



## Yield and Fertility of Rapeseed Hybrids Derived from R2000 × Male Sterile Lines

Valiollah Mohammadi<sup>1✉</sup> | Masoud Shahsavari<sup>2</sup> | Bahram Alizadeh<sup>3</sup> | Houshang Alizadeh<sup>4</sup>

1. Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: vmohammadi@ut.ac.ir
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. . Email: halizade@ut.ac.ir

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

Received: February 05, 2023  
Received in revised form:  
April 26, 2023  
Accepted: April 30, 2023  
Published online: September  
23, 2023

**Keywords:**

Fertility,  
hybrid,  
indirect selection,  
rapeseed,  
seed yield.

### ABSTRACT

Early vigor, stress resistance, uniformity, high yield, and breeder right protection have turned hybrid cultivar development into the most successful breeding strategy in rapeseed (*Brassica napus* L.). The goals of this research were to develop the first CMS based rapeseed hybrids in Iran and to evaluate their performance and fertility. The effect of different traits on yield increasing of hybrids was also studied. Seven CMS lines were crossed with R2000 (a restorer line) and the seed yield of hybrids was tested using a randomized complete block design with three replications in 2019-2020 and 2020-2021. Three of hybrids with 4.64, 4.40, and 4.38 tons per hectare, showed considerable yield and were significantly different than Nilufar, Neptune, and Nima (3.44, 3.37, and 3.30 tons per hectare, respectively), as check cultivars. R2000×A8 demonstrated the highest heterosis (34.71%) to high-check cultivar. All hybrids obtained were normal in terms of fertility, having no male-sterile flowers. Based on the results of principal component analysis and cluster analysis, the simultaneous increase in the number of pods per plant and the thousand seed weight, together with crossing the more distant parents will lead to more high yielding hybrids. The promising hybrids with high yield and remarkable fertility could be released as new cultivars after passing adaptability and stability experiments.

**Cite this article:** Mohammadi, V., Shahsavari, M., Alizadeh, B., & Alizadeh, H. (2023). Yield and fertility of rapeseed hybrids derived from R2000 × male-sterile lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 135-148. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.354685.654978.





انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

## عملکرد و باروری هیبریدهای حاصل از تلاقی R2000 و لاین‌های نرعیتم کلزا (*Brassica napus* L.)

ولی‌اله محمدی<sup>۱</sup> | مسعود شاهسواری<sup>۲</sup> | بهرام علیزاده<sup>۳</sup> | هوشنگ علیزاده<sup>۴</sup>

۱- نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.  
رایانامه: [vmohammadi@ut.ac.ir](mailto:vmohammadi@ut.ac.ir)

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [halizade@ut.ac.ir](mailto:halizade@ut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رشد سریع، مقاومت به تنش، یکنواختی، عملکرد بالا و حفظ حق به‌نژادگر تولید رقم هیبرید را به موفق‌ترین راهبرد به‌نژادی کلزا تبدیل کرده است. هدف از این پژوهش تهیه نخ‌ستین هیبریدهای سه لاینی ایرانی کلزا و بررسی عملکرد و باروری آنها بود. به‌علاوه تاثیر صفات مختلف بر افزایش عملکرد هیبریدها نیز مطالعه شد. هفت لاین نرعیتم با یک لاین بازگردان باروری به نام R2000 تلاقی داده شد و عملکرد دانه هیبریدها در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. سه مورد از هیبریدهای ایجادشده با میانگین دوساله ۴/۶۴، ۴/۴۰ و ۴/۳۸ تن در هکتار عملکرد چشمگیری داشته و اختلاف معنی‌داری با ارقام شاهد نیلوفر، نپتون، و نیما (به‌ترتیب با عملکردهای ۳/۴۴، ۳/۳۷ و ۳/۳۰ تن در هکتار) نشان دادند. بیشترین هتروزیس مشاهده شده نسبت به رقم شاهد برتر مربوط به هیبرید R2000×A8 با ۳۴/۷۱ درصد بود. تمامی هیبریدهای به‌دست‌آمده از نظر باروری کاملاً طبیعی و فاقد هرگونه نرعیتم بودند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که افزایش تعداد خورجین در بوته و وزن هزاردانه و همچنین تلاقی لاین‌های والدینی دورتر منجر به تولید هیبریدهای پرمحصول‌تر می‌شود. باتوجه‌به عملکرد بالا و عدم مشاهده نرعیتم، هیبریدهای امیدبخش حاصل از این پژوهش می‌توانند پس از بررسی سازگاری و پایداری به‌عنوان ارقام جدید معرفی شوند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱	
<b>کلیدواژه‌ها:</b> انتخاب غیر مستقیم، باروری، عملکرد دانه، کلزا، هیبرید.	

**استناد:** محمدی، و.، شاهسواری، م.، علیزاده، ب.، و علیزاده، ه. (۱۴۰۲). عملکرد و باروری هیبریدهای حاصل از تلاقی R2000 و لاین‌های نرعیتم کلزا (*Brassica napus* L.). علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۴(۳)، ۱۳۵-۱۴۸. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.354685.654978



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

کلزا به دلیل مصارف گسترده به عنوان روغن خوراکی، کنجاله دام و سوخت زیستی یکی از مهمترین گیاهان روغنی و دومین منبع تولیدکننده دانه‌های روغنی پس از سویا در جهان است (Luo *et al.*, 2016; Tian *et al.*, 2017). ارقام دو صفر کلزا که با عنوان کانولا (canola) نیز شناخته می‌شوند، در مقایسه با سایر گیاهان روغنی دارای مقادیر کمی اسیدچرب‌های اشباع شده و غنی از اسیدچرب‌های غیر اشباع می‌باشند که روغن حاصل از این گیاه را به یک روغن سالم و غنی از مواد مغذی تبدیل کرده است (Niedbala, 2019; Spasibionek *et al.*, 2020). نزدیک به ۹۰ درصد روغن خوراکی ایران وارداتی است. عملکرد بالای روغن در واحد سطح، کیفیت بالای روغن، کنجاله ارزشمند، سازگاری با شرایط مختلف آب و هوایی، ارزش تناوبی بالا، داشتن ارقام بهاره و پاییزه و دیگر برتری‌های کلزا این محصول را در کانون توجه مدیران کشاورزی کشور در جهت نیل به خودکفایی نسبی قرار داده است (Mohammadi *et al.*, 2018).

وجود هتروزیس، ژن‌های نرعیتمی و بازگردان باروری و دگرگشتی در حدود ۳۰ درصد موجب گسترش تولید ارقام هیبرید در کلزا شده است (Wolko *et al.*, 2019). در صنعت بذر کلزا از سامانه سه لاینی جهت تولید ارقام هیبرید استفاده می‌شود که در آن به وجود لاین‌های نرعیتم (A line)، نگهدارنده (B line) و بازگردان باروری (R line) نیاز است. برای این منظور در ابتدا سامانه نرعیتمی سیتوپلاسمی پولیما (Polima) در چین توسعه یافت و برای تولید انواع هیبرید در چین، استرالیا و کانادا مورد استفاده قرار گرفت. هرچند که ناپایداری نرعیتمی در محیط‌های مختلف کاربرد این سامانه را دشوار می‌ساخت (Abadi & Leckband, 2011). با کشف نرعیتمی سیتوپلاسمی اگورا (Ogura) در ترب ژاپنی (Japanese radish) که عقیتمی آن پایدار و کامل بود؛ یک منبع بالقوه و مناسب نرعیتمی سیتوپلاسمی در کلزا ایجاد شد. نرعیتمی سیتوپلاسمی اگورا از طریق دورگ‌گیری بین گونه‌ای میان ترب ژاپنی و کلزا و چندین نسل تلاقی برگشتی با کلزا وارد این گیاه شد (Chen *et al.*, 2022). اما در عمل تولید لاین‌های بازگردان باروری در کلزا که اولین بار در موسسه INRA واقع در فرانسه و با نام Ogu-INRA رخ داد با دشواری‌هایی روبرو بود؛ چراکه همراه با ژن بازگردان باروری، بخش‌هایی اضافی از ژنوم ترب ژاپنی نیز به ژنوم کلزا وارد می‌شد که صفات نامطلوبی مانند افزایش سطح گلوکوزینولات (Glucosinolate) و کاهش عملکرد را به همراه داشت (Abadi & Leckband, 2011; Wang *et al.*, 2020). در سال ۲۰۰۰، موسسه INRA با استفاده از اشعه گاما و القای نوترکیبی، لاین بازگردان باروری R2000 را با محتوای گلوکوزینولات پایین و توانایی بازگرداندن باروری بالا تولید کرد (Chen *et al.*, 2022).

