Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 2, 2026 p: 37-48

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Indigenous Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Accessions from the National Plant Gene Bank of Iran for Agronomic Traits and Seed Yield

Mohamad Taghi Feyzbakhsh[1], Hamid Reza Fanai[2] and Effat Pravar[3]

1- Associate Professor, Department of Field and Horticultural Sciences Crops Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran, (Corresponding author: Feyz_54@yahoo.com)
2- Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
3- Department of Field and Horticultural Sciences Crops Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran

Received: 22 September, 2025 Revised: 15 December, 2025 Accepted: 20 January, 2026

Extended Abstract

Background: Medicinal plants are one of the important and valuable plant genetic resources in Iran, which can be considered and used in planting patterns in areas with environmental stresses and low-input agricultural systems due to their low water consumption and tolerance to environmental stresses under the current conditions. Unfortunately, due to climatic limitations (drought and salinity) and the effects of climate change, excessive harvesting of these reserves, and the increasing demand for medicinal plants in the world to meet the needs of various sectors (food, pharmaceutical, industrial, and cosmetic industries), these plants have been subjected to genetic erosion, which has caused concern among ecologists. Therefore, it is necessary to protect them in their natural habitats and to consider their cultivation and breeding based on scientific principles in agricultural fields. Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual, self-pollinating plant native to semi-arid regions and is very important in terms of its oil and compounds. It is native to West Asia and is reported to have originated in the Middle East and the Indian subcontinent. Black cumin is a long-day plant and is usually planted in March. This plant is used in the treatment of depression, kidney failure, diabetes, stomach diseases, headaches, and toothaches, and has antibiotic, immune system stimulation, antimicrobial, anticancer, gum strengthening, and lactation effects. Black cumin is one of the valuable plant genetic resources in Iran, possessing high genetic diversity. This diversity among local landraces of black cumin can serve as a valuable source for selecting superior populations in breeding programs aimed at improving quantitative and qualitative traits, such as seed and oil yield. The wide geographical distribution of this plant across various regions of Iran—including Golestan, Isfahan, Yazd, Chaharmahal, and Bakhtiari, Fars, Hamedan, Khuzestan, Khorasan, Baluchistan, Tehran, and Arak—reflects its long history of domestication and adaptation to diverse environments. Therefore, this study was conducted to evaluate the genetic samples of black cumin conserved in the National Plant Gene Bank of Iran to identify desirable genotypes based on agronomic traits and seed yield.

Methods: To evaluate the genetic samples of black cumin conserved in the National Plant Gene Bank of Iran (36 accessions obtained from the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj), an experiment was conducted during the 2021–2022 cropping season at the Gorgan Agricultural Research Station, Golestan Province, Iran. Each ecotype was planted in four lines of 3 m long and 30 cm spacing between lines. Pre-planting agricultural operations included plowing, spreading fertilizer, leveling, and planting. The required fertilizer was added to the soil based on soil tests. Phosphorus fertilizer from triple superphosphate was added to the soil when sowing seeds. Urea fertilizer was added to the soil in two stages (at the eight-leaf stage and at the stem stage). Planting was done by labor. The experiment followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The studied traits included days to 50% flowering, days to physiological maturity, plant height, the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, and the harvest index. After data collection, analysis of variance (ANOVA) was performed according to the experimental design to determine the significance of genotype effects on the studied traits. Statistical analyses were carried out using SAS 9.1, and mean comparisons with the control population (TN-82-747)

Copyright ©2026. Feyzbakhsh et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

were performed using the LSD test at the 0.05 probability level. Graphical analysis of genotype × trait relationships was conducted using GGE-biplot software to better understand the interrelationships among traits and genotypes.
Results: The results revealed considerable genetic variation among the studied samples for traits, including days to 50% flowering, days to physiological maturity, plant height, the number of seeds per capsule, thousand-seed weight, biological yield, and the harvest index. Seed yield ranged from 1,875 kg ha^{-1} (TN-82-748) to 1,979 kg ha^{-1} (TN-59-48). Genotypes G2, G3, G6, G7, G8, G9, G12, G14, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G24, G25, G26, G27, G30, and G35 showed higher values for days to maturity, days to 50% flowering, biological yield, and plant height, indicating lower desirability. In contrast, genotypes G4, G10, G11, G13, G15, G28, G32, G33, G34, and G36 were more desirable due to earliness and higher seed yields. Correlation analysis indicated positive correlations among days to maturity, days to 50% flowering, plant height, and biological yield. The number of seeds per capsule, thousand-seed weight, and the harvest index exhibited positive correlations with seed yield. However, the days to maturity trait was negatively correlated with both the harvest index and seed yield. In other words, late-maturing genotypes tended to produce more biomass and were more susceptible to lodging at the end of the growing season, which reduced both seed yield and the harvest index.
Conclusion: G4, G10, G11, G13, G15, G28, G32, G33, G34, and G36 were identified as more desirable genotypes due to their earliness and higher seed yields. Among them, G36 and G32 demonstrated the greatest superiority in terms of seed yield and the harvest index, and can be considered promising genotypes for further evaluations in subsequent experiments.

Keywords: Earliness, Genotype × trait biplot, Genetic diversity, Trait correlation

How to Cite This Article: Feyzbakhsh, M. T., Fanai, H. R., & Pravar, E. (2026). Evaluation of Indigenous Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Accessions from the National Plant Gene Bank of Iran for Agronomic Traits and Seed Yield. *J Crop Breed,* 18(2), 37-48. DOI: 10.61882/jcb.2026.1610

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی توده‌های بومی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران از نظر صفات زراعی و عملکرد دانه

محمدتقی فیض‌بخش[1]، حمیدرضا فنایی[2] و عفت پرآور[3]

۱- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: Feyz_54@yahoo.com)

۲- استاد، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- کارشناس، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

