Vol 28, No. 2, Summer 2026

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Evaluation of the genetic diversity of native ecotypes of black cumin (*Nigella sativa* L.) using morpho-phenological markers

Mehdi Hadadi Nejad[1] | Hamid Reza Fanaei[2]✉ | NadAli Bagheri[3] | Manni Marefatzadeh-Khameneh[4] | Nooshin Rahmani[5]

1. Horticulture Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: m.hadadinejad@sanru.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Genetics and National Plant Gene Bank of Iran, SPII., AREEO, Karaj, Iran. Email: H.fanaie@areeo.ac.ir
3. Horticulture Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: NadaliBagheri@sanru.ac.ir
4. Department of Genetics and National Plant Gene Bank of Iran, SPII., AREEO, Karaj, Iran Email: mani.marefatzadeh@gmail.com
5. Horticulture Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: noosheen.rahmani@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 October 2024
Received in revised form
15 June 2025
Accepted 24 May 2026
Published online 22 June 2026

Keywords:
Breeding strategies,
Cluster analysis,
Germplasm,
Morpho-phenological diversity

ABSTRACT

Objective: The global shift toward phytotherapy has made the conservation of medicinal plant species critically important. One challenge in developing black cumin cultivation is the limited knowledge of traits influencing yield improvement, as well as the lack of populations or improved cultivars with suitable agronomic characteristics adapted to diverse ecological conditions. This research aimed to investigate the genetic diversity of native black cumin ecotypes using morpho-phenological markers and to identify suitable genotypes for cultivation in the Karaj region.

Methods: Twenty native ecotypes were evaluated in a randomized complete block design (RCBD) with three replications during the 2021-2022 growing season at the research farm of the Seed and Plant Improvement Institute (SPII) in Karaj, Iran.

Results: Analysis of variance revealed significant diversity among ecotypes for phenological traits (days to flowering and maturity), plant height, yield, and yield components (number of follicles per plant, number of seeds per follicle, and thousand-seed weight). Mean comparisons using Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$) showed that the highest seed yield was recorded in ecotypes with the greatest longitudinal and transverse follicle diameters, highest number of follicles per plant, highest number of seeds per follicle, and highest thousand-seed weight. The lowest and highest seed yields belonged to ecotypes TN-82-191 (946 kg/ha) and TN-82-750 (1749 kg/ha), respectively, representing a 45.88% difference. Furthermore, ecotype TN-82-750 showed a 26.08% superiority over the average yield. Seed yield displayed a significant positive correlation with follicle length (r= 0.67), number of follicles per plant (r = 0.84), and number of seeds per follicle (r= 0.60). Cluster analysis grouped the ecotypes into three distinct classes. The first group contained late-flowering and late-maturing ecotypes with higher stem branch numbers, plant height, and follicle diameter. The second group exhibited the highest seed yield, which was possibly attributable to a longer seed-filling period (i.e., the interval between flowering and seed maturity). Factor analysis indicated that the first three factors accounted for 73.90% of the total variation, named as morpho-phenological traits factor, yield and yield components factor, and longitudinal growth index factor, respectively.

Conclusion: Ecotype TN-82-750 was identified as an early-maturing, high-yielding sample; TN-82-691, TN-59-224, and IPK as medium-maturing; and TN-59-254 as a late-maturing, high-yielding ecotype. These ecotypes can be recommended for different regions depending on available water and input conditions. Overall, a high potential for genetic diversity was observed among the ecotypes, which—given their native status and high adaptability—can serve as a valuable genetic resource in breeding programs.

Cite this article: Hadadi Nejad, M., Fanaei, H. R., Bagheri, N., Marefatzadeh-Khameneh, M., & Rahmani, N. (2026). Evaluation of the genetic diversity of native ecotypes of black cumin (*Nigella sativa* L.) using morpho-phenological markers. *Journal of Crops Improvement*, 28 (2), 265-281. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.383659.2903

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.383659.2903

دوره بیست و هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با استفاده از نشانگرهای مورفوفنولوژیک

مهدی حدادی‌نژاد[۱] | حمیدرضا فنایی[۲]✉ | نادعلی باقری[۳] | مانی معرفت‌زاده خامنه[۴] | نوشین رحمانی[۵]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mm.hadadinejad@sanru.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: H.fanaie@areeo.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: Nadali Bagheri@sanru.ac.ir
۴. بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: mani.marefatzadeh@gmail.com
۵. گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: noosheen.rahmani@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

چکیده

هدف: گرایش جهانی به گیاه‌درمانی مسئله حفاظت از گونه‌های دارویی در تمام نقاط جهان را پر اهمیت کرده است. یکی از چالش‌های توسعه سیاه‌دانه عدم شناخت صفات مؤثر در بهبود عملکرد و نبود جمعیت یا رقم اصلاحی دارای ویژگی‌های زراعی مناسب با شرایط اکولوژیک مناطق کشور می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه با استفاده از نشانگرهای مورفوفنولوژیک و معرفی نمونه‌های مناسب کشت در منطقه کرج انجام شد.

