Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 1, 2025 p: 76-87

OPEN ACCESS

Research Paper

Simultaneous Selection for Oil Yield and other Agronomic Traits in Rapeseed Genotypes using Genotype × Trait and Genotype by Yield × Trait Biplots

Mohammad Barzali

Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Crop and Horticultural Science Research Department, Gorgan, Iran, (Corresponding author: barzali@hotmail.com)

Received: 6 July, 2024 Revised: 11 November, 2024 Accepted: 12 December, 2024

Extended Abstract

Background: Oilseeds are one of the most important sources of energy in the world. As one of the most important oilseed plants in the world, rapeseed has nutritional and economic value, with its seeds containing 40% oil and its oilseed meal containing more than 35% protein. This plant has higher adaptability to diverse climatic conditions. Given the need to supply edible oil in Iran, the selection of high-yielding genotypes with desirable characteristics in this plant is very important for sustainability in production. Moreover, examining the relationship between yield and other agronomic traits improves the efficiency of breeding programs by determining appropriate selection criteria, such that some breeders prefer to select varieties indirectly using yield-related traits to achieve high yield. Among the methods that provide more appropriate characteristics of the status of genotypes and traits are graphical methods that allow for visual examination of correlations and relationships between traits and evaluation and identification of desirable genotypes based on the values of yield-trait combinations. Therefore, this study aimed to compare different genotypes of rapeseed in terms of several traits and analyze the correlation between their different traits, as well as to select superior rapeseed genotypes based on the combination of agronomic traits with oil yield using genotype × trait biplot and genotype × yield × trait biplot methods.

Methods: In this study, 15 new lines along with two cultivars were evaluated in a randomized complete block design with three replications in the Agriculture Research Station of Gonbad during 2019-2020. The phonological, morphological characteristics, and yield components including days to flowering starting, days to physiological maturity, plant height, the number of lateral branches, the number of pods per plant, the number of seeds per pod, 1000-seed weight (TSW), oil content, and oil yield were measured in the sample plants. In this study, the genotype × trait (GT) and genotype by yield × trait biplot (GYT) methods were used to identify interrelationships between different traits and selection of the best rapeseed genotypes.

Results: The results showed that the genotype by yield × trait biplot method was more efficient than the genotype × trait biplot method. Based on the biplot and the genotype by yield × trait biplot index, a positive correlation was observed between all yield-trait combinations, and genotype 17, followed by genotypes 11 and 4, respectively, were identified as the best genotypes in the combination of oil yield with days to flowering, days to physiological maturity, plant height, the number of lateral branches, the number of pods per plant, the number of seeds per pod, TSW, and oil percentage. Genotypes 2 and 15, respectively, were identified as the weakest genotypes by being located at the end of the horizontal axis of the average tester coordinate diagram. Moreover, the results of the genotype by yield × trait biplot showed a high positive correlation between oil yield × the number of lateral branches, oil yield × the number of seeds per pod, oil yield × TSW, oil yield × plant height, oil yield × oil percentage, oil yield/days to flowering, and oil yield/days to physiological maturity, indicating the usefulness of combining the number of lateral branches, the number of seeds per pod, TSW, oil percentage, plant height, and maturing time (the number of days to flowering and maturing) with oil yield to increase the production of ge[illegible] ape[illegible]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

Conclusion: In general, the results showed that the genotype by yield × trait biplot method was a more suitable tool for investigating relationships between traits and evaluating, comparing, and selecting different rapeseed genotypes in terms of multiple traits than the genotype × trait biplot method. Based on the display of the average tester coordinates of the genotype × yield × trait biplot, genotypes 17, 11, and 4 were identified as the best genotypes with genotype × yield × trait biplot values of 2.22, 1.33, and 1.01, respectively, and genotypes 2 and 15 were identified as the weakest genotypes with genotype × yield × trait biplot values of -1.78 and -1.01, respectively, in terms of oil yield and other agronomic traits. Furthermore, the number of lateral branches, the number of seeds per pod, TSW, plant height, and maturing time (the number of days to flowering and maturing) are the traits that can be used as appropriate indicators in breeding programs to select high-yielding genotypes in rapeseed.

Keywords: Biplot, Correlation. GYT index, Oil yield, Phonological characteristics

How to Cite This Article: Barzali, M. (2025). Simultaneous Selection for Oil Yield and other Agronomic Traits in Rapeseed Genotypes using Genotype × Trait and Genotype by Yield × Trait Biplots. *J Crop Breed,* 17(1), 76-87. DOI: 10.61186/jcb.17.1.76

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

گزینش همزمان برای عملکرد روغن و سایر صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)

محمد برزعلی

استادیار زراعت، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: barzali@hotmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲
صفحه ۷۶ تا ۸۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از مهمترین منابع تأمین انرژی در دنیا دانه‌های روغنی هستند. کلزا که یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی جهان می‌باشد ارزش غذایی و اقتصادی بالایی دارد به‌طوریکه دانه آن حاوی ۴۰ درصد روغن و پروتئین کنجاله حاصل از روغن‌کشی آن دارای بیش از ۳۵ درصد پروتئین است. این گیاه سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی متنوع دارد و با توجه به نیاز کشور در تأمین روغن خوراکی انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول با خصوصیات مطلوب در این گیاه به‌منظور پایداری در تولید از اهمیت بالایی برخوردار است. هچنین بررسی رابطه بین عملکرد و سایر صفات زراعی، راندمان برنامه‌های اصلاحی را با تعیین معیار انتخاب مناسب، بهبود می‌بخشد به‌نحویکه برخی به‌نژادگران ترجیح می‌دهند جهت دستیابی به عملکرد بالا گزینش ارقام را به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از صفات مرتبط با عملکرد انتخاب نمایند. از روش‌هایی که مشخصات مناسب‌تری از وضعیت ژنوتیپ‌ها و صفات ارائه می‌دهد روش‌های گرافیکی است که بررسی همبستگی و روابط بین صفات را به‌صورت تصویری و ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس مقادیر ترکیبات عملکرد–صفت را نیز امکان‌پذیر می‌سازد. لذا هدف از این مطالعه مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از لحاظ چندین صفت و تحلیل همبستگی بین صفات مختلف آن‌ها و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های برتر کلزا بر اساس ترکیب صفات زراعی با عملکرد روغن با استفاده از روش‌های بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) بود.