صفحه: ۳۷ تا ۴۸

چکیده مبسوط

مقدمه وهدف: گیاهان دارویی یکی از ذخایر ژنتیکی گیاهی مهم و ارزشمند در کشور هستند که در شرایط موجود به‌دلیل کم‌آب‌بر بودن و تحمل به تنش‌های محیطی می‌توانند در الگوی کاشت مناطق دارای تنش محیطی و نظام‌های زراعی کم‌نهاده موردتوجه و استفاده قرار گیرند. متاسفانه، گیاهان دارویی از جمله سیاهدانه به‌دلیل محدودیت‌های اقلیمی (خشکی، شوری) و اثرات ناشی از پدیده تغییر اقلیم، برداشت‌های مفرط و غیراصولی از این ذخایر و افزایش تقاضا برای مصرف گیاهان دارویی در دنیا جهت رفع نیاز بخش‌های مختلف (صنایع غذایی، دارویی، صنعتی، آرایشی)، این گیاهان را در سیر فرسایش ژنتیکی قرار داده است که موجبات نگرانی اکولوژیست‌ها را فراهم نموده است. لذا ضرورت دارد تا ضمن حفاظت از آنها در رویشگاه‌های طبیعی، زراعت و پرورش آنها بر اساس یک اصول علمی در مزارع کشاورزی موردتوجه قرار گیرند. سیاهدانه به‌عنوان یکی از ذخایر ژنتیکی گیاهی مهم و با ارزش در کشور از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار است که این تنوع موجود در توده‌های بومی سیاهدانه می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای انتخاب جمعیت‌های برتر برای انجام برنامه‌ریزی کارهای اصلاحی در جهت بهبود صفات کمی و کیفی این گیاه با ارزش از جمله افزایش عملکرد دانه و روغن آن باشد. پراکندگی جغرافیایی این گیاه در نقاط مختلف ایران از جمله در گلستان، اصفهان، یزد، چهارمحال بختیاری، فارس، همدان، خوزستان، خراسان، بلوچستان، تهران و در اراک نشان از قدمت بالا و بومی بودن آن در مناطق مختلف است. لذا، این تحقیق با هدف ارزیابی نمونه‌های ژنتیکی سیاهدانه موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران وابسته به موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر جهت دستیابی به شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب از نظر صفات زراعی و عملکرد دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی نمونه‌های ژنتیکی سیاهدانه موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران (تعداد ۳۶ نمونه سیاهدانه دریافتی از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح بذر واقع در کرج) از نظر صفات زراعی و عملکرد دانه، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در استان گلستان، شهرستان گرگان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان، طراحی و اجرا گردید. صفات مورد بررسی شامل روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، و شاخص برداشت بود. پس از پایان عملیات اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری، تجزیه واریانس متناسب با طرح آزمایشی انجام و معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بر صفات موردنظر بررسی شد. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی به‌کمک نرم‌افزار SAS9.1 انجام گردید. برای مقایسه اختلاف نمونه‌های ژنتیکی با جمعیت شاهد (TN-82-747)، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح (احتمال$P < 0.05$) صورت گرفت. برای رسم نمودارها و تجزیه بای‌پلات از نرم‌افزار GGE-biplot استفاده شد. مطالعه گرافیکی روابط بین صفات و داده‌های ژنوتیپ × صفت برای درک بهتر صفات و رابطه بین ژنوتیپ‌ها و صفات استفاده گردید.

یافته‌ها: بین نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی تنوع خوبی از لحاظ صفات مورد بررسی (روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) وجود داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها برای عملکرد دانه نشان دادند که تنوع بالایی برای عملکرد دانه بین توده‌های مورد بررسی وجود داشت به‌طوری‌که عملکرد دانه از ۱۸۷۵ کیلوگرم در هکتار (توده TN-82-748) تا ۹۷۹/۱ (توده TN_59-48) کیلوگرم در هکتار در نوسان بود. با توجه به نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G2، G3، G6، G7، G8، G9 ، G12، G14، G16 G17، G18، G19، G20، G21، G22، G24، G25، G26، G27، G30، و G35 از نظر روز تا رسیدگی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها مقادیر بالاتری را نشان دادند که نشان دهنده مطلوبیت کم‌تر این ژنوتیپ‌ها است. همچنین، ژنوتیپ‌های G4، G10، G11، G13، G15، G28، G32، G33، G34 و G36 از نظر زودرسی مطلوبیت بیشتری داشتند و نیز عملکرد بالاتری را نشان دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، همبستگی مثبت بالایی بین روز تا رسیدگی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک وجود داشت. همچنین صفات تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، شاخص برداشت با عملکرد دانه همبستگی مثبتی داشت. بین صفات روز تا رسیدگی و شاخص برداشت همبستگی منفی شدیدی وجود داشت. بین روز تا رسیدگی و عملکرد دانه نیز همبستگی منفی مشاهده شد. به‌عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های دیررس به‌علت تولید بیومس زیاد و احتمال خوابیدگی بیشتر در شرایط انتهای فصل رشد عملکرد دانه کم‌تری داشتند که نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌های دیررس‌تر به‌علت تولید بیومس بیشتر، شاخص برداشت کمتری نیز خواهند داشت.

نتیجه‌گیری: ژنوتیپ‌های G4، G10، G11، G13، G15، G28، G32، G33، G34 و G36 با توجه به زودرس بودن و نیز عملکرد بالاتر مطلوبیت بیشتری از نظر این صفت داشتند. نتایج نشان دادند که ابتدا ژنوتیپ G36 و پس از آن G32 از نظر عملکرد دانه و شاخص برداشت برتری نشان دادند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات بعدی قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات ژنوتیپ × صفت، تنوع ژنتیکی، همبستگی صفات، زودرسی

مقدمه

سیاهدانه به‌عنوان یک محصول ادویه‌ای و دارویی یکی از گیاهان دارویی با اهمیت و باارزش است. سیاهدانه یکساله، خودگشن، و مخصوص نواحی نیمه‌خشک است که از نظر روغن و ترکیبات اهمیت بسیاری دارد (Dantuono *et al.*, 2002). این گیاه بومی غرب آسیا است که منشأ آن را خاورمیانه و شبه قاره هند گزارش کرده‌اند (Toncer & Kizil, 2004). سیاهدانه ترجیحاً گیاهی روزبلند است و زمان کاشت آن به‌طور معمول اسفندماه است (Zeinali *et al.*, 2019). این گیاه یکی از محصولات مهم دارویی است که

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

دانه‌های روغنی آن خواص دارویی فراوانی دارند (Tavakoli *et al*., 2017). بنابر اعلام مجری طرح گیاهان دارویی کشور، سطح زیر کشت سیاهدانه با افزایش۳۰ برابری از میزان ده هکتار در سال‌های گذشته به بیش از ۲۸۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ و ۱۲۰۰ هکتار در سال ۱۳۹۹ رسیده است و بنا بر برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته برای خودکفایی در تولید این گیاه دارویی پرمصرف، توسعه سطح زیر کشت تا دو هزار هکتار در دستور کار قرار دارد (Zeinali, 2021). پراکندگی جغرافیایی این گیاه در نقاط مختلف ایران از جمله در گلستان، اصفهان، یزد، چهارمحال بختیاری، فارس، همدان، خوزستان، خراسان، بلوچستان، تهران و در اراک نشان از قدمت بالا و بومی بودن آن در مناطق مختلف دارد. توده‌های بومی به‌دلیل سازشی که در طی دوره تکاملی خود در زیستگاه طبیعی‌شان کسب کرده‌اند، دارای ژن‌های مطلوبی نظیر ژن مقاومت به خشکی، شوری و مقاومت به آفات و بیماری‌ها شده‌اند (Reddy *et al.,* 2004). منابع ژنتیکی بومی متنوع در یک منطقه می‌توانند منبع بسیاری از ژن‌های مفید در جهت اصلاح گیاهان باشند که عمدتا در گیاهان بومی یک منطقه طی قرن‌های متمادی به‌وجود آمده و ذخیره گردیده‌اند (Eynizadeh *et al*., 2019). جمعیت‌های وحشی جمع‌آوری شده از طبیعت و توده‌های موجود در بانک ژن و باغ‌های گیاهشناسی و ارقام اولیه بومی و نژادهای سرزمینی قدیمی از منابع تنوع ژنتیکی طبیعی هستند (Rezaee *et al*. ، 2016). با عنایت به رویکرد توسعه گیاهان دارویی به ویژه کشت سیاهدانه، اولین و اساسی‌ترین مساله، دسترسی به ارقام یا اکوتیپ‌های سازگار و مناسب مناطق مختلف است. بررسی تنوع ژنتیکی سیاه دانه با استفاده از صفات زراعی و مورفولوژیکی توسط محققین انجام شده است. در یکی از این مطالعات، گلکار و نوربخش (Golkara & Nourbakhsh, 2019) تعداد هشت صفت آگرومورفولوژیکی را برای بررسی تنوع ژنتیکی ۳۰ نمونه سیاه دانه مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاکی از وجود تنوع معنی‌دار میان توده‌های مورد مطالعه بر اساس این صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته، قطر کپسول، قطر ساقه، تعداد دانه در کاپیتول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته بودند. بیشترین تنوع مشاهده شده در این مطالعه به صفات تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه در بوته تعلق داشت. نتایج تنوع معنی دار بالایی را از نظر عملکرد روغن، میزان روغن و نوع روغن چرب نشان دادند. این در حالی بود که بیشترین عملکرد دانه و روغن در این مطالعه از توده بومی سمیرم (به‌ترتیب ۱۲۵۰ و ۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. تنوع مشاهده شده در روغن چرب نیز گویای وجود ۱۲ نوع مختلف بود (Kiani *et al*., 2020). در مطالعه مشابهی، ساکسنا و همکاران (Saxena *et al.,* 2016) اقدام به بررسی تنوع ژنتیکی ترکیب اسید چرب و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۳۲ ژنوتیپ سیاهدانه نمودند. در این مطالعه، محتوای روغن کل به طور متوسط از ۱۴۷ الی ۲۷۰ میلی‌لیتر در کیلوگرم متغیر بود. همچنین، ترکیبات موجود در روغن شامل اسید پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک بودند. با این‌حال، اصلی‌ترین اسید چرب موجود در روغن، اسید لینولئیک با دامنه ۶۰۸/۹ الی ۷۱۳/۹ میلی‌لیتر بر لیتر بود. نتایج حاکی از وجود تنوع معنی‌دار در اسیدهای چرب غیراشباع بودند. میزان روغن همبستگی مثبت با اسید لینولئیک داشت و از تجزیه خوشه‌ای به‌روش اقلیدسی برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به‌منظور شناسایی نمونه‌های دارای محتوای روغن بیشتر استفاده شد.