اولین رقم هیبرید تجاری کلزا با نام هایولا ۴۰ در سال ۱۹۸۹ در کانادا تولید و به ثبت رسید (Shiranifar *et al.*, 2021). عملکرد بالا، رشد سریع، باروری بالا، زیست‌توده بیشتر، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، یکنواختی و حفظ حق به‌نژادگر از مزایای ارقام هیبرید نسبت به ارقام آزادگرده‌افشان (Open-pollinated) است. پژوهش‌های مختلفی جهت ایجاد ارقام هیبرید در کلزا انجام و مقادیر متفاوتی هتروزیس گزارش شده است (Gul *et al.*, 2019; Liton *et al.*, 2017; Ahmad & Quiros, 2011; Qian *et al.*, 2007; Riaz *et al.*, 2001). اما در مجموع گزارش‌ها حاکی از آن است که عملکرد ارقام هیبرید تجاری کلزا در کانادا بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵، ۱۱ درصد و در آلمان بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹، حدود ۱۲ درصد بیشتر از ارقام تجاری آزادگرده‌افشان بوده است (Banga *et al.*, 2015; Abadi & Leckband, 2011).

شناسایی والدین مناسب و همچنین هیبریدهای پرمحصول نیازمند انجام آزمایش‌های عملکرد مزرعه‌ای است (Tian *et al.*, 2017). اما به دلیل دشواری، هزینه بالا، زمان‌بر بودن، وراثت‌پذیری پایین و عدم قابلیت اندازه‌گیری عملکرد در نسل‌های اولیه، به‌نژادگران همواره به دنبال شناسایی صفاتی بوده‌اند که بتوان از آن‌ها در غربال غیر مستقیم مواد گیاهی استفاده کرد (Yoosefzadeh-Najafabadi *et al.*, 2021). بنابراین شناسایی صفاتی که منجر به افزایش عملکرد هیبریدها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها می‌شوند؛ می‌تواند به انتخاب والدین مناسب برای تهیه هیبریدهای پرمحصول کمک کند. در پژوهشی به صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه فرعی و طول گلدهی به عنوان صفات موثر بر عملکرد دانه در کلزا اشاره شده است (Rameeh, 2016b). صفات تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد روز تا گلدهی و رسیدن فیزیولوژیک نیز به عنوان مهمترین صفات

ثانویه موثر بر عملکرد دانه گزارش شده‌اند (Aftab *et al.*, 2020). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه در کلزا و صفات تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته و مدت زمان پرشدن اولین خورجین تا رسیدن فیزیولوژیک مشاهده شده است (Marjanović-Jeromela *et al.*, 2011).

حدود ۸۰ درصد سطح زیر کشت کلزا در کشور به کشت ارقام هیبرید اختصاص دارد. از سوی دیگر همه ارقام هیبرید کلزای کشور وارداتی هستند و مستقیماً بذر یا والدین پدری و مادری آن‌ها هر ساله با پرداخت مبالغ کلان از کشورهای خارجی وارد می‌شوند (Ghodrati *et al.*, 2021). مرور منابع علمی نشان می‌دهد که با وجود تلاش به‌نژادگران، تاکنون گزارشی مبنی بر تولید رقم هیبرید کلزا در کشور به چاپ نرسیده است. در همین راستا، پژوهش حاضر کوششی برای تهیه نخستین رقم هیبرید کلزا در کشور بود. اهداف این پژوهش عبارت بودند از: الف) تولید رقم هیبرید کلزا از طریق نرعقیمی سیتوپلاسمی و ژن‌های بازگردان باروری در ایران، ب) بررسی عملکرد و باروری هیبریدهای حاصل، و ج) بررسی تاثیر صفات موثر بر عملکرد دانه بر افزایش عملکرد هیبریدهای تولیدشده.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر، از هفت لاین نرعقیم (A لاین) زمستانه کلزا که در بخش دانه‌های روغنی موسسه اصلاح نهال و بذر به‌وسیله تلاقی برگشتی ایجاد شده بودند، استفاده شد. هر یک از A لاین‌ها، از طریق تلاقی با B لاین متناظر تکثیر شد. بذرهاى R2000 به‌عنوان لاین بازگردان باروری (R لاین) از موسسه INRA فرانسه دریافت و در اتاقک‌های رشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران جهت تکثیر کشت شد. تمامی آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح نهال و بذر (کرج، استان البرز) انجام شد. لاین‌های A و B در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه کشت شدند. قبل از شروع گلدهی، بوته‌های R لاین از اتاقک‌های رشد به‌همراه گلدان به مزرعه تحقیقاتی منتقل شدند. تعدادی بوته از هر کدام از A لاین‌ها انتخاب و قبل از آغاز گلدهی عملیات پاکت‌گذاری روی گل‌آذین آن‌ها صورت گرفت و تا اتمام عملیات تلاقی و تشکیل خورجین‌ها و اطمینان از عدم وجود گل بارور، پاکت‌ها روی گل‌آذین‌ها حفظ شدند. همچنین جهت جلوگیری از اختلاط دانه‌گرده R لاین با سایر ژنوتیپ‌های موجود در مزرعه تحقیقاتی، بوته‌های این لاین در تمام مدت عملیات تلاقی زیر توری نگهداری شدند. عملیات تلاقی از طریق تماس مستقیم گل‌های R2000 به‌عنوان R لاین و لاین‌های نرعقیم به‌مدت ۴۰ روز انجام پذیرفت. در سال زراعی بعد (۱۳۹۸-۱۳۹۹) بذور ۷ هیبرید حاصل از تلاقی به‌همراه R2000 و B لاین‌های متناظر با هر یک از A لاین‌ها و همچنین ۵ رقم کلزا شامل نیلوفر، اوکاپی، نفیس و نیما (ارقام آزادگرده‌افشان) و نپتون (رقم هیبرید) به‌عنوان شاهد در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. همچنین جهت تکثیر بذور هیبرید، هر A لاین به‌صورت جداگانه به‌همراه R2000 زیر قفس‌های توری در کنار هم کشت شدند. آزمایش مقایسه عملکرد در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نیز تکرار شد با این تفاوت که به‌دلیل کمبود بذر، آزمایش بدون B لاین شماره ۴ (B4) انجام گرفت. کرت‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد در هر دو سال شامل ۴ خط ۴ متری بودند؛ به‌طوری‌که فاصله بوته‌ها روی خط ۵ سانتی‌متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله دو کرت ۶۰ سانتی‌متر بود. مراقبت‌های زراعی لازم در طول دوره رشد گیاهان در هر دو سال انجام گرفت. در پایان فصل زراعی، وزن دانه‌های برداشت‌شده از بوته‌های موجود در یک کرت به‌عنوان عملکرد دانه (کیلوگرم در کرت) ثبت شد. همچنین صفات وابسته به عملکرد شامل ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد خورجین در شاخه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه فرعی، طول ساقه اصلی (سانتی‌متر)، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، طول خورجین (سانتی‌متر)، تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا پایان گلدهی، طول دوره گلدهی، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و وزن هزار دانه (گرم) با استفاده از ۱۰ بوته‌ی به تصادف انتخاب‌شده از دو خط میانی کرت‌ها اندازه‌گیری و یا شمارش شدند و میانگین آن‌ها به‌عنوان مقادیر نهایی در محاسبات منظور شد. در سال دوم درصد روغن ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌روش سوکسله اندازه‌گیری شد. هتروزیس بر اساس میانگین والدین، والد برتر و رقم شاهد برتر محاسبه شد (Channa *et al.*, 2018). تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده و مقایسه میانگین‌ها (طبق روش چنددانه‌ای دانکن) با استفاده از

نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت. از نرم‌افزار R جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها (پکیج stats)، نرمال‌سازی داده‌ها (پکیج bestNormalize)، تجزیه به مولفه‌های اصلی (پکیج base)، تجزیه خوشه‌ای (پکیج cluster) و نقشه حرارتی (پکیج ComplexHeatmap) استفاده شد.