روش پژوهش: تعداد ۲۰ اکوتیپ بومی در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱–۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ارزیابی شد.

یافته‌ها: تجزیه واریانس تنوع بالایی بین اکوتیپ‌ها از نظر صفات فنولوژیک (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی)، ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد فولیکول در بوته، تعداد بذر در فولیکول و وزن هزاردانه) نشان داد. در مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (احتمال ۵ درصد) بیش‌ترین عملکرد دانه در اکوتیپ‌هایی ثبت شد که بیش‌ترین قطر طولی و عرضی فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزاردانه را داشتند. کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به اکوتیپ‌های TN-82-191 (۹۴۶ کیلوگرم در هکتار) و TN-82-750 (۱۷۴۹ کیلوگرم در هکتار) با اختلاف ۴۵/۸۸ درصدی بود. هم‌چنین اکوتیپ TN-82-750 نسبت به میانگین عملکرد به‌دست‌آمده از برتری ۲۶/۰۷۸ درصدی برخوردار بود. عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری با صفات طول فولیکول (۰/۶۷)، تعداد فولیکول در بوته (۰/۸۴) و تعداد بذر در فولیکول (۰/۶۰) داشت. براساس تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌ها در سه دسته متمایز گروه‌بندی شدند. در گروه اول اکوتیپ‌های دیرگل و دیررس با تعداد انشعاب ساقه، ارتفاع بوته و قطر فولیکول بیش‌تر قرار گرفتند. در اکوتیپ‌های گروه دوم بیش‌ترین عملکرد دانه مشاهده شد که احتمالاً با طولانی‌تر بودن دوره بین گلدهی و رسیدگی دانه (دوره پرشدن دانه) مرتبط بود. در تجزیه به عامل‌ها سه عامل نخست ۷۳/۹۰ درصد از تغییرات را توجیه نمودند که به‌ترتیب عامل صفات مورفوفنولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص رشد طولی نام‌گذاری شدند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه، اکوتیپ TN-82-750 به‌عنوان نمونه زودرس، TN-82-691، TN-59-224 و IPK میان‌رس و TN-59-254 دیررس با عملکرد بالا شناسایی شدند. به‌نظر می‌رسد این اکوتیپ‌ها می‌توانند برای مناطق با فراهمی آب و نهاده‌های موجود قابل توصیه باشند. به‌طور کلی، بین اکوتیپ‌ها تنوع ژنتیکی بالقوه بالایی مشاهده شد که با توجه به بومی‌بودن و سازگاری بالا می‌توان از آن‌ها به‌عنوان منبع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها:
به‌نژادی
تجزیه خوشه‌ای
تنوع مورفوفنولوژیکی
ژرم‌پلاسم

استناد: حدادی‌نژاد، مهدی؛ فنایی، حمیدرضا؛ باقری، نادعلی؛ معرفت‌زاده خامنه، مانی و رحمانی، نوشین (۱۴۰۵). بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با استفاده از نشانگرهای مورفوفنولوژیک. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۲)، ۲۶۵–۲۸۱.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.383659.2903

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

امروزه مسئله حفاظت از گونه‌های دارویی و معطر به‌دلیل گرایش جهانی به گیاه‌درمانی و بازار رو به گسترش گیاهان دارویی در تمام نقاط جهان موردتوجه زیادی قرار گرفته است. بسیاری از گونه‌های دارویی و معطر دارای تنوع ژنتیکی کافی هستند و بخش زیادی از آن‌ها از طبیعت جمع‌آوری می‌شوند (فرنز[1] و همکاران، ۱۹۹۸). خوشبختانه تنوع آب‌وهوایی و شرایط اکولوژیکی مختلف کشور باعث تنوع گیاهان دارویی در سراسر ایران شده است (اتین[2] و همکاران، ۲۰۱۲). ارزیابی تنوع ژنتیکی قبل از شروع کارهای اصلاحی با مطالعات ژنتیکی امری ضروری است (ژلوا[3] و همکاران، ۲۰۰۷). اهلی‌سازی جمعیت‌های برتر انتخاب‌شده از بین تعداد زیادی توده وحشی و نژاد بومی موجود می‌تواند پیشرفت قابل‌توجهی در تأمین نیاز صنایع وابسته بدون نیاز به روش‌های پرهزینه و گران اصلاحی ایجاد نماید. منابع ژنتیکی بومی متنوع در یک منطقه منبع بسیاری از ژن‌های مفید در جهت اصلاح گیاهان می‌باشند. این ژن‌ها به‌طورعمده در گیاهان بومی یک منطقه طی قرن‌های متمادی به‌وجود آمده و ذخیره شده‌اند. جمعیت‌های وحشی جمع‌آوری شده از طبیعت و توده‌های موجود در بانک ژن و باغ‌های گیاه‌شناسی و ارقام بومی از منابع تنوع ژنتیکی طبیعی می‌باشند (رضایی[4] و همکاران، ۲۰۱۶).