مواد و روش‌ها: در این راستا تعداد پانزده لاین جدید به‌همراه دو رقم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی (۹۹–۱۳۹۸) ارزیابی شدند. صفات فنولوژیکی، موفولوژیکی و اجزای عملکرد شامل روز تا شروع گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، درصد روغن و عملکرد روغن مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. در این پژوهش برای مطالعه روابط متقابل میان صفات مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌های کلزا از روش‌های بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplotGT) و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplotGYT) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نسبت به روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) کارایی بیشتری دارد. بر اساس بای‌پلات و شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)، همبستگی مثبتی بین کلیه ترکیبات عملکرد–صفت مشاهده شد و ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و سپس ژنوتیپ های شماره ۱۱ و ۴ به ترتیب با قرار گرفتن در جهت محور افقی نمودار مختصات تستر متوسط به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها در ترکیب عملکرد روغن با روز تا شروع گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و درصد روغن و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۵ به‌ترتیب با قرار گرفتن در انتهای محور افقی نمودار مختصات تستر متوسط، ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. همچنین نتایج نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نشان داد که همبستگی مثبت بالایی بین عملکرد روغن × تعداد شاخه فرعی، عملکرد روغن × تعداد دانه در غلاف، عملکرد روغن × وزن هزار دانه، عملکرد روغن × ارتفاع گیاه، عملکرد روغن × درصد روغن، روز تا گلدهی/عملکرد روغن و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک/عملکرد روغن وجود دارد که نشان‌دهنده سودمندی ترکیب تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، درصد روغن، ارتفاع بوته و زمان رسیدن (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی) با عملکرد روغن برای افزایش تولید ژنوتیپ‌ها در کلزا می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نسبت به روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) ابزار مناسب‌تری برای بررسی روابط میان صفات و همچنین ارزیابی، مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از لحاظ چند صفت بود. بر اساس نمایش مختصات تستر متوسط بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)، ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۱ و ۴ به ترتیب با شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) برابر با ۲/۲۲، ۱/۳۳ و ۱/۰۱ به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۵ به‌ترتیب با مقادیر شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) برابر با ۱/۷۸– و ۱/۰۱– به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد روغن و سایر صفات زراعی شناخته شدند. همچنین صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و زمان رسیدن (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی) می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در کلزا مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، عملکرد روغن، شاخص GYT، صفات فنولوژیکی، همبستگی

مقدمه

کلزا یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی می‌باشد که به‌دلیل ویژگی‌هایی از قبیل سازگاری بالا با شرایط آب و هوایی متنوع، دارا بودن ژنوتیپ‌های پاییزه و بهاره، کنترل علف‌های هرز، ارزش تناوبی بالا، عملکرد روغن بالا و تأمین کنجاله و سوخت‌های زیستی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (Bahram *et al.*, 2019). با توجه به نیاز شدید کشور به روغن خوراکی، دست‌یابی به ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا در محصولات دانه روغنی ضروری می‌باشد. انتخاب ارقام با عملکرد بالا به‌علت وراثت‌پذیری پایین عملکرد پیچیده و مشکل است (Gholizadeh & Dehghani, 2016). بنابراین به‌نژادگران گیاهی انتخاب به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از صفات مرتبط با عملکرد را ترجیح می‌دهند (Mohammadi *et al.*, 2015). عملکرد دانه در کلزا ناشی از اثرات تجمعی

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

اجزای متشکله و برهمکنش آن‌ها می‌باشد. صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد توارث‌پذیری نسبتاً بالایی دارند، بنابراین گزینش بر اساس این صفات نیز ممکن است راه مطمئن و سریعی برای غربال کردن جوامع گیاهی و بهبود عملکرد باشد (Gholizadeh *et al.*, 2021). بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا باید برمبنای مجموعه‌ای از صفات و اجزای عملکرد صورت گیرد. روش‌های مختلفی برای بررسی روابط بین صفات مختلف و گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مختلف وجود دارد، که در این میان روش‌های گرافیکی بررسی بهتری از وضعیت ژنوتیپ‌ها و صفات ارائه می‌کنند.

روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) یکی از روش‌های گرافیکی می‌باشد که ابزاری قوی برای ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ چند صفت می‌باشد. همچنین با استفاده از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot)، امکان بررسی همبستگی و روابط بین صفات به‌صورت تصویری امکان‌پذیر می‌باشد. از روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) در محصولات مختلف از قبیل کلزا (Dehghani *et al.*, 2008؛ Zabet, 2017)، گندم نان (Gholizadeh & Dehghani, 2016)، اسفناج (Sabaghnia *et al.*, 2016)، گلرنگ (Baljani *et al.*, 2015)، برنج (Sharifi & Ebadi, 2018) ، بادام زمینی (Rahimi *et al.*, 2019) و آفتابگردان (Gholizadeh *et al.*, 2022) برای ارزیابی روابط بین صفات و ژنوتیپ‌ها استفاده شده است. روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) یکی دیگر از روش‌های گرافیکی می‌باشد که برای ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس مقادیر ترکیبات عملکرد–صفت به‌کار گرفته شده است (Yan & Frégeau-Reid, 2018). از ژنوتیپ‌های شناسایی‌شده توسط این روش می‌توان به‌طور مستقیم برای تولید ارقام تجاری یا به‌عنوان والد در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود. از روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) بای‌پلات در یولاف (Yan & Frégeau-Reid, 2018; Yan *et al.*, 2019)، گندم دوروم (Kendel, 2019; Mohammadi, 2019)، کنجد (Boureima & Abdoua, 2019)، گندم نان (Abd-El Hamid *et al.*, 2019; Rahmati *et al.*, 2020)، گاودانه (Cruz *et al.*, 2020) و آفتابگردان (Gholizadeh *et al.*, 2022) برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها و صفات استفاده شده است. هدف از این مطالعه مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از لحاظ چندین صفت و تحلیل همبستگی بین صفات مختلف آن‌ها و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های برتر کلزا بر اساس ترکیب صفات زراعی با عملکرد روغن بااستفاده از روش‌های بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) و بای‌پلات ژنوتیپ× عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تعداد ۱۵ لاین جدید کلزا به‌همراه ۲ رقم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گنبد کاووس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی (۱۳۹۹–۱۳۹۸) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نام و شجره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ بیان شده است. ایستگاه گنبد در طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و ۴۵ متر ارتفاع از سطح دریا در استان گلستان قرار دارد. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف چهار متری با فاصله بین ردیف‌های ۲۵ سانتیمتر بود. کشت به‌صورت جوی و پشته انجام شد. کشت براساس دستورالعمل کشت کلزا در تاریخ توصیه شده انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و براساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. پس از آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار پتاسیم و فسفر موردنیاز به‌ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت به زمین داده شد. کود ازته از منبع اوره نیز به‌صورت سرک در سه مرحله کاشت، شروع ساقه‌رفتن و زمان ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف شد. در طول فصل رشد و نمو عملیات زراعی به‌طور مرتب انجام شد و از سموم سیستمیک دیماکارون (نیم لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) برای کنترل شته مومی کلم استفاده شد.