### ۳. یافته‌های پژوهش و بحث

#### ۳-۱. عملکرد هیبریدها و هتروزیس

نتایج تجزیه واریانس در سال اول نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). در سال دوم نیز اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و در صد روغن به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). جهت بررسی همگن بودن واریانس‌ها بین داده‌های سال اول و دوم از آزمون بارتلت استفاده شد که باتوجه به معنی‌دار نبودن مقدار کای اسکوئر محاسبه شده در این روش، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌های سال اول و دوم نشان داد صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی است (جدول ۳). منبع تغییر سال برای صفت عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده اختلاف عملکرد دانه بین دو سال است. اگرچه معنی‌دار نبودن اثر متقابل ژنوتیپ در سال نشان می‌دهد که ترتیب ژنوتیپ‌ها به لحاظ عملکرد دانه بین دو سال تغییر معنی‌داری نداشته است و اختلاف معنی‌دار عملکرد دانه بین دو سال مربوط به مجموع عملکرد ژنوتیپ‌ها است. مقایسه میانگین عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها در سال اول، دوم و میانگین دو سال و همچنین درصد روغن در شکل ۱ نمایش داده شده است. بر اساس مقایسه میانگین عملکرد دانه در مجموع دو سال (شکل ۱c)، هیبرید R2000×A8 بالاترین عملکرد دانه را از خود نشان داد و با سایر ژنوتیپ‌ها به غیر از دو هیبرید R2000×A5 و R2000×A7 اختلاف عملکرد معنی‌داری داشت. پس از آن، هیبریدهای R2000×A5 و R2000×A7 بالاترین عملکرد دانه را ثبت کردند و با تمامی ژنوتیپ‌ها بجز لاین B9، تفاوت عملکرد معنی‌داری داشتند. بنابراین سه هیبرید A7، A8، A5 به‌عنوان برترین هیبریدهای تولیدشده و امیدبخش در پژوهش حاضر انتخاب شدند. پژوهش‌های مختلفی جهت ایجاد ارقام هیبرید در کلزا و بررسی میزان عملکرد آن‌ها انجام شده است. در آزمایشی از ۹ لاین ساختگی (Resynthesized line) و سه لاین بهاره به‌عنوان لاین‌های پدری و ۲ لاین نرعیتم به‌عنوان لاین‌های مادری جهت تولید هیبرید استفاده شد و نتایج نشان داد که عملکرد برترین هیبریدها به ترتیب ۳/۷۲ و ۳/۶۸ تن در هکتار بود و با عملکرد ارقام شاهد ۳/۳ و ۳/۳۶ تن در هکتار تفاوت معنی‌داری داشت (Seyis *et al.*, 2006). در پژوهش دیگری، بررسی ۴۱ هیبرید حاصل از تلاقی ۱۲ ژنوتیپ کلزا نشان داد که میانگین عملکرد دانه هیبریدها و والدین به ترتیب ۲/۳ و ۱/۴ تن در هکتار و تفاوت بین آن‌ها معنی‌دار بود (Cuthbert *et al.*, 2009). در یک آزمایش دی‌آلل ۸×۸ میانگین عملکرد تک‌بوته در هیبریدها و والدین به ترتیب با ۴۵/۸ و ۳۵/۸ گرم تفاوت معنی‌داری داشت (Gul *et al.*, 2018). نتایج یک آزمایش دی‌آلل ۵×۵ نیز نشان داد که عملکرد تک‌بوته در برترین هیبرید (۱۱۴ گرم) از برترین لاین والدی (۱۰۹ گرم) بیشتر بود (Shah *et al.*, 2021). جهت ارزیابی قابلیت لاین R2000 در بازگرداندگی باروری به هیبریدهای F1، تمامی هیبریدها در هر دو سال از نظر موقعیت کیه‌س‌های گرده نسبت به سطح مادگی، طول میله‌های پرچم، وجود گرده و تعداد بوته‌های نرعیتم بررسی شدند و هیچ موردی از نرعیتم مشاهده نشد. باتوجه به توانایی R2000 به‌عنوان لاین پدری در ایجاد هیبریدهای با عملکرد بالا و نربارور، می‌توان از این لاین در سایر برنامه‌های تولید بذر هیبرید کلزا و همچنین انتقال ژن‌های بازگردان باروری به لاین‌های امیدبخش استفاده کرد.

محا سبه هتروزیس بر اساس میانگین عملکرد دانه در دو سال نشان داد که هیبریدهای R2000×A7 و R2000×A8 دارای بیشترین مقدار هتروزیس به ترتیب نسبت به والد برتر (۴۲/۴۸ درصد) و رقم نیلوفر به‌عنوان شاهد برتر (۳۴/۷۱ درصد) بودند (جدول ۴). در پژوهش‌های مختلفی پدیده هتروزیس برای عملکرد دانه در کلزا گزارش شده است. در آزمایشی مشاهده شد که در بهترین حالت، عملکرد نسبت به والد برتر و میانگین والدین به ترتیب ۱۷/۰۹ و ۳۵/۹۹ درصد افزایش پیدا کرده است (Liton *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر، ۸۲ و ۶۲ درصد افزایش عملکرد به ترتیب نسبت به میانگین والدین و والد برتر در

هیبریدهای برتر مشاهده شد (Luo *et al.*, 2016). در برخی از تحقیقات مقادیر بسیار بالای هتروزیس در کلزا گزارش شده است. به طور مثال، هیبریدی با ۱۵۴، ۱۲۵ و ۲۱ درصد افزایش عملکرد به ترتیب نسبت به میانگین والدین، والد برتر و رقم شاهد گزارش شده است (Channa *et al.*, 2018). همچنین Gul *et al.* (2019) مقادیر ۹۷ و ۱۳۳ درصد هتروزیس به ترتیب نسبت به رقم شاهد و والد برتر مشاهده کردند. یکی از دلایل بروز هتروزیس در پژوهش حاضر و سایر تحقیقات ذکر شده را می توان به نوع روابط ژن های موثر در عملکرد دانه در کلزا مربوط دانست. هتروزیس در گیاهان، ناشی از عمل غیر افزایشی ژن هاست. بنابراین صفاتی که به صورت غیر افزایشی کنترل می شوند از احتمال بالاتری برای بروز هتروزیس برخوردارند (Begna, 2021). تحقیقات متعدد نشان می دهند که هم عمل افزایشی و هم عمل غیر افزایشی ژن ها (غلبه و اپیستازی) در کنترل عملکرد دانه کلزا نقش دارند (Channa *et al.*, 2018; Gul *et al.*, 2019; Sincik *et al.*, 2011). در نتیجه، در صورت وجود تنوع کافی بین لاین های والدی می توان انتظار افزایش عملکرد دانه هیبریدها نسبت به والدین را داشت.