یکی از گیاهان مهم با خاصیت دارویی فراوان سیاه‌دانه[5] می‌باشدگیاهی از تیره Ranunculaceae است. با وجود این‌که مرکز اصلی پراکنش سیاه‌دانه اروپا معرفی شده است، اما پراکنش آن در آسیای میانه و مناطق کوهستانی غرب آسیا و شمال آفریقا دیده می‌شود (کاپیتال[6] و همکاران، ۲۰۱۵). کشورهای هند، ترکیه و بنگلادش به‌ترتیب بیش‌ترین میزان سطح زیر کشت و تولید سیاه‌دانه را در جهان دارا هستند. در ایران با افزایش قیمت سیاه‌دانه و حمایت‌های وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت گیاه سیاه‌دانه با رشد حدود هفت برابری از حدود ۲۸۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ به حدود ۲ هزار هکتار رسیده است. اگرچه بیش‌ترین سطح زیر کشت این محصول در استان‌های گلستان و چهارمحال و بختیاری می‌باشد، اما در بعضی نقاط ایران مانند کرمانشاه و اراک به‌صورت خودرو وجود داشته و در بعضی نقاط دیگر مانند اصفهان و خراسان به‌صورت زراعی کاشته می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی کشور دارد (رمدان[7] و همکاران، ۲۰۰۲؛ مؤدی و راشد محصل، ۱۳۷۶).

۲. پیشینهٔ پژوهش

بررسی تنوع ژنتیکی سیاه‌دانه با استفاده از صفات زراعی و مورفولوژیکی توسط پژوهش‌گران مختلف انجام شده است (کیانی[8] و همکاران، ۲۰۲۰؛ فرهودی و مدحج، ۱۳۹۷؛ بیاتی[9] و همکاران، ۲۰۲۰). در یکی از این مطالعات سلامتی و زینلی (۱۳۹۰) تنوع ژنتیکی ۲۱ نمونه سیاه‌دانه متعلق به نقاط مختلف ایران را با استفاده از صفات مورفولوژیکی و زراعی بررسی و گزارش کردند که اختلاف نمونه‌های موردمطالعه برای کلیه صفات (عملکرد، تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین براساس تجزیه خوشه‌ای ۲۱ نمونه موردمطالعه در سه گروه مختلف قرار گرفتند. فراوانی[10] و همکاران (۲۰۰۶) تنوع زراعی و آناتومیکی ۲۰ اکوتیپ سیاه‌دانه از نقاط مختلف

1. Franze
2. Etienne
3. Zheleva
4. Rezaei
5. *Nigella sativa*
6. Kapital
7. Ramadan
8. Kiani
9. Bayati
10. Faravani

خراسان را موردبررسی قرار داده و بیان کردند که شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیکی بیش‌ترین وراثت‌پذیری و بازده ژنتیکی را داشته و از میان صفات موردبررسی، عملکرد بیولوژیکی و تعداد انشعابات ساقه تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. هم‌چنین با استفاده از تجزیه خوشه‌ای ۲۰ توده سیاه‌دانه را بر حسب خویشاوندی بیش‌تر به هفت گروه تقسیم نمودند. قلی‌زاده[1] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ۳۲ نمونه سیاه‌دانه ایرانی تفاوت معنی‌داری از لحاظ پارامترهای موردبررسی مشاهده کردند و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای این نمونه‌ها را در دو گروه متمایز دسته‌بندی کردند.