به‌منظور ارزیابی صفات گیاهی شامل ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه (گرم) در پنج بونه از هر ژنوتیپ به‌طور تصادفی یادداشت‌برداری و میانگین‌گیری شد. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، تمام بوته‌های کرت با کمباین مخصوص آزمایش‌های برداشت شدند و دانه‌های به‌دست آمده با ترازوی دقیق توزین گردید و پس از تبدیل، به‌عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد. برای تعیین درصد روغن ژنوتیپ‌ها از روش سوکسله به‌وسیله حلال پترولیوم بنزن استفاده شد. پس از تعیین درصد روغن، از حاصل ضرب آن در عملکرد دانه، عملکرد روغن محاسبه شد. صفات روز تا شروع گلدهی (بر حسب تعداد روز از اولین آبیاری تا ۱۰ درصد گلدهی بوته‌های هر کرت) و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (بر حسب تعداد روز از اولین آبیاری تا تغییر رنگ ۵۰ درصد خورجین‌های ساقه اصلی) نیز یادداشت برداری گردید.

تجزیه و تحلیل آماری:

ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف–سیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 (SPSS, 2010) مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس به‌منظور مطالعه روابط بین صفات مختلف و مقایسه ژنوتیپ‌ها از روش‌های گرافیکی بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) استفاده گردید.

روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait)

در این روش ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش بر اساس رابطه زیر است (Zabet, 2017).

$$\frac{T_{ij}-\overline{T_j}}{S_j}=\lambda_1\xi_{i1}\tau_{j1}+\lambda_2\xi_{i2}\tau_{j2}+\varepsilon_{ij}$$

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

در رابطه فوق T_{ij}، ارزش میانگین ژنوتیپ i برای صفت j، $\overline{T_j}$، ارزش میانگین صفت j روی همه میانگین‌ها، S_j، انحراف معیار صفت j بین میانگین ژنوتیپ‌ها، ξ_{i2} و λ_2 به‌ترتیب مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی اول و دوم، λ_1 و ξ_{i1}، به‌ترتیب مقادیر PC_1 و PC_2 برای ژنوتیپ i، τ_{j1} و τ_{j2} به‌ترتیب مقادیر PC_1 و PC_2 برای صفت j و ε_{ij} باقیمانده مربوط به مدل ژنوتیپ i ام برای صفت jام، را نشان می‌دهند.

روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)

از آنجایی‌که صفات مورد بررسی دارای واحدها و مقیاس‌های متفاوتی بودند، بنابراین در ابتدا استانداردسازی داده‌ها جهت از بین بردن واحدها با استفاده از رابطه زیر صورت گرفت.

$$P_{ij} = \frac{T_{ij} - \overline{T_j}}{S_j}$$

در رابطه فوق، P_{ij} عدد استانداردشده ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد–صفت j، T_{ij} داده اولیه ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد–صفت j، $\overline{T_j}$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها برای برای ترکیب عملکرد–صفت j و S_j انحراف معیار ترکیب عملکرد–صفت j در همه ژنوتیپ‌ها است. در ادامه به‌منظور مطالعه روابط بین صفات مختلف و مقایسه ژنوتیپ‌ها از روش GYT biplot استفاده گردید که در این روش ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش بر اساس رابطه زیر است (Yan & Fregeau-Reid, 2018).

$$P_{ij} = \left(d\lambda_1^{\alpha}\zeta_{i1}\right)\left(\lambda_1^{1-\alpha}\tau_{1j}/d\right) + \left(d\lambda_2^{\alpha}\zeta_{i2}\right)\left(\lambda_2^{1-\alpha}\tau_{2j}/d\right) + \varepsilon_{ij}$$

در رابطه بالا ζ_{i1} و ζ_{i2} به‌ترتیب مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) برای ژنوتیپ i، τ_{1j} و τ_{2j} به‌ترتیب مقادیر ویژه PC1 و PC2 برای ترکیب عملکرد–صفت j، λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر منفرد مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، ε_{ij} آثار باقیمانده مدل، α فاکتور تقسیم‌بندی مقادیر منفرد، زمانی که $\alpha=1$ (برای مثال SVD=1 در GGEBiplot)، بای‌پلات بر ژنوتیپ‌ها متمرکز شده و برای مقایسه ژنوتیپ‌ها سودمند است، در صورتی‌که $\alpha=0$ (SVD=2)، بای‌پلات ترکیب عملکرد–صفت متمرکز شده و برای نمایش همبستگی بین ترکیبات عملکرد–صفت سودمند است. روابط ژنوتیپ × ترکیب عملکرد–صفت از انتخاب α تأثیر نگرفته است. مقیاس d طوری انتخاب شده است که طول بلندترین بردار در بین ژنوتیپ‌ها با طول آن در بین ترکیب عملکرد–صفت برابر باشد.

بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) با رسم $d\lambda_1^{\alpha}\zeta_{i1}$ در مقابل $d\lambda_2^{\alpha}\zeta_{i2}$ برای ژنوتیپ‌ها و $\lambda_1^{1-\alpha}\tau_{1j}/d$ در مقابل $\lambda_2^{1-\alpha}\tau_{2j}/d$ برای ترکیب عملکرد–صفت بدست آمد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای آماری SAS ver 9.1 و GGEbiplot استفاده گردید (SAS, 2011).

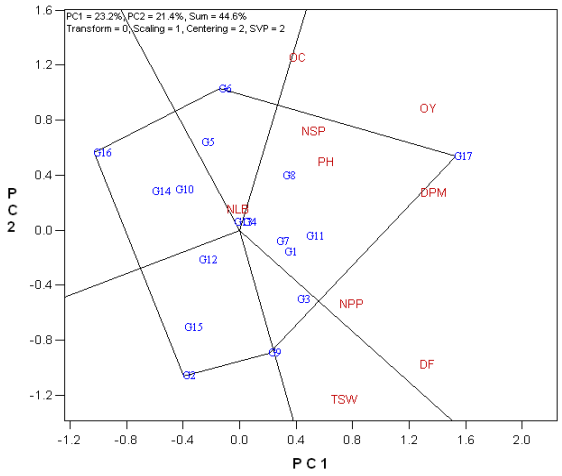
نتایج و بحث

بررسی عملکرد روغن ژنوتیپ‌های کلزا مورد مطالعه نشان داد که میانگین عملکرد روغن ژنوتیپ‌ها از ۶۰۴ (برای ژنوتیپ G2) تا ۱۳۱۲ (برای ژنوتیپG17) کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد روغن مربوط به ژنوتیپ‌های G17 و G11 به‌ترتیب با میانگین ۱۳۱۲ و ۱۱۵۵ کیلوگرم در هکتار بود. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های G2 و G15 به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۶۰۴ و ۷۰۸ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد روغن را تولید کردند (جدول ۲).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot)

در میان روش‌های متعدد برای ترسیم بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot GT)، نمایش چندضلعی کمک می‌کند که ژنوتیپ‌هایی که دارای بالاترین مقدار برای یک صفت یا بیشتر صفات می‌باشند، تشخیص داده شوند. این روش بهترین راه را برای تجسم و تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات را مهیا می‌کند. ژنوتیپ‌ها در رئوس چند ضلعی یا در داخل چند ضلعی قرار می‌گیرند. بر اساس شکل ۱ پنج ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۶، ۱۷، ۹ و ۲) در رئوس چندضلعی قرار گرفته‌اند. از آنجایی‌که این ژنوتیپ‌ها بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها برای بعضی از صفات یا همه صفات محسوب می‌شوند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ شماره ۱۷ بالاترین مقدار عملکرد دانه را دارا بود، همچنین این ژنوتیپ دارای بالاترین مقدار روز تا شروع گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و درصد روغن را در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بود (شکل ۱). همچنین ژنوتیپ شماره ۶ بیشترین مقدار را برای صفت تعداد شاخه فرعی دارا بود. همچنین ژنوتیپ شماره ۹ بالاترین مقدار وزن هزاردانه را به‌خود اختصاص داد (شکل ۱). در پژوهش‌های دیگری بر اساس نتایج شکل ۲ جهت ارزیابی و انتخاب ارقام مختلف از لحاظ چند صفت از روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) استفاده شده است و روش مذکور را ابزاری مناسب برای ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ چند صفت معرفی کرده‌اند (Dehghani *et al.*, 2008; Gholizadeh & Dehghani, 2016; Gholizadeh *et al.*, 2022; Rubia *et al.*, 2004; Sabaghnia & Janmohammadi, 2016).

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]



شکل ۱- نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ × صفت ژنوتیپ‌های کلزا. DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

Figure 1. Polygon view of the genotype × trait biplot of rapeseed genotypes. DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield

جدول ۱- شماره، نام و شجره ژنوتیپ‌های کلزا مورد بررسی

Table 1. Code, name and pedigree of the tested sunflower genotypes

شماره (Number)	کد (Code)	نام/شجره (Name)
1	G1	Comet*RGS003
2	G2	Delghan*Comet
3	G3	Comet*Shiralee
4	G4	Delghan*Kabel
5	G5	RGS003*Licord
6	G6	Delghan*Licord
7	G7	RGS003*Delghan
8	G8	Delghan*RGS003
9	G9	RGS003*Shiralee
10	G10	Shiralee*RGS003
11	G11	Comet*Amica
12	G12	Kabel*Shiralee
13	G13	Delghan*Amica
14	G14	Delghan*Opera
15	G15	Shiralee*Delghan
16	G16	Gh/37/85-86/RGS003
17	G17	Shiralee

جدول ۲- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۱۷ ژنوتیپ کلزا

Table 2. Average of measured traits in 17 rapeseed genotypes

ژنوتیپ	DF	DPM	PH (cm)	NLB	NPP	NSP	TSW (g)	OC (%)	OY (kg.h^{-1})
G1	116	180	125	6	113	17	3.99	41.37	1050
G2	115	178	136	6	101	18	4.47	27.63	604
G3	116	180	145	6	100	16	4.41	38.53	922
G4	114	177	135	7	100	16	4.5	46.63	1085
G5	112	177	153	7	111	17	3.67	44.10	988
G6	113	180	146	6	84	18	4.43	45.97	974
G7	116	179	132	6	99	18	4.09	43.67	903
G8	115	179	141	6	96	18	4.23	51.13	997
G9	116	179	122	6	111	14	4.63	40.73	949
G10	112	177	139	6	110	15	3.9	46/73	882
G11	116	178	137	6	101	16	4.5	48/33	1155
G12	115	178	139	6	93	16	3.93	39/67	782
G13	115	181	126	7	114	15	3.8	47/57	839
G14	113	177	114	7	93	19	4.00	43.63	893
G15	115	178	139	6	89	13	4.29	39.35	708
G16	111	179	129	5	55	15	3.91	45.63	868
G17	116	186	148	6	97	18	4.28	44.37	1312
LSD %5	4.11	5.61	19.38	1.27	30.63	5.58	0.78	8.27	388.67
LSD %1	5.53	7.55	26.05	1.71	41.18	7.50	1.05	11.12	552.53
Mean	114	179	136	6	98	16	4	43	936
Standard Deviation	1.68	2.16	10.05	0.50	14.14	1.57	0.33	5.36	165.56

