/22**), T5(452/19**), L6(384/04**), L1(273/93*) L6(1/96**), L7(0/55**), T4(0/35**), T3(0/28**), T5(0/26**), L6(222/19**), L1(183/43*)	کاهش decrease کاهش decrease افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase افزایش Increase	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 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

***, **: 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

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/افزایش decrease/increase	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

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

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

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 $T1 \times L7$ ، $T1 \times L4$ ، $T2 \times L6$ و $T2 \times L4$ و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T2 \times L5$ ، $T2 \times L3$ و $T1 \times L5$ از بیشترین هتروزیس معنی‌دار در جهت منفی برای ارتفاع بوته برخوردار بودند. از چهار دورگ مذکور در شرایط آبیاری نرمال، دورگ‌های $T1 \times L4$ و $T4 \times L5$ و در شرایط تنش خشکی دورگ $T2 \times L3$ 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 $T2 \times L3$ ، $T4 \times L3$ ، $T5 \times L1$ ، $T4 \times L6$ و $T5 \times L3$ و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T5 \times L1$ ، $T2 \times L3$ ، $T4 \times L4$ ، $T2 \times L4$ ، $T4 \times L5$ ، $T4 \times L3$ و $T2 \times L7$ دارای بیشترین مقدار هتروزیس در جهت مثبت برای تعداد خورجین در بوته بودند. از بین این دورگ‌ها، دورگ‌های $T2 \times L3$ ، $T4 \times L3$ و $T5 \times L1$ در هر دو شرایط دارای بیشترین مقدار هتروزیس در جهت مثبت برای تعداد خورجین در بوته بودند. از میان دورگ‌های ذکر شده دورگ‌های $T4 \times L3$ ، $T4 \times L1$ و $T5 \times L1$ در شرایط آبیاری نرمال و در شرایط تنش خشکی همه دورگ‌های ذکر شده جز $T4 \times L5$ به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی نیز شناخته شدند. از لحاظ طول خورجین در شرایط آبیاری نرمال دورگ‌های $T3 \times L1$ ، $T5 \times L1$ ، $T3 \times L4$ و $T2 \times L7$ و در شرایط تنش خشکی دورگ‌های $T1 \times L7$ ، $T1 \times L3$ ، $T1 \times L4$ و $T3 \times L4$ بیشترین مقدار هتروزیس را نشان دادند. از بین دورگ‌های ذکر شده دورگ $T3 \times L1$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ $T1 \times L7$ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده خصوصی نیز شناخته شدند. از لحاظ تعداد دانه در خورجین دورگ‌های $T2 \times L3$ ، $T4 \times L3$ ، $T5 \times L1$ و $T2 \times L5$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T5 \times L3$ و $T3 \times L6$ هتروزیس را به خود اختصاص دادند. دورگ‌های $T3 \times L6$ ، $T5 \times L6$ و $T5 \times L2$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس از لحاظ ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین بودند. از لحاظ هزاردانه دورگ‌های $T3 \times L6$ ، $T4 \times L1$ ، $T5 \times L4$ و $T1 \times L1$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T3 \times L7$ ، $T1 \times L6$ ، $T2 \times L6$ و $T3 \times L3$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس بودند. از بین دورگ‌های ذکر شده دورگ $T5 \times L4$ در شرایط آبیاری نرمال و دورگ‌های $T3 \times L7$ و $T1 \times L6$ در شرایط تنش خشکی بهترین ترکیب‌شونده خصوصی نیز شناخته شدند. دورگ‌های $T5 \times L3$ ، $T4 \times L2$ ، $T3 \times L6$ و $T2 \times L6$ در شرایط آبیاری

نرمال و دورگ‌های $T5 \times L2$ ، $T3 \times L1$ ، $T5 \times L3$ و $T5 \times L1$ در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین مقدار هتروزیس برای میزان روغن بودند. دورگ $T5 \times L3$ در هر دو شرایط هتروزیس خوبی را نشان داد. دورگ $T4 \times L2$ 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 جمع 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 $T3 \times L7$ به جهت 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 به جهت هتروزیس در صفاتی مانند درصد روغن در شرایط آبیاری نرمال و وزن هزاردانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی جزء ژنوتیپ‌های برتر به شمار 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.

منابع

- Aminzadeh, B., Sani, B., Alizadeh, B., and 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., Akbarimoghaddam, 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., and 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 pages. (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., and 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., and 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., and 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. and 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., and Gupta, S. (2023). Heterosis and combining ability for quantitative traits in Canola (*Brassica napus* L.) using half diallel mating design. *Journal of Oilseed Brassica*, 14(1), 59-67.
- Kempthorne, O. 1957. *An Introduction to Genetic Statistics*. John Wiley and Sons, New York.
- Mendham, N.J. and 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. <http://doi.org/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. <https://doi.org/10.2298/GENSR2002805R>
- Sana, M., Ali, A., Malik, M. A., Saleem, M. F., and Rafiq, M. (2003). Comparative yield potential and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy*.
- 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 Siahbidi, 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., and 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., and 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.