گلکار[2] و همکاران (۲۰۱۹) تعداد هشت صفت آگرومورفولوژیکی را برای بررسی تنوع ژنتیکی ۳۰ نمونه سیاه‌دانه مورداستفاده قرار دادند و تفاوت معنی‌داری میان توده‌های موردمطالعه براساس صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد فولیکول در بوته، قطر فولیکول، قطر ساقه، تعداد دانه در فولیکول، وزن دانه و عملکرد دانه در بوته مشاهده کردند. بیش‌ترین تنوع مشاهده‌شده در این مطالعه مربوط به صفات تعداد فولیکول در بوته و عملکرد دانه بود. حسینی[3] و همکاران (۲۰۱۸) تعداد ۱۶ توده بومی سیاه‌دانه را از مناطق مختلف ایران جمع‌آوری و براساس صفات مورفولوژیکی و پارامترهای مرتبط با عملکرد موردمطالعه و ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد دانه نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از نواحی معتدل بیش‌تر از نواحی دیگر بود. با این‌حال، توده‌های بومی نواحی خشک از شاخص برداشت و وزن هزاردانه بیش‌تری برخوردار بودند. ضمن این‌که همبستگی بالایی بین عملکرد دانه و صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، ارتفاع بوته، قطر بوته و تعداد شاخه‌ها مشاهده شد.

سیاه‌دانه به‌عنوان یکی از ذخایر ژنتیکی گیاهی مهم و با ارزش در کشور از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار می‌باشد و این تنوع می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای انتخاب جمعیت‌های برتر برای انجام برنامه‌ریزی در زمینه فعالیت‌های به‌نژادی به‌منظور بهبود صفات کمی و کیفی موردنظر باشد. عدم وجود ارقام اصلاحی سیاه‌دانه موجب شده است تا زراعت آن در اکثر مناطق کشور با استفاده از توده‌های بومی و گاهی ارقام وارداتی از هند صورت بگیرد که به‌دلیل عدم تطابق اکولوژی از بازدهی مناسبی در همه نقاط کشور برخوردار نمی‌باشند. از سوی دیگر، بانک ژن گیاهی ملی ایران دارای ژرم‌پلاسم غنی سیاه‌دانه می‌باشد که از نقاط مختلف کشور و هم‌چنین سراسر نقاط و بانک‌های ژن گیاهی جهان گردآوری و جمع‌آوری شده‌اند. ازآنجایی‌که تاکنون ارزیابی کامل و جامع این ژرم‌پلاسم ارزشمند به‌ویژه در ناحیه کرج با پتانسیل بالا در تولید گیاهان دارویی از جمله سیاه‌دانه مغفول مانده است و با توجه به این‌که یکی از چالش‌های مهم در توسعه این گیاه عدم شناخت صفات مؤثر در بهبود عملکرد و نبود جمعیت یا رقم اصلاحی دارای ویژگی‌های زراعی مناسب با شرایط اکولوژیک مناطق مختلف کشور می‌باشد، این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه با استفاده از نشانگرهای مورفوفنولوژی و معرفی نمونه‌های مناسب برای کشت در منطقه کرج انجام شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. مواد آزمایشی

در این مطالعه تعداد ۲۰ اکوتیپ بومی سیاه‌دانه تهیه‌شده از بانک ژن گیاهی ملی ایران واقع در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج موردبررسی و ارزیابی قرار گرفتند. فهرست نمونه‌های سیاه‌دانه موردبررسی در جدول (۱) درج شده است.

1. Gholizade
2. Golkar
3. Hosseini

جدول ۱. مشخصات اکوتیپ‌های سیاه‌دانه موردمطالعه

ردیف	اکوتیپ	مبدأ	ردیف	اکوتیپ	مبدأ
۱	KC-82-746	گلستان	۱۱	KC-59-267	کردستان
۲	KC-59-268	کردستان	۱۲	KC-59-257	کردستان
۳	KC-82-747	گلستان	۱۳	KC-59-256	کردستان
۴	KC-82-191	اصفهان	۱۴	KC-59-254	کردستان
۵	KC-59-259	کردستان	۱۵	KC-59-249	خراسان
۶	KC-59-248	همدان	۱۶	KC-82-750	خراسان جنوبی/ فردوس
۷	KC-59-252	کردستان	۱۷	KC-82-749	خراسان رضوی/ چناران
۸	KC-59-751	خراسان رضوی/ گناباد	۱۸	KC-82-691	سیستان و بلوچستان/ زابل
۹	KC-59-251	کردستان	۱۹	KC-59-224	کردستان
۱۰	KC-59-255	کردستان	۲۰	IPK	اتیوپی

۳. ۲. مکان و مشخصات آزمایش

این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه با استفاده از نشانگرهای مورفوفنولوژیک در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۲/۵ متر در فروردین‌ماه ۱۴۰۱ اجرا شد.