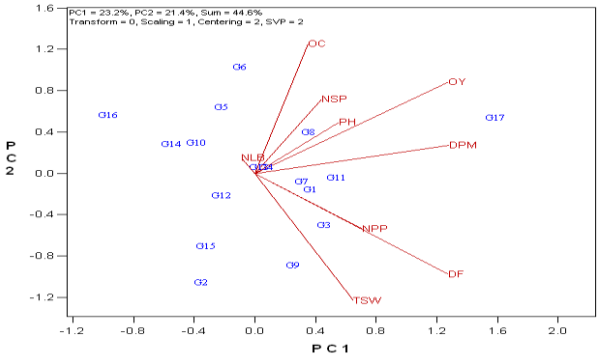
DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

بررسی رابطه بین صفات با استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait)

یک روش دیگر برای ترسیم بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait)، نمایش برداری صفات است. این بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است زیرا کسینوس زاویه بین بردارهای هر دو صفت ضریب همبستگی بین آن‌ها را برآورد می‌کند. اگر زاویه بین بردارهای دو صفت کمتر از ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی مثبت، اگر زاویه بیشتر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی منفی و اگر زاویه ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی وجود ندارد. بر اساس نتایج نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot GT) (شکل ۲)، صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و درصد روغن همبستگی مثبتی را با عملکرد روغن نشان دادند (شکل ۲). مثبت بودن بودن ضریب همبستگی صفات ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با عملکرد روغن نشان‌گر آن است که با افزایش ارتفاع بوته و همچنین طول دوره رسیدگی گیاه، عملکرد روغن افزایش داشته است. همچنین نتایج نشان داد که بین عملکرد روغن و تعداد دانه در غلاف ارتباط مثبتی وجود داشت (شکل ۲).



شکل ۲- نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × صفت ژنوتیپ‌های کلزا. DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

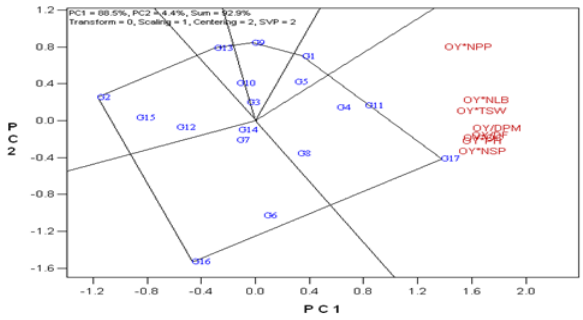
Figure 2. Polygon view of the genotype × trait biplot of rapeseed genotypes. DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield

صفت تعداد دانه در غلاف از اجزای عملکرد کلزا محسوب می‌شود و توارث‌پذیری نسبتاً بالایی دارد، بنابراین گزینش بر اساس این صفت ممکن است راه مطمئن و سریعی برای غربال کردن جوامع گیاهی وبهبود عملکرد باشد. در توافق با پژوهش حاضر سایر محققان نیز ارتباط مثبتی را بین صفت تعداد دانه در غلاف با عملکرد دانه گزارش کرده‌اند و آن‌ها گزینش غیرمستقیم برای عملکرد دانه را از طریق صفت تعداد دانه در غلاف را مؤثر دانسته‌اند (Majidi *et al.*, 2016; Moradi *et al.*, 2017; Soltani Howyzeh *et al.*, 2018).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)

نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد× صفت (genotype by yield × trait biplot) برای ترکیب عملکرد روغن با صفات مورد بررسی در ۱۷ ژنوتیپ کلزا در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نمایش بای‌پلات چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد× صفت (genotype by yield × trait biplot) نشان داد که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۸۸/۵ و ۴/۴ درصد و در مجموع ۹۲/۹ درصد از کل تنوع داده‌های استاندارد شده را توجیح کرد (شکل ۳). این بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۱ و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۴ و ۸ در ترکیب عملکرد روغن با همه صفات مورد بررسی بهترین بودند (شکل ۳). در پژوهش‌های دیگری جهت ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف از لحاظ چند صفت از روش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) استفاده شده است و روش مذکور را ابزاری گرافیکی فوق‌العاده قوی جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت معرفی کرده‌اند (Mohammadi, 2019; Rahmati, 2020; Yan & Frégeau-Reid, 2018; Yan *et al.*, 2019).

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

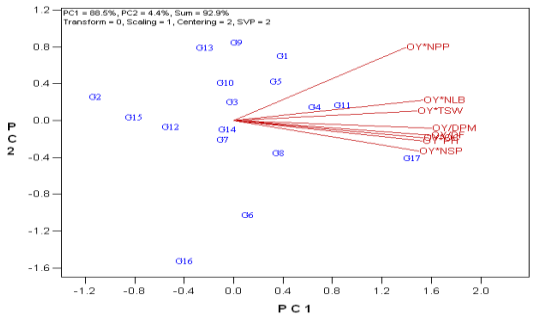


شکل ۳- نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت ژنوتیپ‌های کلزا. DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

Figure 3. Polygon view of the genotype × yield × trait biplot of rapeseed genotypes. DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield

ارزیابی همبستگی بین ترکیبات عملکرد- صفت

بر اساس نمایش برداری ژنوتیپ در عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)، همبستگی مثبتی بین کلیه ترکیبات عملکرد–صفت مشاهده شد (شکل ۴). با توجه به اینکه عملکرد به‌عنوان یک مؤلفه ثابت در کلیه ترکیبات عملکرد–صفت وجود دارد، بنابراین همبستگی مثبت بین ترکیبات مختلف عملکرد–صفت دور از انتظار نیست. در مطالعه‌ای (Yan *et al.*, 2019) مشخص گردید که همبستگی مثبت بین ترکیبات عملکرد–صفت یکی از ویژگی‌های مهم بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) در مقایسه با بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot GT) می‌باشد. نتایج نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد×صفت (genotype by yield × trait biplot) نشان داد که همبستگی مثبت بالایی بین OY×NLB، OY×NSP، OY×TSW، OY×PH، OY×OC، OY/DF و OY/DPM مشاهده شد که نشان‌دهنده سودمندی ترکیب تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، درصد روغن، ارتفاع بوته و زمان رسیدن (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی) با عملکرد روغن برای افزایش تولید ژنوتیپ‌ها می‌باشد. از نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) به‌منظور ارزیابی همبستگی صفات در محصولات مختلف از قبیل یولاف (Yan & Frégeau-Reid, 2018)، گندم دوروم (Mohammadi, 2019)، جو زراعی (Karahan & Akgun, 2020)، بادام زمینی (Mahmoud *et al.*, 2020) و گندم بهاره (Merrick *et al.*, 2020) نیز استفاده شده است.



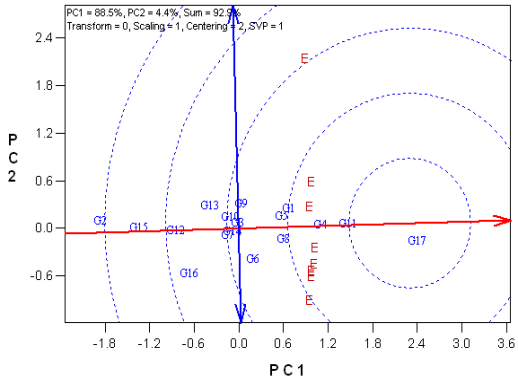
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

شکل ۴- نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت ژنوتیپ‌های کلزا. DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

Figure 4. Polygon view of the genotype × yield × trait biplot of rapeseed genotypes. DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield

مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل

کاربرد دیگر روش بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد×صفت (genotype by yield × trait biplot)، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل فرضی است (شکل ۵). ژنوتیپ ایده‌آل فرضی، ژنوتیپی است که از نظر مکانی به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین ترکیبات عملکرد–صفت ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد (Yan & Kang, 2003). ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌هایی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشند، ژنوتیپ مطلوب یا از نظر همه ترکیبات عملکرد–صفت محسوب می‌شود. در شکل ۵ ، ژنوتیپ شماره ۱۷ و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۴ کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارند و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه شناسایی شدند. مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای محصولات زراعی مختلف مثل ذرت دانه‌ای (Shiri & Bahrampour, 2015)، ارزن (Saleem *et al.*, 2016) و گندم نان (Jafari & Farshadfar, 2018) گزارش شده است.

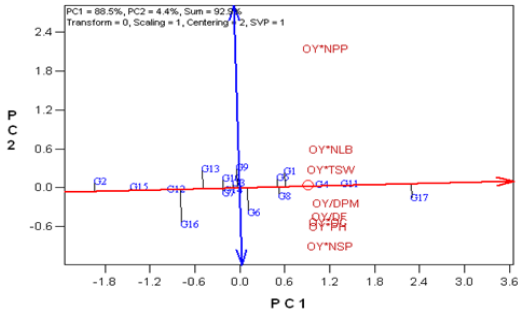


شکل ۵- نمایش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در کلزا

Figure 5. The view of the genotype × yield × trait biplot to compare the studied genotypes with the ideal genotype in rapeseed

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد–صفت و شاخص ژنوتیپ درعملکرد×صفت (genotype by yield × trait biplot)

در این مطالعه از نمودار مختصات تستر متوسط (Average Tester Coordinate; ATC) به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد–صفت استفاده گردید (شکل ۶). این نمودار دارای دو محور افقی و عمودی است. ژنوتیپ‌ها در طول محور افقی ATC (محوری که با دایره و فلش مشخص شده است) بر اساس ترکیبات عملکرد–صفت رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده میانگین ترکیبات عملکرد–صفت بالاتر است.



شکل ۶- مختصات تستر متوسط (ATC) بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت جهت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس برتری کلی و تعیین نقاط قوت و ضعف آن‌ها. DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

Figure 6. Average tester coordinate (ATC) view of the genotype × yield × trait biplot to rank the genotypes based on overall superiority and their strengths and weaknesses. DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

نتایج نشان داد که ژنوتیپ شماره ۱۷ و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۴ به‌ترتیب با قرار گرفتن در جهت محور افقی ATC، بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیبات عملکرد–صفت بودند و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۵ به‌ترتیب با قرار گرفتن در انتهای محور افقی ATC، ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۵). از نمودار مختصات تستر متوسط (ATC) به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد–صفت در یولاف (Yan & Frégeau-Reid, 2018; Yan *et al.*, 2019)، گندم دوروم (Kendal, 2019) و گندم نان (Rahmati, 2020; Rahmati *et al.*, 2020; Tsenov *et al.*, 2020) نیز استفاده شده است. علاوه بر نمودار مختصات تستر متوسط (ATC)، ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس شاخص ژنوتیپ در عملکرد×صفت (genotype by yield × trait biplot) نیز رتبه‌بندی شدند. به این‌صورت که ژنوتیپ‌های با مقادیر بالا و پایین شاخص ژنوتیپ در عملکرد×صفت (genotype by yield × trait biplot) به‌ترتیب به‌عنوان بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بنابراین بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۱۱ و ۴ به‌ترتیب با شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) برابر با ۲/۲۲، ۱/۳۳ و ۱/۰۱ به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۵ به‌ترتیب با مقادیر شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) برابر با ۱/۷۸– و ۱/۰۱– به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۳). انتخاب بر اساس شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) از انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین جلوگیری می‌کند، زیرا این شاخص بر این مفهوم استوار است که عملکرد مهم‌ترین صفت است و دیگر صفات تنها زمانی مهم هستند که با عملکرد بالا همراه باشند. به‌عبارت دیگر برتری یک ژنوتیپ از طریق ارزش آن از نظر ترکیب عملکرد با دیگر صفات سنجیده می‌شود. در حالیکه که انتخاب بر اساس شاخص‌های کلاسیک، وزن یک صفت ثابت و از سطوح صفات دیگر مستقل است و در نتیجه ممکن است که ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که از نظر سایر صفات برتر بوده ولی از عملکرد پایینی برخوردار باشند (Rahmati, 2020). برخی محققین (Kendal, 2019; Rahmati *et al.*, 2020) از روش بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم استفاده کردند و گزارش کردند که عملکرد دانه تنها صفتی است که می‌تواند کارایی یک ژنوتیپ را تعیین کند و صفات دیگر مانند زودرسی و حتی صفات کیفی، تنها زمانی برای به‌نژادگر سودمند و ارزشمند هستند که با مقادیر بالای عملکرد همراه باشند.