### ۳-۲. صفات موثر بر عملکرد دانه

جهت شناخت صفات موثر در افزایش عملکرد هیبریدها از تجزیه به مولفه های اصلی و تجزیه خوشه ای استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مولفه های اصلی، پنج مولفه با مقادیر ویژه بزرگتر از یک انتخاب شدند (شکل ۲). دو مولفه اول و دوم در مجموع ۶۰/۷۹ درصد از تغییرات داده ها را توجیه کردند و غیر از صفت ارتفاع بوته سایر صفات موثر بر عملکرد دانه و همچنین خود صفت عملکرد دانه در این دو مولفه حضور داشتند. این داده ها نشان می دهد که انتخاب ژنوتیپها بر اساس این دو مولفه بیشترین اثر مثبت را روی عملکرد دانه خواهد داشت. غیر از صفت ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، تمام صفات موثر در مولفه اول دارای مقادیر منفی هستند. در نتیجه، در انتخاب بر اساس این مولفه، ژنوتیپ های با مقادیر منفی بیشتر را بایستی در اولویت قرار داد. بای پلات حاصل از تجزیه به مولفه های اصلی نیز این مورد را اثبات می کند و نشان می دهد که سه هیبرید پر عملکرد (A7، A8، R2000×A5) از لحاظ مولفه اول دارای مقادیر منفی بزرگتری بودند (شکل ۲). همچنین شکل ۳ نشان می دهد که این سه هیبرید پر عملکرد، از نظر صفات حاضر در مولفه اول مقادیر بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپها داشتند.

در پژوهش های مختلفی اثر مثبت و مستقیم صفات تعداد خورجین در بوته (Chen *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2021; Marjanović-Jeromela *et al.*, 2011; Rameeh, 2016a; Tariq *et al.*, 2020) و تعداد شاخه های اولیه و ثانویه (Tariq *et al.*, 2020) بر عملکرد کلزا گزارش شده است. همچنین مشاهده شده است که خورجین در کلزا یک اندام نسبتاً حفاظت شده است و گیاه ترجیح می دهد برای افزایش عملکرد، به جای افزایش تعداد یا وزن دانه ها در یک خورجین، در تولید خورجین های بیشتر در هر بوته سرمایه گذاری کند (Bennett *et al.*, 2017). برای گیاه هنگامی که یک بذر حاوی حداقل منابع لازم برای جوانه زنی باشد، هیچ مزیتی در ذخیره سازی بیشتر منابع در یک بذر منفرد وجود ندارد؛ بلکه راهبرد بهتر برای بقا، تولید بذره های بیشتر در خورجین های مختلف است. این مورد در مطالعات مختلفی در مورد تخصیص منابع در گیاهان، از جمله در آراییدوپسیس گزارش شده است (Bennett *et al.*, 2012). همچنین نتایج برخی پژوهش ها نشان دهنده آن است که افزایش میزان نیتروژن در دسترس کلزا، منجر به بهبود عملکرد آن از طریق افزایش تعداد خورجین در بوته (و نه افزایش تعداد یا وزن دانه ها) شده است (Allen & Morgan, 1972; Bennett *et al.*, 2017).

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در هیبریدها، لاین‌های والدی و ارقام شاهد کلزا در سال اول.

Sources of variance	df	Mean Squares															
		Plant height	Number of pods per main branch	Number of pods per axillary branches	Number of pods per plant	Number of branches per plant	Main branch length	First pod height from the ground	Pod length	Days to start of flowering	Days to end of flowering	Days to physiological maturity	Flowering period	Thousand seed weight	Number of seeds per pod	Stem diameter	Seed yield
Replication	2	1.62*	0.29*	170.84**	158.28**	0.21 <sup>ns</sup>	356.45*	126.04 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	32.71 <sup>ns</sup>	75.61 <sup>ns</sup>	48.71 <sup>ns</sup>	8.86 <sup>ns</sup>	0.60*	21.28 <sup>ns</sup>	31.17**	1.16**
Genotype	19	0.75*	0.40**	53.77*	54.08*	0.37**	130.11 <sup>ns</sup>	279.80 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	42.54*	34.43 <sup>ns</sup>	30.75 <sup>ns</sup>	16.26 <sup>ns</sup>	0.28*	9.76 <sup>ns</sup>	7.83*	0.74**
Error	38	0.39	0.07	27.10	23.15	0.14	74.04	260.40	0.40	21.61	25.86	31.62	17.37	0.15	22.11	3.35	0.18
Coefficient of Variation (%)	-	5.40	4.83	26.25	22.63	11.08	19.10	21.57	11.85	2.37	2.34	2.17	19.55	10.33	18.45	15.25	17.63

\*، \*\* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در هیبریدها، لاین‌های والدی و ارقام شاهد کلزا در سال دوم.

Sources of variance	df	Mean Squares																
		Plant height	Number of pods per main branch	Number of pods per axillary branches	Number of pods per plant	Number of branches per plant	Main branch length	First pod height from the ground	Pod length	Days to start of flowering	Days to end of flowering	Days to physiological maturity	Flowering period	Thousand seed weight	Number of seeds per pod	Stem diameter	Seed yield	Oil percent
Replication	2	368.63 <sup>ns</sup>	0.81 <sup>ns</sup>	1.01 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	23.61 <sup>ns</sup>	213.93 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	1.33 <sup>ns</sup>	1.63 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	7.43 <sup>ns</sup>	1.64 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	1.70 <sup>ns</sup>
Genotype	18	128.78 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	1.42**	0.94**	0.21*	77.82 <sup>ns</sup>	179.71 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	4.15 <sup>ns</sup>	4.89 <sup>ns</sup>	4.97 <sup>ns</sup>	2.90 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	11.66 <sup>ns</sup>	5.72**	0.25*	2.89**
Error	36	205.77	0.84	0.41	0.30	0.09	45.07	152.79	0.16	2.80	3.72	6.22	3.44	0.10	18.49	1.92	0.13	0.83
Coefficient of Variation (%)	-	12.95	13.57	8.56	6.98	9.22	17.20	18.37	7.28	0.87	0.91	0.99	8.9	7.9	16.04	14.22	22.5	2.34

\*، \*\* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در هیبریدها، لاین‌های والدی و ارقام شاهد کلزا در سال‌های اول و دوم.

Sources of variance	df	Mean Squares															
		Plant height	Number of pods per main branch	Number of pods per axillary branches	Number of pods per plant	Number of branches per plant	Main branch length	First pod height from the ground	Pod length	Days to start of flowering	Days to end of flowering	Days to physiological maturity	Flowering period	Thousand seed weight	Number of seeds per pod	Stem diameter	Seed yield
Year	1	19322.32 <sup>**</sup>	1.95*	24.40*	18.65*	0.24 <sup>ns</sup>	1144.80 <sup>ns</sup>	1686.92*	1.09 <sup>ns</sup>	668.21 <sup>**</sup>	742.81*	1246.74 <sup>**</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	3.26 <sup>ns</sup>	46.10 <sup>ns</sup>	2.37*	19.36 <sup>**</sup>
Replication (Year)	4	472.06 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	1.93*	1.39*	0.11 <sup>ns</sup>	221.80 <sup>**</sup>	188.01 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	15.38 <sup>ns</sup>	45.17*	27.85 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>**</sup>	11.58 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>**</sup>	0.47*
Genotype	18	183.43 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	2.59 <sup>**</sup>	1.93 <sup>**</sup>	9.82 <sup>**</sup>	138.98 <sup>ns</sup>	211.53 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	19.34 <sup>ns</sup>	21.85 <sup>ns</sup>	16.85 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	10.75 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>**</sup>	0.92 <sup>**</sup>
Genotype×Year	18	338.97 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	70.32 <sup>ns</sup>	261.41 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	25.67*	19.27 <sup>ns</sup>	20.57 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	11.12 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>
Error	72	196.89	0.12	0.56	0.40	0.10	57.23	203.38	0.28	12.80	14.36	19.61	0.11	0.12	20.61	0.05	0.15
Coefficient of Variation (%)	-	11.34	6.17	9.42	7.68	9.92	17.93	20.04	9.80	1.85	1.76	1.73	7.48	8.97	17.35	6.66	19.19