انتخاب ژنوتیپ برتر بر اساس ترکیب صفات موضوع پیچیده‌ای است. از سوی دیگر، عملکرد دانه صفتی کمی با وراثت‌پذیری پایین و تحت تأثیرعوامل زراعی، آب و هوا و شرایط محیطی است. بنابر این، باید از صفات مورفولوژیک و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه به‌علت اندازه‌گیری راحت و وراثت‌پذیری بیشتر جهت بهبود عملکرد استفاده کرد (Welderufael *et al*., 2023; Wen *et al*., 2023). انتخاب بر اساس صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد با وراثت‌پذیری بالا، روشی سریع و دقیق برای گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد زیاد در جوامع گیاهی محسوب می‌شود (Shojaei *et al*., 2023).

قلی‌زاده و همکاران (Gholizade *et al*., 2018) در مطالعه‌ی ۳۲ ژنوتیپ سیاه دانه ایرانی تفاوت آماری معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی گزارش کردند و طی تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در دو گروه متمایز دسته‌بندی شدند. مقادیر روغن چرب و درصد روغن در این مطالعه به‌ترتیب بین ۰/۶۵ الی ۱/۳۶ درصد و ۲۵/۳۰ الی ۳۵/۰۲ درصد به‌دست آمدند. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن چرب مربوط به ژنوتیپ اراک بودند. در مطالعه‌ای دیگر، کیانی و همکاران (Kiani *et al.,* 2020) تعداد ۱۴ توده بومی سیاه دانه ایرانی را بر اساس محتوای روغن دانه، عملکرد روغن و نوع روغن چرب مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند.

روش‌های متعددی برای بررسی رابطه بین عملکرد و سایر صفات با ژنوتیپ وجود دارند، و یکی از بهترین روش‌ها نمودار دو–وجهی بای‌پلات است. مطالعه گرافیکی روابط بین صفات و داده‌های ژنوتیپ × صفت به درک بهتر صفات و رابطه بین ژنوتیپ‌ها و صفات کمک می‌کند. روش بای‌پلات GGE در اصل برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی پیشنهاد شد، ولی به‌همان اندازه برای کلیه داده‌های دوطرفه مانند ژنوتیپ × صفت قابل استفاده است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها و انتخاب بر اساس صفات متعددی است، که همان اهداف اصلاحی هستند (Sheikh *et al.,* 2022). بای‌پلات ژنوتیپ در صفت GT، برای تعیین رابطه بین صفات و ژنوتیپ در سویا (Kocaturk *et al*., 2019)، کلزا (Hosseini, 2016)، ذرت (Al-Naggar *et al*., 2020)، برنج (Sharifi & Ebadi, 2018)، لوبیا (Hirpa *et al*., 2013)، عدس (Sabaghnia *et al*., 2006)، کنجد (Boureima & Yaou, 2019)، سورگوم علوفه‌ای (Feyzbakhsh & Khazaei, 2025)، لوپین (Rubio *et al*., 2004)، گندم (Rahmati, 2020) و لوبیا سبز (Oliveira *et al*., 2018) استفاده شده است. همچنین، از این روش برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش شوری (Gholizadeh *et al*., 2018)، ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در گندم (Motamedi & Safari,

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

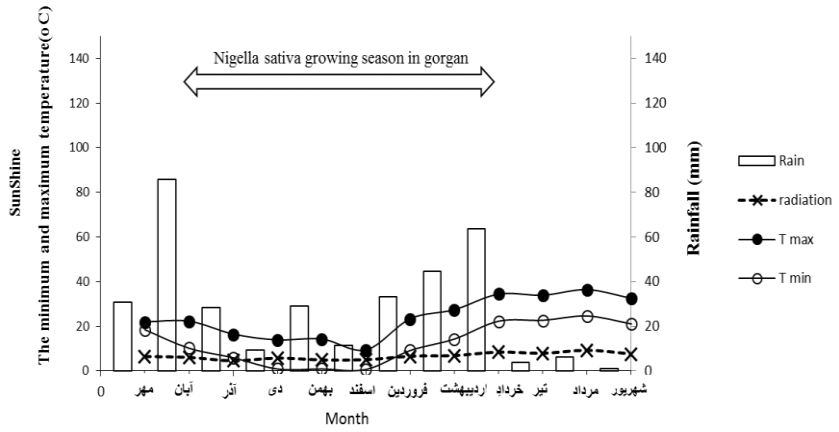
2019) و مطالعه تیمارهای مختلف بر روی جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های آفتابگردان (Sabaghnia & Janmohammadi, 2016) استفاده شده است. به‌علاوه، شیخ و همکاران (Sheikh *et al*., 2022) ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) بر اساس عملکرد و مقاومت به بیماری را با استفاده ازروش تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (GT) در ترکیب با تجزیه خوشه‌ای مورد بررسی قرار دادند. روش بای‌پلات GGE در اصل برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی پیشنهاد شد، ولی به‌همان اندازه برای کلیه داده‌های دو طرفه مانند ژنوتیپ × صفت قابل استفاده است. استفاده از این روش امکان شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر صفت را فراهم می‌سازد (Sofi *et al*., 2021؛ Faheem *et al*., 2022؛ Ebrahimi, 2023). مدل بای‌پلات GT مشابه بای‌پلات GGE است، با این تفاوت که داده‌ها باید مقیاس‌بندی شوند تا واحد صفات حذف شوند. مقیاس‌بندی با استفاده از انحراف استاندارد (SD) صفت رایج‌ترین روش مورد استفاده است (Oliveira *et al*., 2018).