جدول ۳– مقادیر ژنوتیپ × عملکرد × صفت (GYT) استاندارد شده در ۱۷ ژنوتیپ کلزا
Table 3. Standardized genotype × yield × trait (GYT) values in 17 rapeseed genotypes

GYT	OY*OC	OY*TSW	OY*NSP	OY*NPP	OY*NLB	OY*PH	OY/DPM	OY/DF	ژنوتیپ
0/62	0/26	0/42	0/60	1/23	0/50	0/15	0/98	0/78	G1
-1/78	-2/46	-1/49	-1/41	-1/45	-1/83	-1/72	-1/88	-1/98	G2
-0/04	-0/54	0/26	-0/23	0/00	-0/12	0/24	0/14	-0/06	G3
1/01	0/97	1/30	0/68	0/78	1/15	0/75	1/33	1/12	G4
0/52	0/28	-0/31	0/26	0/84	0/97	0/90	0/68	0/58	G5
0/15	0/40	-0/66	0/64	-0/48	-0/22	0/57	0/48	0/45	G6
-0/16	-0/14	-0/21	0/34	-0/12	-0/69	-0/30	0/05	-0/17	G7
0/55	1/03	0/46	0/63	0/19	0/41	0/50	0/67	0/48	G8
0/02	-0/22	0/68	-0/55	0/64	-0/46	-0/43	0/35	0/15	G9
-0/16	0/04	-0/54	-0/54	0/23	-0/17	-0/19	-0/02	-0/11	G10
1/33	1/52	1/71	0/73	1/13	1/22	1/19	1/73	1/44	G11
-0/86	-1/00	-1/00	-0/85	-0/90	-0/84	-0/71	-0/70	-0/88	G12
-0/42	-0/10	-0/86	-0/88	0/16	0/09	-0/83	-0/42	-0/50	G13
-0/14	-0/19	-0/37	0/41	-0/44	0/44	-0/99	0/05	-0/06	G14
-1/32	-1/32	-1/05	-1/79	-1/37	-1/42	-1/11	-1/20	-1/35	G15
-0/70	-0/30	-0/59	-0/64	-2/10	-1/14	-0/59	-0/16	-0/11	G16
2/22	1/77	2/25	2/60	1/66	2/12	2/56	2/39	2/40	G17

DF: روز تا گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، NLB: تعداد شاخه فرعی، NPP: تعداد غلاف در بوته، NSP: تعداد دانه در غلاف، TSW: وزن هزاردانه، OC: درصد روغن، OY: عملکرد روغن

DF: days to flowering starting, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, NLB: number of lateral branches, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TSW: 1000-seed weight, OC: oil content, OY: oil yield.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه برای بررسی روابط میان صفات و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ چند صفت در کلزا از روش‌های بای‌پلات بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) استفاده شد. نتایج نشان داد که روش و بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نسبت به روش بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (genotype × trait biplot) ابزار مناسب‌تری برای بررسی روابط میان صفات و همچنین ارزیابی، مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از لحاظ چند صفت بود. بر اساس نمایش مختصات تستر متوسط (ATC) بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot)، ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۱ و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۴ و ۸ در ترکیب عملکرد روغن با همه صفات مورد بررسی بهترین بودند. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نیز نشان داد که ژنوتیپ شماره ۱۷ و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۴ بهترین ترکیب عملکرد روغن با صفات مورد ارزیابی را داشتند. همچنین نتایج نمایش برداری بای‌پلات ژنوتیپ × عملکرد × صفت (genotype by yield × trait biplot) نشان داد که همبستگی مثبت بالایی بین OY×NLB، OY×NSP، OY×TSW، OY×PH، OY×OC، OY/DF و OY/DPM مشاهده شد که نشان‌دهنده سودمندی ترکیب تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، درصد روغن، ارتفاع

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

بوته و زمان رسیدن (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی) با عملکرد روغن برای افزایش تولید ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه ملی به شماره 0-39-15-085-991299 می‌باشد. بدینوسیله از همکاری صمیمانه مؤسسه تحقیقات دیم کشور و مراکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان‌های گلستان و ایلام سپاسگزاری می گردد.

References

Abd-El Hamid, E. A. M., Aglan, M. A., & Hussein, E. M. A. (2019). Modified method for the analysis of genotype by trait (GT) biplot as a selection criterion in wheat under water stress conditions. *Egyptian Journal of Agronomy, 41*, 293-312.

Bahram, A., Yazdandust Hamedani, M., Rezaei Zad, A., Azizinia, S., Khiyavi, M., Shirani Rad, A. H., Javidfar, F., Pasban Eslam, B., Mostafavi Rad, M., Shariati, F., Rahmanpour Ozan, S., Alem Khumaram, M. H., Majd Nasiri, B., Amiri Oghan, H., & Zareei Siahbidi, A. (2019). Nima, new winter oilseed rape variety for cultivation in the cold and moderately cold regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 8*, 61-76. [In Persian]

Baljani, R., Shekari, F., & Sabaghnia, N. (2015). Biplot analysis of trait relations of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in Iran. *Crop Research, 50*, 63-73.

Boureima, S., & Abdoua, Y. (2019). Genotype by yield×trait combination biplot approach to evaluate sesame genotypes on multiple traits basis. *Turkish Journal of Field Crops, 24*, 237-244.