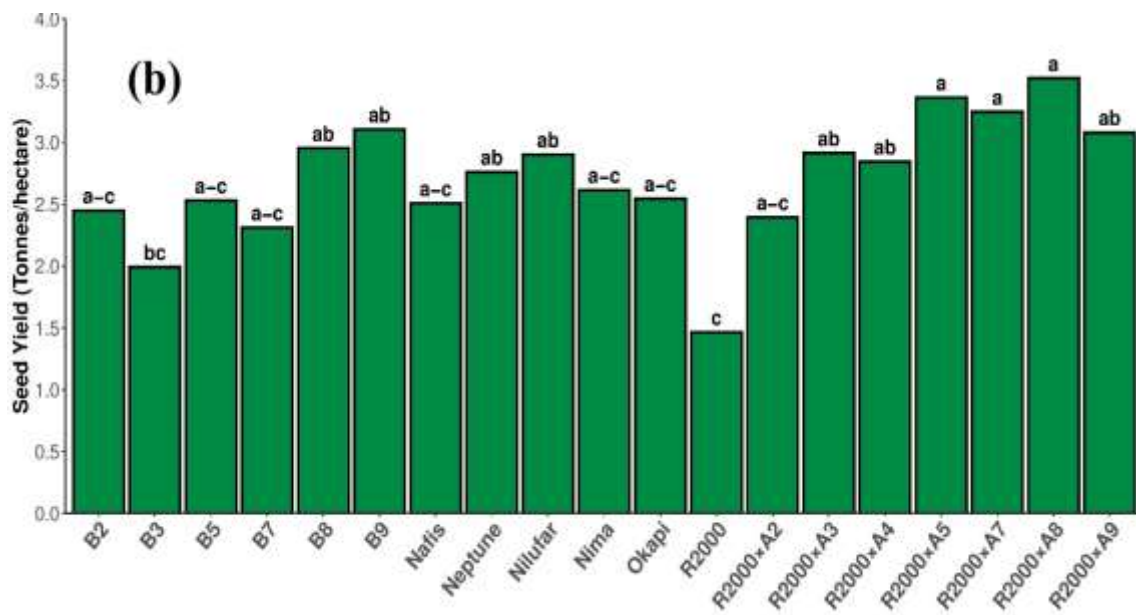
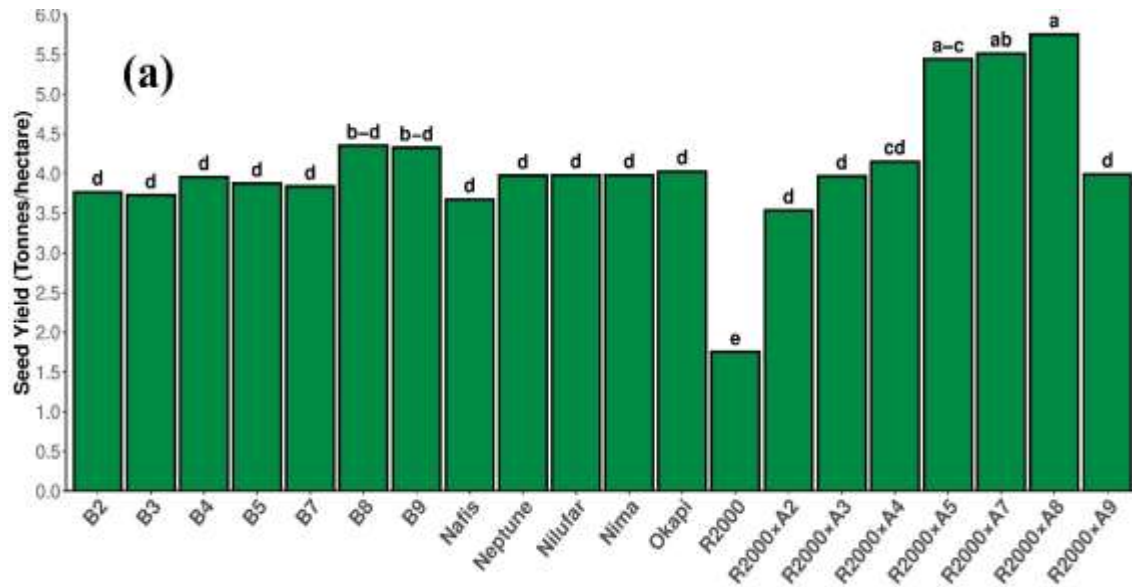
<sup>\*\*</sup>، <sup>\*</sup>، <sup>ns</sup>: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

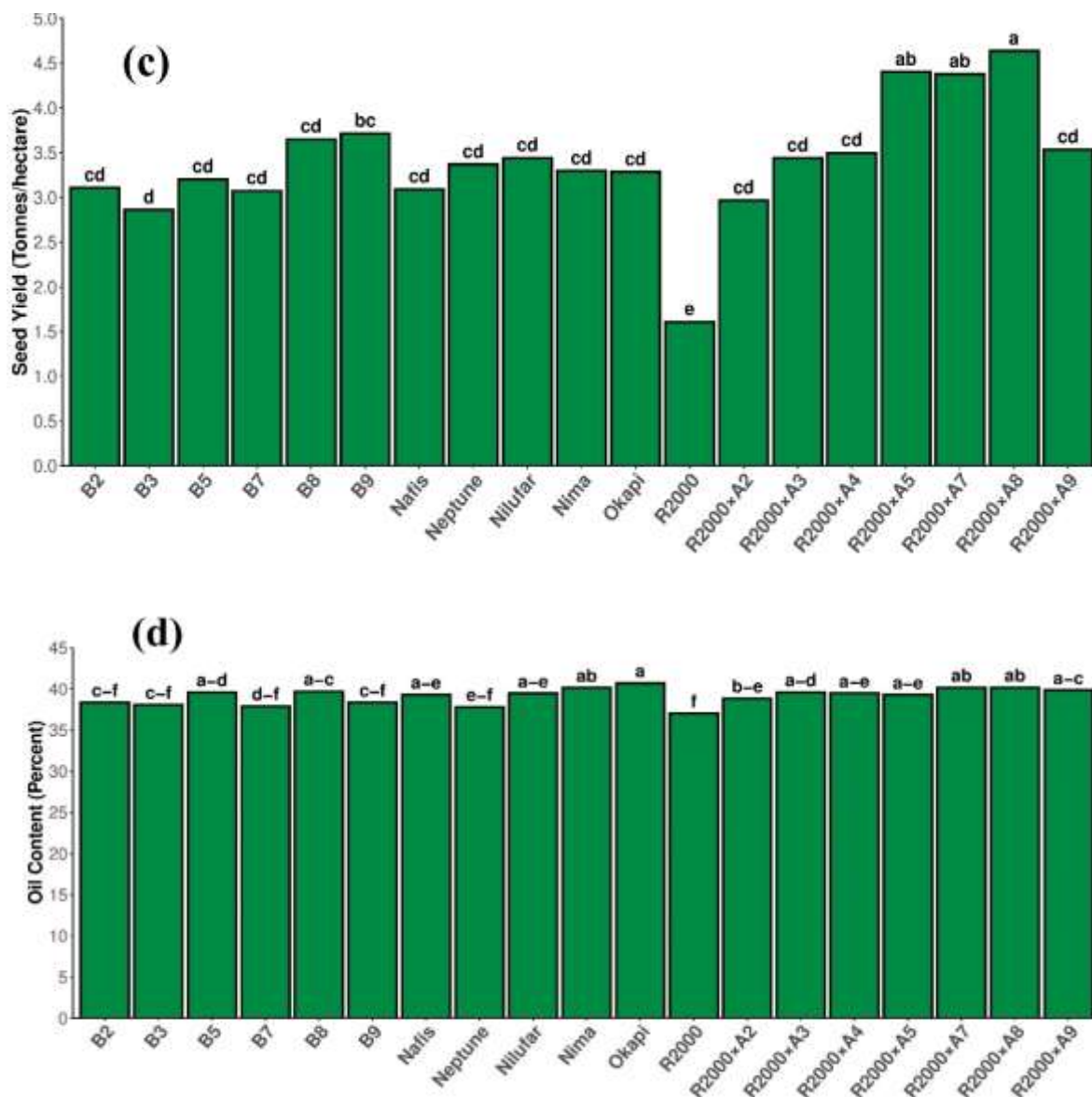
جدول ۴. درصد هتروزیس مشاهده شده در هیبریدهای کلزا بر اساس میانگین والدین، والد برتر و رقم شاهد برتر در سال اول، دوم و میانگین دو سال.