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از مطالعه حاضر دست‌یابی به ژنوتیپ‌های برتر به منظور استفاده در برنامه‌های به نژادی از غربال‌گری توده‌های بومی ایرانی با میزان تولید بالا بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی نمونه‌های ژنتیکی سیاهدانه موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران (تعداد ۳۶ نمونه سیاهدانه دریافتی از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح بذر واقع در کرج) از نظر صفات زراعی و عملکرد دانه، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شهرستان گرگان طراحی و اجرا گردید. داده‌های هواشناسی محل اجرای طرح طی انجام آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. در این نمودار، میزان بارندگی (مجموع بارندگی در ماه برحسب میلی‌متر)، میانگین دمای حداقل و حداکثر روزانه و نیز میانگین تعداد ساعات آفتابی برای سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ آورده شده‌اند. همچنین، دوره رشد سیاهدانه با فلش روی نمودار مشخص گردیده است (از آبان ۱۴۰۱ الی اردیبهشت ۱۴۰۲).

یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی شامل تاریخ جوانه‌زنی، تاریخ هشت-برگی، تاریخ ۵۰ درصد گلدهی، تاریخ پایان گلدهی و تاریخ رسیدگی بر اساس تاریخ رسیدن ۵۰ درصد از بوته‌های کرت به هرکدام از مراحل فنولوژیکی انجام گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در شاخه اصلی، و تعداد دانه در کپسول، به‌طور تصادفی تعداد پنج بوته از هر کرت انتخاب و اندازه‌گیری و شمارش شدند. پس از پایان عملیات اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری اقدام به تجزیه واریانس متناسب با طرح آزمایشی گردید و معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بر صفات موردنظر بررسی شد. برای مقایسه اختلاف نمونه‌های ژنتیکی با جمعیت شاهد (TN-82-747)، مقایسه میانگین‌ها به‌روش LSD در سطح (احتمال $P < 0.05$) صورت گرفت. برای رسم نمودارها و تجزیه بای‌پلات از نرم‌افزار GGE-biplot (Yan, 2001) استفاده شد.



شکل ۱- نمودار داده‌های هواشناسی گرگان در سال زراعی۱۴۰۲-۱۴۰۱ (Rain = بارندگی بر حسب میلی‌متر، radiation = میانگین تعداد ساعات آفتابی در روز، Tmax= میانگین دمای حداکثر روزانه، Tmin = میانگین دمای حداقل روزانه)

Figure 1. Meteorological data of the Gorgan station during the 2022–2023 cropping year (Rain = rainfall in mm; Radiation = average daily sunshine hours; Tmax = average daily maximum temperature; Tmin = average daily minimum temperature)

نتایج و بحث

بررسی آمار هواشناسی در طول فصل رشد نشان داد که بیش‌ترین میزان بارندگی در آبان ماه مشاهده گردید. پس از آن، در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند میزان بارندگی کاهش یافت (شکل۱). همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در انتهای فصل رشد در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مجدداً میزان بارندگی افزایش یافت. با توجه به این‌که کشت سیاهدانه به‌صورت دیم است و به نزولات جوی بستگی دارد، بنابر این رشد و عملکرد بیشتر در شرایط کم‌باران از ویژگی‌های مثبت در جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر هستند. از سوی دیگر، رشد رویشی متعادل و زودرسی جهت فرار از خشکی انتهای فصل و امکان کشت به موقع محصول بعدی از صفات بسیار حائز

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

اهمیت در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است که کم‌ترین دمای حداکثر و حداقل در اسفندماه مشاهده گردید و پس از آن دما افزایش یافت (شکل۱). با توجه به این‌که در طول فصل رشد سیاهدانه دماهای نزدیک به صفر درجه مشاهده گردید، می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های با رشد و عملکرد بالاتر نسبت به سرما زدگی مقاومت بیشتری داشتند.

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی نمونه‌های ژنتیکی سیاهدانه موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در گرگان نشان دادند که بین نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی تنوع خوبی از لحاظ صفات مورد بررسی (روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) وجود داشت و همه صفات مورد بررسی در سطح آماری یک درصد معنی شدند (جدول۱).

جدول ۱- میانگین مربعات صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد درتوده‌های سیاهدانه در گرگان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱
Table 1. Mean squares of agronomic traits, yield, and yield components of *Nigella sativa* populations in Gorgan during the 2022–2023 cropping year

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	روز تا ۵۰٪ گلدهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه TSW	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index (HI)
تکرار Replication	2	3.82	91.01	278.49**	280.70**	557.62*	0.59**	63051	2764602	26.71
تیمار Genotype	35	211.66**	500.87**	741.61**	767.58**	787.67**	0.53**	177912**	2152531**	171.24**
خطا Error	70	10.94	86.34	11.82	1.32	122.59	0.04	46225	1049603	21.43
ضریب تغییرات (cv)	–	2.34	5.41	3.81	3.03	15.04	9.10	14.70	18.71	16.53

ns، *، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در گرگان نشان دادند که بیشترین روز تا ۵۰ درصد گلدهی از توده TN-59-187 با (۱۵۶/۳ روز) به‌دست آمد. همچنین، توده‌های TN-59-187، TN-82-677، TN-82-747، TN-82-748، TN-82-750 و TN-82-751 (به‌ترتیب ۱۲۳/۳، ۱۲۴/۷، ۱۲۵، ۱۲۳ و ۱۲۲/۷ روز) کمترین روز تا ۵۰ درصد گلدهی را داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی نشان دادند که تنوع خوبی برای این صفت بین توده‌های مورد بررسی وجود داشت به‌طوری‌که کمترین روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی از توده TN-82-750 با ۱۳۴/۷ روز به‌دست آمد. دیررس‌ترین توده (TN-59-187) با ۱۸۳/۳ روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که میانگین ارتفاع بوته در توده‌های مورد بررسی ۵۲/۱ سانتی‌متر تا ۱۱۵ سانتی‌متر در نوسان بود و توده‌های مورد بررسی در گروه‌های آماری مختلفی قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای تعداد کپسول در بوته نشان دادند که کمترین تعداد کپسول در بوته روز از توده TN-82-750 با ۱۱/۳ کپسول در بوته به‌دست آمد. همچنین بیشترین کپسول در بوته از توده IPK-12 با ۷۲/۳ کپسول در بوته به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای تعداد دانه در کپسول نشان دادند که بیشترین تعداد کپسول در بوته روز از توده TN-59-118 با ۱۰۷/۶ دانه در کپسول به‌دست آمد. همچنین، کمترین دانه در کپسول از توده TN-82-677 با ۴۳ دانه در کپسول به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای وزن هزاردانه نشان دادند که بیشترین وزن هزاردانه از توده TN-59-253 به‌میزان ۳/۴ گرم به‌دست آمد. همچنین، کمترین وزن هزاردانه به‌میزان ۱/۵ گرم از توده TN-59-6 به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای عملکرد دانه نشان دادند که تنوع بالایی برای عملکرد دانه بین توده‌های مورد بررسی وجود داشت به‌طوری‌که عملکرد دانه از ۱۸۷۵ کیلوگرم در هکتار (توده TN-82-748) تا ۹۷۹/۱ (توده TN_59-48) کیلوگرم در هکتار در نوسان بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای عملکرد بیولوژیک نشان دادند که بیشترین عملکرد بیولوژیک از توده IPK-6 به‌میزان ۶۷۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین، کمترین عملکرد بیولوژیک از توده TN-82-677 به‌میزان ۳۷۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای شاخص برداشت نشان دادند که شاخص برداشت از ۴۱/۷ درصد (توده TN-82-751) تا ۱۶/۱ درصد (توده TN_59-50) در نوسان بود (جدول ۲). سلامتی و زینلی در بررسی تنوع ژنتیکی ۲۱ ژنوتیپ سیاهدانه از نقاط مختلف ایران با استفاده از صفات مورفولوژیکی و زراعی گزارش کردند که اختلاف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای کلیه صفات (میزان عملکرد، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول)، به جز شاخص برداشت، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