Cruz, O. P., Oliveira, T. R. A., Gomes, A. B. S., Sant'Anna, C. Q. S. S., Gravina, L. M., & Rocha, R. S. (2020). Selection of *cowpea lines* for multiple traits by GYT biplot analysis. *Journal of Agricultural Studies, 8,* 124-137.

Dehghani, H., Omidi, H., & Sabaghnia, N. (2008). Graphic analysis of relation of rapeseed using the biplot method. *Agronomy Journal, 100,* 1443-1449.

Gholizadeh, A., & Dehghani, H. (2016). Graphic analysis of trait relations of Iranian bread wheat germplasm under non-saline and saline conditions using the biplot method. *Genetika, 48,* 473-486.

Gholizadeh, A., Ghaffari, M., & Shariati, F. (2021). Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. *Journal of Crop Breeding, 13(38),* 116-123. [In Persian]

Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Zareei Siahbidi, A., & Rezaeizad, A. (2022). Multi-trait selection in sunflower hybrids using double and triple biplots. *Journal of Crop Breeding, 14 (43),* 29-41. [In Persian]

Jafari, T., & Farshadfar, E. (2018). Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum L.*) by GGE biplot. *Cereal Research, 8,* 199-208. [In Persian]

Karahan, T., & Akgun, I. (2020). Selection of barley (*Hordeum vlugare*) genotypes by GYT (Genotype × Yield × Trait) biplot technique and its comparison with GT (Genotype × Trait). *Applied Ecology and Environmental Research, 18,* 1347-1359.

Kendal, E. (2019). Comparing durum wheat cultivars by genotype× yield× trait and genotype× trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research, 79,* 512-522.

Mahmoud, M., Hussein, E., Aboelkassem, K., & Ibrahim, H. E. (2020). Graphical presentation of some peanut genotypes by comparing two patterns of biplot analysis. *Journal of Plant Production, 11,* 697-705.

Majidi, M. M., Jafarzadeh Ghahdarijani, M., Rashidi, F., and Mirlohi, A. (2016). Relationship of Different Traits in Rapeseed (*Brassica napus* L) Cultivars under Normal and Drought Conditions. *Journal of Crop Breeding, 8(17),* 65-55. [In Persian]

Merrick, L. F., Glover, K. D., Yabwalo, D., & Byamukama, E. (2020). Use of genotype by yield×trait (GYT) analysis to select hard red spring wheat with elevated performance for agronomic and disease resistance traits. *Crop Breeding, Genetics and Genomics, 2,* 1-18.

Mohammadi, R. (2019). Genotype by yield× trait biplot for genotype evaluation and trait profiles in durum wheat. *Cereal Research Communications, 47,* 541-551.

Mohammadi, R., Dehghani, H., & Karimzadeh, G. (2015). Graphic analysis of trait relations of cantaloupe using the Biplot method. *Journal of Plant Production Research, 21*, 43-62. [In Persian]

Moradi, M., Soltani Hoveize, M., & Shahbazi, E. (2017). Study the relations between grain yield and related traits in canola by multivariate analysis. *Journal of Crop Breeding, 9(23),* 187-194. [In Persian]

Rahimi, M., Asadi-Gharneh, H. A., & Sabaghnia, N. (2019). Evaluation of Some Traits in Local Iranian Quince (*Cydonia Oblonga* Miller) Genotypes. *International Journal of Fruit Science, 19,* 397-412.

Rahmati, M. (2020). Assessment of relationships among traits and selection of superior bread wheat genotypes using genotype by yield × trait biplot method. *Cereal Research, 10,* 61-72. [In Persian]

Rahmati, M., Hosseinpour, T., & Ahmadi, A. (2020). Assessment of interrelationship between agronomic traits of wheat genotypes under rain-fed conditions using double and triple biplots of genotype, trait and yield. *Iranian Dryland Agronomy Journal, 9,* 1-20. [In Persian]

Rubio, J., Cubero, J., Martin, L., Suso, M., & Flores, F. (2004). Biplot analysis of trait relations of white lupin in Spain. *Euphytica, 135,* 217-224.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]

Sabaghnia, N., & Janmohammadi, M. (2016). Biplot analysis of silicon dioxide on early growth of sunflower. *Plant Breeding and Seed Science, 73,* 87-98

Sabaghnia, N., Mohebodini, M., & Janmohammadi, M. (2016). Biplot analysis of trait relations of spinach *(Spinacia oleracea* L.*)* landraces. *Genetika, 48,* 675-690.

Saleem, R., Ashraf, M., Khalil, I. A., Anees, M. A., Javed, H. I. & Saleem, A. (2016). GGE Biplot: stability a window based graphical analysis of yield stability and adaptability of millet cultivars across Pakistan. *Academia Journal of Biotechnology, 4(5),* 186-193.

SAS, Inc. (2011). Base SAS 9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.

Sharifi, P., & Ebadi, A. A. (2018). Relationships of rice yield and quality based on genotype by trait (GT) biplot. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 90,* 343-356.

Shiri, M. R., & Bahrampour, T. (2015). Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize *(Zea mays* L.*)* hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research, 5,* 83-94. [In Persian]

Soltani Howyzeh, M., Moradi, M., Saki Nezhad, T., Zaker Nezhad, S., & Etaa, A. (2018). Evaluation of the relationships among yield and related traits in spring canola cultivars using path analysis. *Journal of Crop Breeding, 10(27),* 125-134. [In Persian]

SPSS, Inc. (2010). SPSS 20. Users Guied. Chicago, IL, USA.

Tsenov, N., Gubatov, T., & Yanchev, I. (2020). Genotype selection for grain yield and quality based on multiple traits of common wheat *(Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications, 13,* 1-6.

Yan, W., & Frégeau-Reid, J. (2018). Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science, 48,* 417-423.

Yan, W., Frégeau-Reid, J., Mountain, N., & Kobler, J. (2019). Genotype and management evaluation based on Genotype by Yield× Trait (GYT) analysis. *Crop Breeding, Genetics and Genomics, 1,* 1-21.

Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticistsand agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Zabet, M. (2017). Identification of superior genotypes of Rapeseed by GTBiplot and GGEBiplot methodology in normal and stressed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science, 48,* 207-220. [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.76]