	R2000×A2			R2000×A3			R2000×A4			R2000×A5			R2000×A7			R2000×A8			R2000×A9		
	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY	Y1	Y2	MY
MP	28.16	22.36	25.75	44.71	68.65	53.97	45.41	-	-	93.40	68.43	83.03	97.25	72.04	87.09	88.53	59.37	76.29	31.29	34.83	32.81
HP	-6.09	-2.27	-4.59	6.39	46.30	20.29	4.92	-	-	40.47	32.93	37.47	43.68	40.50	42.48	32.26	19.19	26.97	-7.75	-0.01	-4.80
HCH	-	-	-	-1.51	0.38	-0.05	3.09	-	-	35.12	15.88	27.91	36.94	11.86	27.28	42.88	21.24	34.71	-0.90	6.12	2.72

Y1: سال اول، Y2: سال دوم، MY: میانگین دو سال، MP: میانگین والدین، HP: والد برتر، HCH: رقم شاهد برتر.



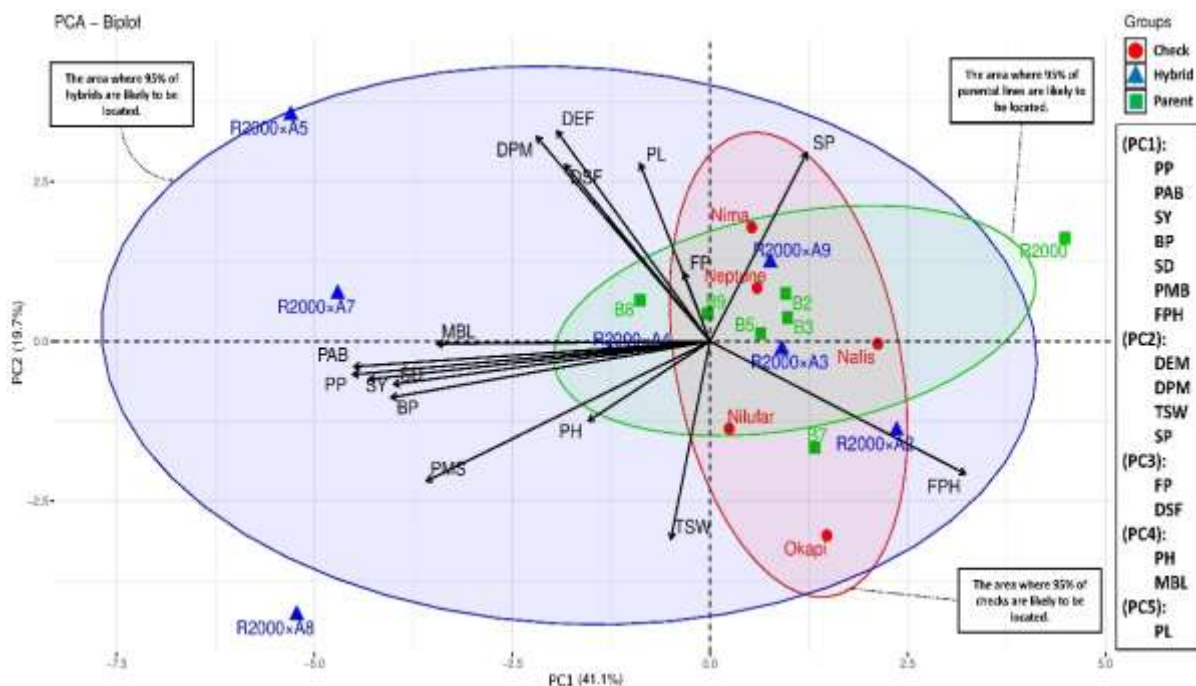




شکل ۱. عملکرد دانه در سال اول (a)، سال دوم (b)، میانگین دو سال (c) و درصد روغن (d) در هیبریدها، لاین‌های والدینی و ارقام شاهد کلزا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در مولفه دوم انتخاب ژنوتیپ‌ها باید به گونه‌ای باشد که یا مقادیر این مولفه برای صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و تعداد دانه در خورجین مثبت باشد و یا برای صفت وزن هزار دانه دارای مقدار منفی. از سه هیبرید پر عملکرد در پژوهش حاضر، در مولفه دوم، دو هیبرید A7، A5 و R2000 دارای مقادیر مثبت و هیبرید R2000×A8 دارای مقدار منفی بودند. این مورد بامراجعه به شکل واضح‌تر خواهد شد؛ جایی که از منظر صفات موجود در مولفه دوم بین سه هیبرید پر عملکرد تا حدود زیادی اختلاف وجود دارد؛ به گونه‌ای که هیبرید R2000×A8 دارای وزن هزار دانه بالاتر و تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و تعداد دانه در خورجین کمتر می‌باشد؛ در حالی که در دو هیبرید A7، A5 و R2000 برعکس آن مشاهده می‌شود. این مورد نشان می‌دهد که هیبرید R2000×A8 علاوه بر تولید تعداد خورجین بالا به‌عنوان مهمترین صفت موثر بر عملکرد، به صورت هم‌زمان توانایی ایجاد دانه‌های با وزن بالاتر را نیز داراست و همین مساله موجب شده است که بالاترین عملکرد را در میان ژنوتیپ‌ها از خود نشان دهد. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در ژنوتیپ‌های کلزا در پژوهش *Chen et al.* (2014) نیز نشان داد که صفات وزن خشک، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در خورجین، شاخص برداشت، ارتفاع اولین