محب‌الدینی و همکاران (Mohebodini *et al.*, 2019) با ارزیابی اثرات ژنوتیپ و محیط بر صفات مرفولوژیکی و زراعی در اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در استان اردبیل گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین صفات مورد بررسی وجود داشت که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها و متفاوت بودن اثر مکان بر میزان عملکرد و صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های سیاهدانه بود. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی، صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد برگ، تعداد انشعابات ساقه، تعداد گل و کپسول در بوته به‌عنوان صفات مهم و تأثیرگذار برعملکرد دانه شناخته شدند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد درتوده‌های سیاهدانه در گرگان در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱
Table 2. The comparison of means for agronomic traits, yield, and yield components of *Nigella sativa* populations in Gorgan during the 2022–2023 cropping year

توده Population	کد ژنوتیپ Genotype code	روز تا ۵۰٪ گلدهی Days to physiological maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield(kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index
TN-82-785	G1	bc141/7	a-c180/3	mn81/8	d57/7	f-n68/6	g-k2/05	g983/3	a-f5316/7	lm18.6
TN-59-5	G2	bc141/7	a-c180	h-k90/6	h42/5	g-n67/3	g-k2/08	a-e1550	a-f5775	f-l27
TN-59-6	G3	b145	a-c180	mn80/5	b65/5	h-n64/7	l1/5	c-g1286/8	a6712/5	k-m19.4
TN-82-788	G4	b144/7	a-d171/7	n77/7	c60/9	d-m72/8	f-j2/14	ab1761	a-f5650	b-h31.6
TN-59-48	G5	b147	a-c179/3	e-g98/3	e54/4	j-o61/6	f-j2/27	g979/1	a-f5087/5	k-m19.4
TN-59-50	G6	b147	ab181	i-k90	op22/5	m-o53/9	e-i2/37	fg1038/6	ab6658/3	M16.1
TN-59-79	G7	b145	a182/7	h-k91/3	g47/1	a-g88/8	jk1/93	c-g1208/3	a-d6225	k-m20
TN-59-117	G8	b145	ab182	bc108/3	m32/8	b-i85	e-j2/33	c-g1260	a-d6183/3	k-m20.6
TN-59-118	G9	b145	a183/3	ab114/4	f51/2	a107/7	kl1/73	e-g1126/1	a-e6025	k-m20
TN-59-133	G10	bc141/7	a-d172/3	h-k91/1	f52/3	a-h86/6	f-j2/21	a-c1641/7	a-f5158/3	b-h31.9
TN-59-134	G11	b144	a-d172	g-j92/7	c61	g-n67	cd2/98	ab1787/5	a-f5262/5	a-f34
TN-59-152	G12	b145	a-d172/3	g-j92/7	c61/3	k-o58/3	h-k2/03	d-g1193	a-e6012/5	k-m20.2
TN-59-187	G13	d123/3	c-f161/7	o62/4	op23/2	a-c95/4	e-g2/46	a-d1566/6	ef3979/2	Ab40.3
TN-82-191	G14	b145	a-c180/3	d-f101/6	hi41	e-m72/7	f-k2/13	c-g1237/5	a-f5220/8	g-m24/2
TN-59-223	G15	b145	fg146	l-n82/8	m31	b-j83	e-j2/32	a-d1557	a-f4954/2	b-h31/6
TN-59-224	G16	b145	a-c175	g-j93	o24	a-f89/9	e-h2/42	a-d1604/1	a-f5300	d-j30/3
TN-59-225	G17	b145	a-c179/7	d-f101/8	p21/3	no43/3	g-k2/04	a-e1531/6	a-f4962/5	c-i31/2
TN-59-248	G18	b147	a-c179/7	c-e104/3	o23/5	d-m73/3	ef2/5	a-e1545/8	a-f5579/2	f-k27/8
TN-59-249	G19	b146	a-d172/7	j-l88	op23/2	l-o56	f-j2/27	ab1800	a-f5658/3	b-g32
TN-59-252	G20	b145	a-c177/7	d-f101/3	n26	h-n65/3	f-j2/18	a-d1604/1	a-f5233/3	c-i31/1
TN-59-253	G21	b145	a-c178	f-g96/9	m32	ab104/3	a3/44	b-f1440	a6700	j-m21/9
TN-59-255	G22	b145	ab182/3	l-n82/9	l35/9	i-o63/8	h-k2/02	a-d1600	a-f5391/7	e-j29/8
TN-82-258	G23	b145	a-c179/7	mn81/6	k37/9	b-i85/1	e-i2/38	a-e1475	c-f4545/8	a-f34/3
TN-59-261	G24	b147	a-c177/3	k-m85/9	q15/5	k-o59/8	e-i2/41	a-d1591/7	a-e6000	f-l26/9
TN-82-501	G25	a156/3	ab181/7	c-d106/5	m31/3	l-o56	f-j2/27	c-g1291/7	a-c6487/5	k-m20/5
TN-82-576	G26	b147	ab182/3	c-e103/4	jk38/8	a-e92/8	i-k1/99	b-f1437/5	a-c6441/7	i-m22/3
TN-82-676	G27	b145	a-c179/7	f-i96/3	m31/2	a-d94/5	g-k2/07	d-g1191/7	a-d6312/5	k-m18/8
TN-82-677	G28	bd126	b-e163/7	o62/3	ij40/3	o43	e-j2/34	b-f1429/1	f3795/8	a-e37/1
TN-82-691	G29	b145	a-c179/7	a115	p21/4	no50	e-i2/36	c-g1225	a-f5483/3	j-m21/9
TN-82-745	G30	b145/7	e-g147/3	cd107/3	m31/3	g-n67/3	f-j2/18	a-d1600	a-d6240/8	f-l25/9
TN-82-747	G31	d124/7	c-f161/7	o67/9	n27/3	c-k78	a-d3/04	a-e1529/1	f3890/8	a-c39/6
TN-82-748	G32	d125	d-f156/7	d-f101/3	op22/2	c-m75/8	de2/71	a1875	a-f5083/3	a-e37/5
TN-82-750	G33	d123	g134/7	p52/7	r11/3	c-k79/6	a-c3/2	ab1829/2	b-f4595/8	a-c40/1
TN-82-751	G34	d122/7	g140	p52/2	m31/5	a-c95/3	ab3/38	ab1779/2	d-f4279/2	a41/7
IPK-6	G35	b145/3	b-e163/7	ef99/4	c62/9	j-o61/6	f-j2/22	a-e1445	a6775	h-m22/9
IPK-12	G36	c136/7	c-f161/7	e-g92/8	a72/3	c-l76/1	f-j2/21	a-e1551/7	ef4116/7	a-d39/1

اعدادی‌که در هرستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

نتایج نمودار بای پلات (شکل ۲) نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول (۵۳/۵ درصد) و دوم (۱۱/۸ درصد) در مجموع ۶۳/۳ درصد از واریانس برهمکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را از نظر صفات مورد مطالعه توجیه کردند. ژنوتیپ‌هایی که در هر راس چندضلعی قرار می‌گیرند بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات محصور شده توسط دو خط از منشا بای‌پلات هستند. بر این اساس، بیشترین تعداد کپسول در بوته در ژنوتیپ G3 مشاهده شد. همچنین، ژنوتیپ ۲۵ بیشترین تعداد روز تا رسیدگی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته و بیومس را نشان داد. لازم به ذکر است که بیشترین تعداد دانه در کپسول و شاخص برداشت از ژنوتیپ ۳۴ به‌دست آمد. با این وجود، ژنوتیپ ۳۳ بیش‌ترین عملکرد دانه و وزن هزاردانه را نشان داد (شکل۳). محور قائم ATC محور افقی را به دو بخش تقسیم می‌کند، و ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور قرار گرفته‌اند از نظر صفات قرارگرفته در آن بخش مقادیر متوسط به بالایی دارند. با توجه به نمودار ۳، ژنوتیپ‌های G2، G3، G6، G7، G8، G9، G12، G14، G16 G17، G18، G19، G20، G21، G22، G24، G25، G26، G27، G30، و G35 از نظر روز تا رسیدگی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها مقادیر بالاتری را نشان دادند که مطلوبیت کم‌تر این ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در مطالب قبل ذکر شد، یکی از صفات حائز اهمیت در گیاهان دارویی که به‌صورت دیم کشت می‌شوند زودرسی و رشد رویشی متعادل است. رشد رویشی (عملکرد بیولوژیک) زیاد در محصولات دیم به‌علت افزایش تبخیر و تعرق باعث می‌شود که رطوبت خاک سریع‌تر تخلیه و گیاه دچار تنش خشکی شود. از سوی دیگر، زودرسی در محصولات دیم موجب فرار از تنش خشکی انتهای فصل رشد و نیز باعث فراهم آمدن فرصت کشت به موقع محصول بعدی برای کشاورزان می‌شود. بنابر این، ژنوتیپ‌های G4، G10، G11، G13، G15، G28، G32، G33، G34، وG36 با توجه به زودرس بودن، مطلوبیت بیشتری از نظر این صفت داشتند (شکل۳). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، ژنوتیپ‌هایی که زودرس بودند عملکرد بالاتری را نشان دادند. با توجه به این‌که بهترین ژنوتیپ، کمترین فاصله نسبت به دایره روی محور را دارد، از نظر عملکرد دانه و شاخص

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

برداشت که مهم‌ترین صفت در تعیین رقم ایده‌آل است، ابتدا ژنوتیپ G36 و پس از آن G32 از نظر عملکرد دانه و شاخص برداشت برتری نشان دادند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات بعدی قرار گیرند. ژنوتیپ‌هایی که در رأس یک بخش از چندضلعی فاقد صفت مشخص قرار می‌گیرند، جهت انجام برنامه‌های به‌نژادی مناسب نیستند (Wen *et al*., 2023).

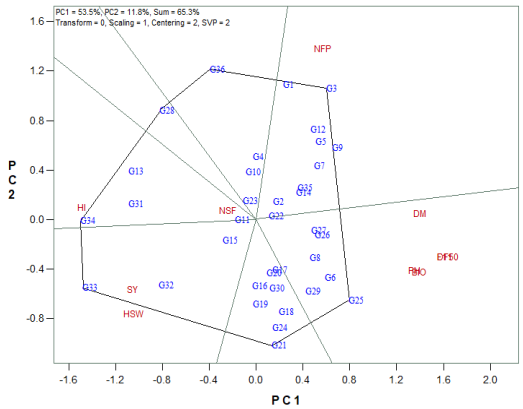
ال ماهروخ و همکاران (EL_Mahroukh *et al.,* 2020) وجود تنوع ژنتیکی اندک در سیاه دانه را عامل اصلی و محدودکننده در تولید و دست‌یابی به ارقام جدید با استفاده از برنامه‌های به‌نژادی می‌دانند. به‌همین علت، تعداد نه رقم جهش‌یافته و ارقام والدینی را بر اساس صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و درصد محتوای اسیدهای چرب در دو نسل ام-۳ و ام-۴ به‌منظور شناسایی بهترین ارقام برای معرفی ارقام جدید مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، بلندترین بوته‌ها به‌طور متوسط ۱۱۸/۳ الی ۱۴۹/۷ سانتی‌متر ارتفاع داشتند. بیشترین عملکرد دانه در بوته نیز ۵۱/۸۳ گرم به دست آمد. بیش‌ترین مقادیر اسید پالمیتیک و اسیدهای اشباع به ترتیب ۱۱/۹۳ و ۱۳/۷۰ درصد بودند. در حالی‌که بیش‌ترین میزان اسید لینولئیک ۴۵/۶۷ درصد به‌دست آمد.

در شکل ۳، بای‌پلات صفات و ژنوتیپ‌ها آورده شده است. این نوع بای‌پلات به درک روابط بین صفات و ارزیابی ژنوتیپ‌ها کمک می‌کند. بردارهایی که از مبدأ بای‌پلات سرچشمه می‌گیرند، به علایم صفات وصل می‌شوند، و روابط بین و درون صفات و تنوع داده‌های استانداردشده را توضیح می‌دهند. از آنجایی‌که کسینوس زاویه بین بردارهای هر دو صفت، ضریب همبستگی بین آنها برآورد می‌کند، این شکل بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است. کسینوس زاویه بین دو صفت همبستگی بین آن‌ها را برآورد می‌کند، و 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. طول بردارها پاسخ‌دهی صفات را به ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهند به‌طوری‌که هرچه طول بردار یک صفت بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که آن صفت دارای قدرت پاسخ‌دهی بیشتر به ژنوتیپ‌ها است و صفاتی که در منشأ بای‌پلات قرار می‌گیرند، هیچ پاسخی به ژنوتیپ‌ها نمی‌دهند (Hosseini *et al*., 2016؛ Motamedi & Sharifi Olounabadi, 2019؛ Sabaghnia & Janmohammadi, 2016). با توجه به شکل (۵)، همبستگی مثبت بالایی بین روز تا رسیدگی، روز تا۵۰ درصد گلدهی ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک وجود داشت. همچنین، صفات تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، و شاخص برداشت با عملکرد دانه همبستگی مثبتی داشتند. بین صفات روز تا رسیدگی و شاخص برداشت همبستگی منفی شدیدی وجود داشت (شکل ۵) که نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌های دیررس‌تر به‌علت تولید بیومس بیشتر شاخص برداشت کمتری خواهند داشت. از سوی دیگر، همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد بین روز تا رسیدگی و عملکرد دانه نیز همبستگی منفی مشاهده شد. به‌عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های دیررس به‌علت تولید بیومس زیاد و احتمال خوابیدگی بیشتر در شرایط انتهای فصل رشد عملکرد دانه کمتری داشتند.