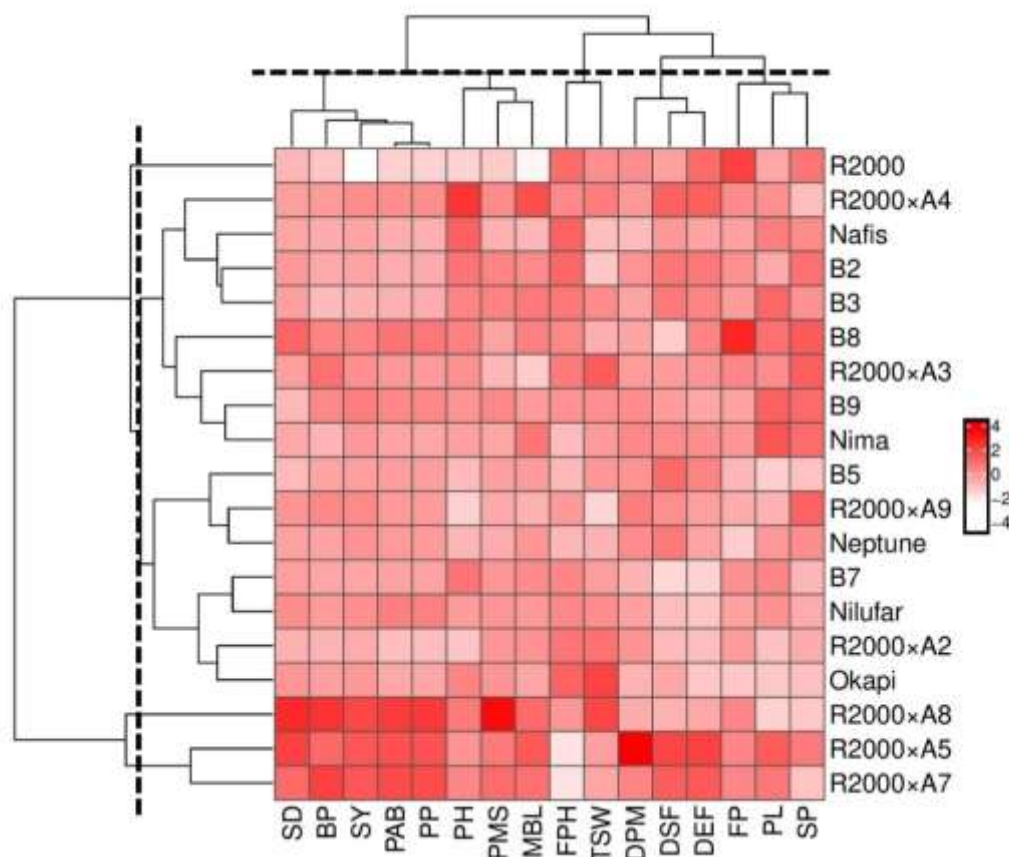
شاخه، تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته دارای بیشترین مقادیر در مولفه اول بودند که تا حدود زیادی با نتایج ما مطابقت دارد.



**شکل ۲.** بای پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای هیبریدها، لاین‌های والدی، ارقام شاهد و صفات مورد مطالعه. PH: ارتفاع بوته، PMB: تعداد خورجین در شاخه اصلی، PAB: تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، PP: تعداد خورجین در بوته، BP: تعداد شاخه فرعی، MBL: طول ساقه اصلی، FPH: ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، PL: طول خورجین، DSF: تعداد روز تا شروع گلدهی، DEF: تعداد روز تا پایان گلدهی، DPM: تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، FP: طول دوره گلدهی، TSW: وزن هزار دانه، SP: تعداد دانه در خورجین، SD: قطر ساقه، SY: عملکرد دانه.

تجزیه خوشه‌ای با استفاده از فاصله اقلیدسی و روش Ward جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و همچنین صفات مورد بررسی انجام شد (شکل ۳). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در ابتدا به دو گروه تقسیم شدند؛ به شکلی که سه هیبرید با عملکرد بالا (R2000×A5, A7, A8) در یک خوشه و مابقی ژنوتیپ‌ها همگی در خوشه دیگر جای گرفتند. بر اساس ماتریس فاصله اقلیدسی، کمترین فاصله بین دو ژنوتیپ B7 و R15 (2/11) و بیشترین فاصله بین R2000 و هیبرید R2000×A8 (11/58) مشاهده شد. نکته حائز اهمیت در نتایج تجزیه خوشه‌ای، فاصله بیشتر لاین R2000 با لاین‌های مادری تولیدکننده هیبریدهای دارای عملکرد بالاتر بود؛ به طوری که لاین B8 که بیشترین فاصله را نسبت به سایر لاین‌های مادری با R2000 از خود نشان داد، لاین مادری پرمحصول‌ترین هیبرید (R2000×A8) بود. پس از B8، بیشترین فاصله بین R2000 و لاین‌های مادری، به ترتیب مربوط به سه لاین B9, B7, و B5 بود که هیبریدهای حاصل از آنان بعد از هیبرید R2000×A8 بالاترین عملکرد را از خود نشان داده بودند. این موضوع نشان می‌دهد که انتخاب لاین‌های والدی دارای فاصله بیشتر می‌تواند به تولید هیبریدهای پرمحصول کمک کند. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که تبدلات ژنتیکی در کلزا می‌تواند تنوع ژنتیکی را افزایش دهد و در نتیجه منجر به هتروزیس بالا برای توده زیستی و عملکرد دانه شود (Qian et al., 2007). ارتباط میان فاصله ژنتیکی بر اساس صفات مورفولوژیک و هتروزیس در میان گیاهان جنس براسیکا از جمله کلزا، *B.rapa*، *B.juncea* و *B.carinata* گزارش شده است (Ali et al., 1995; Lefort-Buson et al., 1986; Falk et al., 1994; Pradhan et al., 1993; Teklewold & Becker, 2006). برای درک بهتر تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفات اندازه‌گیری شده علاوه بر تجزیه خوشه‌ای، از نقشه حرارتی (Heatmap) نیز استفاده شد (شکل ۳). بر اساس نتایج خوشه‌بندی صفات، بارزترین تفاوت بین هیبریدهای پرمحصول (A7, A8،

R2000×A5) و سایر ژنوتیپ‌ها در خوشه اول مشاهده شد؛ جایی که این هیبریدها علاوه بر عملکرد دانه بالاتر از نظر تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین روی شاخه‌های فرعی، قطر ساقه و تعداد خورجین در بوته مقادیر بیشتری را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها ثبت کردند.



شکل ۳. نقشه حرارتی و دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد مطالعه و ژنوتیپ‌های کلزا. PH: ارتفاع بوته، PMB: تعداد خورجین در شاخه اصلی، PAB: تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، PP: تعداد خورجین در بوته، BP: تعداد شاخه فرعی، MBL: طول ساقه اصلی، FPH: ارتفاع اولین خورجین از سطح زمین، PL: طول خورجین، DSF: تعداد روز تا شروع گلدهی، DEF: تعداد روز تا پایان گلدهی، DPM: تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، FP: طول دوره گلدهی، TSW: وزن هزار دانه، SP: تعداد دانه در خورجین، SD: قطر ساقه، SY: عملکرد دانه

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش از لاین R2000 به عنوان یکی از برترین لاین‌های بازگردان باروری جهت تلاقی با A لاین‌های موسسه اصلاح نهال و بذر و تولید اولین هیبرید کلزا در ایران استفاده شد. نتایج دوساله نشان داد که سه هیبرید R2000×A5، A7، A8 به ترتیب با متوسط عملکرد ۴/۴۰، ۴/۳۸ و ۴/۶۴ تن در هکتار نسبت به لاین‌های والدی و ارقام شاهد عملکرد بیشتری دارند. همچنین تمامی هیبریدهای تولیدشده به صورت کامل بارور بودند. سه هیبرید امیدبخش (R2000×A5، A7، A8) می‌توانند پس از آزمایش‌های سازگاری و پایداری، مراحل آزادسازی به عنوان رقم جدید را طی کرده و در کنار ارقام خارجی به کشاورزان معرفی شوند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد عامل اصلی عملکرد بالاتر هیبرید R2000×A8 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، توانایی آن در افزایش هم‌زمان تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه بود. همچنین بر اساس تجزیه خوشه‌ای، انتخاب لاین‌های والدینی دارای فاصله بیشتر منجر به تولید هیبریدهای پرمحصول‌تر خواهد شد.