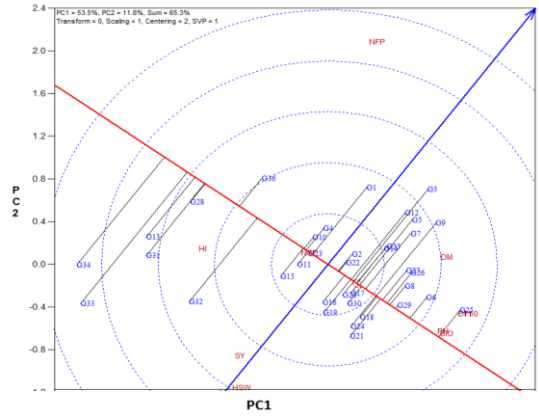
مهری و همکاران (Mehri *et al*., 2022) ۲۷ توده سیاهدانه را از مناطق مختلف ایران جمع‌آوری و تنوع ژنتیکی آن‌ها بر اساس صفات مورفولوژیکی و با تجزیه آماری تک‌متغیره و چندمتغیره نشان دادند. تجزیه واریانس داده‌ها تفاوت معنی‌داری را بین صفات مورد بررسی نشان داد. بررسی این نتایج برای صفات مورفولوژیک نشان داد که توده‌های سیاهدانه مورد مطالعه درصفات ارتفاع ساقه، تعدادبرگ، تعداد انشعابات ساقه، تعداد گره تا اولین گل، تعداد گل دربوته، طول ساقه گل‌دهنده، طول شاخه فرعی، طول بلندترین شاخه فرعی، عرض برگ، وزن تر و خشک، تعداد برچه در هر کپسول، قطر طولی کپسول، و تعداد دانه در هر برچه در سطح یک درصد و در صفات طول میانگره، طول و عرض برگ، و قطر عرضی کپسول در سطح پنج درصد اختلافات معنی‌داری داشتند که وجود تنوع گسترده برای صفات مورد مطالعه در توده‌های این گونه را نشان داد. همچنین، اختلاف بین داده‌های حداقل و حداکثر صفات تنوع بین داده‌ها را تایید کرد. برآورد ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که ارتفاع گیاه با کلیه صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. محب‌الدینی و همکاران (Mohebodini *et al.,* 2019) به‌منظور تعیین تنوع ژنتیکی و انتخاب بهترین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بومی ایران، آزمایشی در استان اردبیل از نظر صفات مورفولوژیکی و زراعی انجام دادند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها تفاوت معنی‌داری را بین صفات مورد بررسی نشان دادند که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها و متفاوت بودن اثر مکان بر میزان عملکرد و صفات مورفولوژیک سیاهدانه بود. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی، صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد برگ، تعداد انشعابات ساقه، تعداد گل و کپسول در بوته به عنوان صفات مهم و تاثیرگذار بر عملکرد دانه شناخته شدند. در این مطالعه، اکوتیپ‌های کرج، اردبیل، تاکستان، همدان و لردگان از نظر عملکرد در هر دو مکان از سایر اکوتیپ‌ها برتر بودند.

میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها با تعریف محور مختصات میانگین تستر (ATC) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). ژنوتیپی ایده‌ال و برتر است که کمترین فاصله را با دایره مرکزی داشته باشند (Sabaghnia *et al*., 2016؛ Gholizade *et al*., 2018). بر اساس نتایج، ژنوتیپ G25 به‌دلیل کم‌ترین فاصله از دایره مرکزی، مطلوب‌ترین ژنوتیپ از نظر همه صفات اندازه‌گیری شده بود (شکل ۵). بر اساس نتایج، ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه دارای تنوع بالایی بودند (شکل۶). لازم به ذکر است که دامنه تغییرات در تعداد دانه در کپسول، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک کم‌تر از سایر صفات بود (شکل۶).

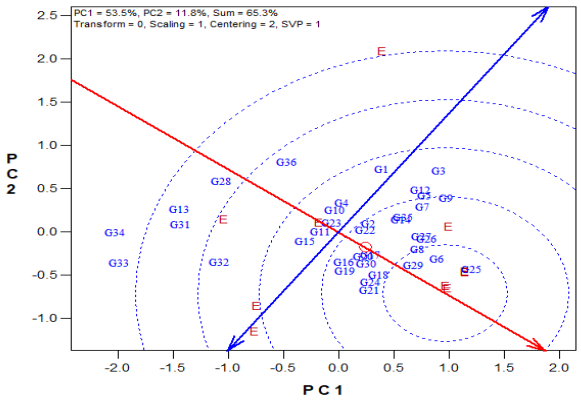
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]



شکل ۲- بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ × صفات برای مورد بررسی
Figure 2. The polygon biplot of the genotype × trait interaction in the *Nigella sativa* population

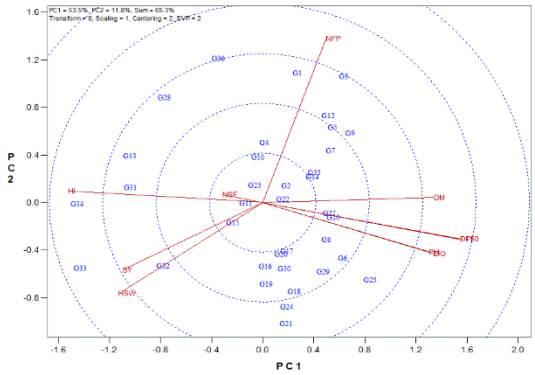


شکل ۳- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سیاهدانه بر اساس صفات مورد بررسی
Figure 3. Ranking of the studied black cumin genotypes based on the evaluated traits

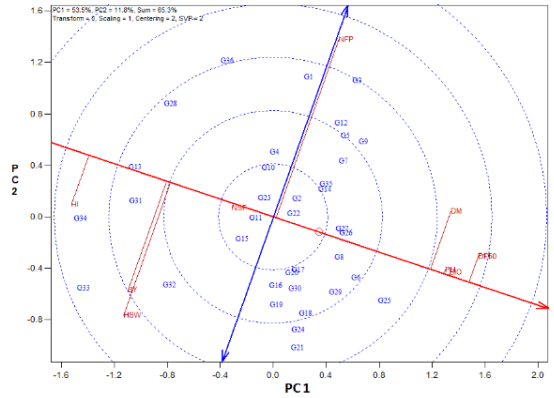


شکل ۴- نمای برداری نمودار دو-وجهی ژنوتیپ‌های سیاهدانه
Figure 4. The biplot vector view of black cumin genotypes

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]



شکل ۵- نمایش ژنوتیپ ایده‌آل بای‌پلات ژنوتیپ × صفت بر اساس صفات مورد بررسی
Figure 5. Visualization of the ideal genotype in the genotype × trait biplot based on the evaluated traits



شکل۶- نمودار نمایش دامنه تغییرات صفات مورد بررسی
Figure 6. The diagram showing the range of variation in the evaluated traits

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج نمودار بای‌پلات، بیشترین تعداد دانه در کپسول و شاخص برداشت از ژنوتیپ ۳۴ (TN-82-751) به‌دست آمد. با این وجود، ژنوتیپ ۳۳ (TN-82-750) بیش‌ترین عملکرد دانه و وزن هزاردانه را نشان داد. همچنین، ژنوتیپ‌های G4 (TN-82-788)، G10 (TN-59-133)، G11 (TN-59-134)، G13 (TN-59-187)، G15 (TN-59-223)، G28 (TN-82-677)، G32 (TN-82-748)، G33 (TN-82-750)، G34 (TN-82-751) و G36 (IPK-12) با توجه به زودرس بودن، مطلوبیت بیشتری از نظر این صفت داشتند و می‌توانند در مطالعات بعدی در اولویت قرار گیرند.

References

Al-Naggar, A. M. M., Shafik, M. M., & Musa, R. Y. M. (2020). Genetic diversity based on morphological traits of 19 maize genotypes using principal component analysis and GT biplot. *Annual Research & Review in Biology,* 32(1), 68–85.