## ۵. منابع

- Abbadi, A., & Leckband, G. (2011). Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(10), 1198-1206.
- Aftab, M., Fatima, S., Qamar, H., Hassan, M., Zubair, M., Arshad, A., Mahmood, T., Ali, S., Shahzad, S., & Khurshid, M.R. (2020). Study of morphological characters give an insight into the genetic variation present in *Brassica napus* L. germplasm. *Life Science Journal* 17(3), 56-61.
- Ahmad, R., & Quiros, C.F. (2011). Inter-and intra-cluster heterosis in spring type oilseed rape (*Brassica napus* L.) hybrids and prediction of heterosis using SRAP molecular markers. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 43(1).
- Allen, E., & Morgan, D. (1972). A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. *The Journal of Agricultural Science*, 78(2), 315-324.
- Banga, S., Kumar, P., Bhajan, R., Singh, D., & Banga, S. (2015). Genetics and breeding. In *Brassica oilseeds: breeding and management* (pp. 11-41): CABI Wallingford UK.
- Begna, T. (2021). Combining ability and heterosis in plant improvement. *Open Journal of Plant Science*, 6(1), 108-117.
- Bennett, E., Roberts, J.A., & Wagstaff, C. (2012). Manipulating resource allocation in plants. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3391-3400.
- Bennett, E.J., Brignell, C.J., Carion, P.W., Cook, S.M., Eastmond, P.J., Teakle, G.R., Hammond, J.P., Love, C., King, G.J., & Roberts, J.A. (2017). Development of a statistical crop model to explain the relationship between seed yield and phenotypic diversity within the *Brassica napus* genepool. *Agronomy*, 7(2), 31.
- Channa, S.A., Tian, H., Mohammed, M.I., Zhang, R., Faisal, S., Guo, Y., Klima, M., Stamm, M., & Hu, S. (2018). Heterosis and combining ability analysis in Chinese semi-winter× exotic accessions of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, 214(8), 1-19.
- Chen, B., Xu, K., Li, J., Li, F., Qiao, J., Li, H., Gao, G., Yan, G., & Wu, X. (2014). Evaluation of yield and agronomic traits and their genetic variation in 488 global collections of *Brassica napus* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(5), 979-999.
- Chen, J., Li, J., Ma, M., Li, B., Zhou, Y., Pan, Y., Fan, Y., Yi, B., & Tu, J. (2022). Improvement of resistance to clubroot disease in the Ogura CMS restorer line R2163 of *Brassica napus*. *Plants*, 11(18), 2413.
- Cuthbert, R., Crow, G., & McVetty, P. (2009). Assessment of agronomic performance and heterosis for agronomic traits in hybrid high erucic acid rapeseed (HEAR). *Canadian Journal of Plant Science*, 89(2), 227-237.
- Ghodrati, G., Mohammadi, V., Zainali Khanghah, H., & Shafeinia, A.R. (2021). Fertility restoring potential of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes in Ogura and Polima CMS systems. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(1), 87-99. (In Persian).
- Gul, S., Uddin, R., Khan, N., Arif, M., Goher, R., & Zakaria, M. (2018). Inheritance studies through combining ability for morphological and yield traits in F1 populations of *Brassica napus* L. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 28(4), 1094-1102.
- Gul, S., Uddin, R., Khan, N.U., Khan, S.U., Ali, S., Ali, N., Khan, M.S., Ibrahim, M., Goher, R., & Saeed, M. (2019). Heterotic response and combining ability analysis in F1 diallel populations of *Brassica napus* L. *Pakistan Journal of Botany*, 51(6), 2129-2141.
- Kumar, S., Ali, B., Khaldun, A., Islam, S.S., Uddin, M.S., Akanda, M.L., & Miah, M.S. (2021). Genetic diversity, correlations and path coefficient analysis among the F5 populations of *Brassica* Species. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 16(2), 20-31.
- Liton, M., Bhuiyan, M.S.R., Zeba, N., & Rashid, M.H. (2017). Estimation of heterosis for yield and its attributes in *Brassica rapa* L. *Asian Research Journal of Agriculture*, 4(4), 1-13.
- Luo, X., Ma, C., Yi, B., Tu, J., Shen, J., & Fu, T. (2016). Genetic distance revealed by genomic single nucleotide polymorphisms and their relationships with harvest index heterotic traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, 209(1), 41-47.
- Marjanović-Jeromela, A., Marinković, R., Ivanovska, S., Jankulovska, M., Mijić, A., & Hristov, N. (2011). Variability of yield determining components in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) and their correlation with seed yield. *Genetika-Belgrade*, 43(1), 51-66.
- Mohammadi, V., Fathi-Hafshejani, H., Maali-Amiri, R., & Alizadeh, H. (2018). Screening of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes for tolerance to terminal heat stress by plastic greenhouse. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(2), 161-170. (In Persian).
- Niedbala, G. (2019). Application of artificial neural networks for multi-criteria yield prediction of winter rapeseed. *Sustainability*, 11(2), 533.
- Qian, W., Sass, O., Meng, J., Li, M., Frauen, M., & Jung, C. (2007). Heterotic patterns in rapeseed (*Brassica napus* L.): I. Crosses between spring and Chinese semi-winter lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(1), 27-34.

- Rameeh, V. (2016a). Correlation and path analysis in advanced lines of rapeseed (*Brassica napus*) for yield components. *Journal of Oilseed Brassica*, 1(2), 56-60.
- Rameeh, V. (2016b). Multivariate analysis of some important quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus*) advanced lines. *Journal of Oilseed Brassica*, 1(2), 162-169.
- Riaz, A., Li, G., Quresh, Z., Swati, M., & Quiros, C. (2001). Genetic diversity of oilseed *Brassica napus* inbred lines based on sequence-related amplified polymorphism and its relation to hybrid performance. *Plant Breeding*, 120(5), 411-415.
- Seyis, F., Friedt, W., & Lühs, W. (2006). Yield of *Brassica napus* L. hybrids developed using resynthesized rapeseed material sown at different locations. *Field Crops Research*, 96(1), 176-180.
- Shah, M.A., Rehman, F., Mehmood, A., Ullah, F., Shah, S.I., & Rasheed, S.M. (2021). Combining ability, heritability and gene action assessment in rapeseed (*Brassica napus* L.) for yield and yield attributes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 37(1), 104-109.
- Shiranifar, B., Hobson, N., Kebede, B., Yang, R.C., & Rahman, H. (2021). Potential of rutabaga (*Brassica napus* var. napobrassica) gene pool for use in the breeding of hybrid spring *Brassica napus* canola. *Plant Breeding*, 140(2), 305-319.
- Sincik, M., Goksoy, A.T., & Turan, M.Z. (2011). The heterosis and combining ability of diallel crosses of rapeseed inbred lines. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(2), 242-248.
- Spasibionek, S., Mikołajczyk, K., Cwiek-Kupczyńska, H., Piętka, T., Krótka, K., Matuszczak, M., Nowakowska, J., Michalski, K., & Bartkowiak-Broda, I. (2020). Marker assisted selection of new high oleic and low linolenic winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) inbred lines revealing good agricultural value. *PLoS One*, 15(6), e0233959.
- Tariq, H., Tanveer, S.K., Qamar, M., Javaid, R.A., Vaseer, S.G., Jhazab, H.M., Hassan, M.J., & Iqbal, H. (2020). Correlation and path analysis of *Brassica napus* genotypes for yield related traits. *Life Science Journal*, 17(8), 22-34.
- Tian, H.Y., Channa, S.A., & Hu, S.W. (2017). Relationships between genetic distance, combining ability and heterosis in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, 213(1), 1-11.
- Wang, T., Guo, Y., Wu, Z., Xia, S., Hua, S., Tu, J., Li, M., & Chen, W. (2020). Genetic characterization of a new radish introgression line carrying the restorer gene for Ogura CMS in *Brassica napus*. *PLoS One*, 15(7), e0236273.
- Wolko, J., Dobrzycka, A., Bocianowski, J., & Bartkowiak-Broda, I. (2019). Estimation of heterosis for yield-related traits for single cross and three-way cross hybrids of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, 215(10), 1-17.
- Yoosefzadeh-Najafabadi, M., Earl, H.J., Tulpan, D., Sulik, J., & Eskandari, M. (2021). Application of machine learning algorithms in plant breeding: predicting yield from hyperspectral reflectance in soybean. *Frontiers in Plant Science*, 11, 624273.