Boureima, S., & Yaou, A. (2019). Genotype by yield × trait combination biplot approach to evaluate sesame genotypes on multiple traits basis. *Turkish Journal of Field Crops,* 24(2), 237–244.

Ebrahimi, L. (2023). Genotype by yield × trait (GYT) biplot approach to evaluate resistance of soybean cultivars to Helicoverpa armigera Hübner under natural infestation conditions. *Phytoparasitica,* 51, 909–918. https://doi.org/10.1007/s12600-023-01078-7

El-Mahrouk, M. E., Maamoun, M. K., Dewir, Y. H., Omran, S. A., & El-Banna, A. N. (2020). Morpho-agronomical and biochemical traits screening and genetic variability in selected black cumin (*Nigella sativa*) mutant lines. *Sains Malaysiana,* 49(3), 503–515. https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4903-04

Eynizadeh, P., Dehghani, H., & Khodadadi, M. (2019). Multi-purpose selection of some coriander cultivars (Coriandrum sativum L.) native to Iran for simultaneous improvement of traits in different moisture regimes. *Journal of Environmental Stress in Crop Sciences,* 12(1), 223–237. [In Persian]

Faheem, M., Arain, S., Mahboob, S., Laghari, K., & Qayyum, A. (2022). Genotype by yield × trait (GYT) biplot analysis: A novel approach for evaluating advance lines of durum wheat. *Cereal Research Communications,* 51. https://doi.org/10.1007/s42976-022-00298-7

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

Feyzbakhsh, M. T., Khazaei, A. (2025). Interaction of genotype × environment on new hybrids yeild of forage sorghoum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using GGE biplot method. *Plant Production and Genetics*, 6(1). 87-100. https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.143212.1151

Gholizade, A., Sharifi Olounabadi, A. R., Hosseini, S. M., & Sharifi, H. (2018). Genetic diversity analysis and character associations in black cumin (*Nigella sativa* L.) based on agro-morphological and phytochemical traits. *Archives of Agronomy and Soil Science*, https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1558443

Gholizadeh, A., Dehghani, H., Amini, A., & Akbarpour, O. A. (2018). Study on trait relations of wheat genotypes using the biplot method. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 49, 121–136.

Golkar, P., & Nourbakhsh, V. (2019). Analysis of genetic diversity and population structure in Nigella sativa L. using agronomic traits and molecular markers (SRAP and SCoT). *Industrial Crops & Products,* 130, 170–178.

Hirpa, L., Nigussie, D., Setegn, G., Geremew, B., & Firew, M. (2013). Multivariate analysis as a tool for indirect selection of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) for soil acidity tolerance under field conditions. *Science, Technology and Arts Research Journal,* 2, 7–15.

Hosseini, S. Z. (2016). Evaluation of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) genotypes using biplot analysis. *Journal of Crop Breeding,* 8, 192–202. [In Persian]

Kiani, M., Alahdadi, I., Soltani, L., Boelt, B., & Benakashani, F. (2020). Variation of seed oil content, oil yield, and fatty acid profile in Iranian Nigella sativa L. landraces. *Industrial Crops & Products,* 149, 112367. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112367

Mehri, N., Mohebodini, M., Behnamian, M., & Farmanpour-Kalalagh, K. (2022). Phylogenetic, Genetic Diversity, and Population Structure Analysis of Iranian Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Genotypes Using ISSR Molecular Markers. *International Journal of Horticultural Science & Technology,* 9(2).

Kocaturk, M., Cubukcu, P., Goksoy, A. T., Sincik, M., Ilker, E., Kadiroglu, A., Vurarak, Y., Sahin, Y., Karakus, M., & Yildirim, U. A. (2019). GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in soybean grown as a second crop. *Turkish Journal of Field Crops,* 24(2), 145–154.

Mohebodini, M., Mehri, N., & Fathi, R. (2019). Evaluation of genotype and environment effects on agro-morphological traits in black cumin (Nigella sativa L.) ecotypes. *Journal of Crop Breeding,* 11(30), 108–117. https://doi.org/10.29252/jcb.11.30.108 [In Persian]

Motamedi, M., & Safari, P. (2019). Evaluation of water deficient stress tolerance in some wheat cultivars and their hybrids using canonical discriminant analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding,* 11(29), 104-116. [In Persian]

Oliveira, T. R., Gravina, G. A., Ferreira de Oliveira, G. H., Araújo, K. C., Araujo, L. C., Daher, R. F., & Vivas, M. (2018). GT biplot analysis of green bean traits. *Ciencia Rural,* 48(6). https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170757

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]

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. V. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology,* 161, 1189–1202.

Rezaei Chiyaneh, E., & Pirzad, A. (2014). Effect of salicylic acid on yield, yield components and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 12(3), 427–437. [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.

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., Dehghani, H., & Sabaghpour, S. H. (2006). Non-parametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science,* 46(3), 1100–1106. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0122

Salamati, M. S., & Zeinali, H. (2011). Evaluation of genetic diversity of some Nigella sativa L. genotypes using agro-morphological characteristics. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29(1), 201–204. [In Persian]

Saxena, S. N., Rathore, S. S., Diwakar, Y., Kakani, R. K., Kant, K., Dubey, P. N., Solanki, R. K., Sharma, L. K., Agrawal, D., & John, S. (2017). Genetic diversity in fatty acid composition and antioxidant capacity of *Nigella sativa* L. genotypes. *LWT– Food Science and Technology,* https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.033

Sheikh, F., & Dehghani, H. (2014). Investigation of resistance to chocolate spot (*Botrytis fabae*) in faba bean (Vicia faba L.) in Gorgan region. *Iranian Journal of Pulses Research,* 5, 139–150. [In Persian]

Sheikh, F., Sekhavat, R., & Aghajani, M. (2022). Evaluation of resistance to leaf spot diseases and yield characteristics in faba bean genotypes through cluster analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding,* 14(44), 131–147. https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.131 [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]

Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., & Parkasi, A. (2021). Assessment of genotype × environment interaction and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) promising lines using AMMI analysis. *Seed and Plant Journal,* 37, 1–22. [In Persian]

Shojaei, S., Mostafavi, K., Ansarifard, I., Bihamta, M. R., Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Omrani, A., & Mousavi, G. M. (2023). Comparison of genotype × trait and genotype × yield-trait biplots in sunflower cultivars. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Science,* 7(1), 136–147. https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.1.17

Sofi, P., Saba, I., Asmat, A., & Khalid, R. (2021). Comparative efficiency of GYT approach over GT approach in genotypic selection in multiple trait evaluations: Case study of common bean (Phaseolus vulgaris) grown under temperate Himalayan conditions. *Agricultural Research,* 11, 373–381. https://doi.org/10.1007/s40003-021-00577-5

Welderufael, S., Aba, F., Ayana, A., & Tilahun, A. (2023). Genetic diversity, correlation and genotype by yield × trait (GYT) analysis of grain yield and nutritional quality traits in sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) genotypes in Tigray, northern Ethiopia. *Discover Agriculture,* 4, 2. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3251627/v1

Wen, G., Ma, B., Shi, Y., Liu, K., & Chen, W. (2023). Selection of oat (Avena sativa L.) drought-tolerant genotypes based on multiple yield-associated traits. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 103. https://doi.org/10.1002/jsfa.12504

Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. In Crop Agronomists (pp. 141–156). CRC Press, Boca Raton, FL.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1610]