هر اکوتیپ در هر کرت شامل چهار خط بر روی دو پشته به طول دو متر با فواصل خطوط ۳۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور اطمینان از دست‌یابی به تراکم مطلوب به هنگام کشت بذر بیش‌تری روی خطوط کاشت استفاده شد. برای دست‌یابی به تراکم موردنظر در مرحله چهار تا شش‌برگی نسبت به تنک‌کردن بوته‌ها روی خطوط به فاصله ۵–۳ سانتی‌متر اقدام گردید. براساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل در هنگام کشت به خاک افزوده شد. کود اوره در دو نوبت به‌صورت سرک در مرحله شش برگی و غنچه‌دهی استفاده شد.

۳. ۳. صفات موردبررسی

ارزیابی صفات مورفولوژیکی از ۲۰ اکوتیپ و با سه تکرار (در مجموع ۶۰ کرت) انجام شد. به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک (زردشدن ۸۰ درصد بوته‌ها) به‌طور تصادفی تعداد پنج بوته از هر کرت و تکرار انتخاب و در مجموع ۱۵ بوته برای هر اکوتیپ در نظر گرفته شد. یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی شامل روز تا گلدهی (DF)[1] و رسیدگی (DM)[2] در زمانی‌که ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت به آن مرحله رسیدند انجام شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، صفات موردبررسی شامل ارتفاع بوته (PH، سانتی‌متر)[3]، تعداد انشعابات ساقه اصلی (NB)[4]، طول میانگره (IL، میلی‌متر)[5]، طول ساقه گل‌دهنده (FSL، سانتی‌متر)[6]، طول بلندترین شاخه فرعی (LSB، سانتی‌متر)[7]، قطر طولی و عرضی فولیکول (FW[8] و FL[9] میلی‌متر)، تعداد دانه در فولیکول (SF)[10]،

1. Days to flowering
2. Days to maturity
3. Plant height
4. Number of main branches
5. Internode lenght
6. Flowering stem lenght
7. Length of sub-branches
8. Follicule width
9. Follicule lenght
10. Seeds per follicule

تعداد فولیکول در بوته (FN)[1]، وزن هزاردانه (HSW[2]، گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از سطحی معادل یک مترمربع بوته‌ها برداشت شد و محاسبه انجام گرفت.

۳. ۴. تجزیه‌های آماری

ابتدا توزیع نرمال خطای داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف اسمیرنوف بررسی و تبدیل داده‌ها روی صفاتی که از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند به‌کمک توابع مختلف انجام شد. سپس تجزیه واریانس صفات براساس طرح آزمایشی موردنظر انجام و مقایسه میانگین صفات موردمطالعه نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همبستگی بین صفات با استفاده از روش پیرسون انجام شد. به‌منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌های موردمطالعه از تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward و معیار مربع فاصله اقلیدسی استفاده شد. تجزیه به عامل‌ها به‌منظور دسته‌بندی و درک ارتباط بین صفات موردمطالعه و ترسیم نمودار دو بعدی جهت بررسی توزیع اکوتیپ‌های موردمطالعه انجام شد. به‌منظور تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C، SPSS، Excel و XLSTAT استفاده شد.

۴. نتایج

۴. ۱. تجزیه واریانس صفات سیاه‌دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات موردمطالعه (جدول ۲) نشان داد که اکوتیپ‌های موردمطالعه دارای اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد برای صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا رسیدگی، تعداد انشعابات ساقه، طول ساقه گل‌دهنده، ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزاردانه و سطح احتمال ۵ درصد برای صفت طول بلندترین شاخه فرعی بودند. در این مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری بین اکوتیپ‌های موردمطالعه از نظر صفات طول میانگره، قطر طولی و عرضی فولیکول مشاهده نشد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در اکوتیپ‌های بومی سیاه‌دانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		DF	DM	NB	IL	FSL	LSB	FW	FL	PH	FN	SF	HSW	SY
تکرار	۲	۷/۸۲	۰/۲۲	۲/۳۵	۰/۰۱	۷/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۳۹	۴/۴۴	۱۳/۷۵	۴۱/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۴۶
اکوتیپ	۱۹	۱۳۵/۷۹**	۱۶۷/۳۵**	۳/۶۶**	۰/۰۰۲^{ns}	۴۶/۰۹**	۱۱/۹۷*	۰/۶۶^{ns}	۰/۷۴^{ns}	۱۸۱/۲۸**	۴۶/۳۴**	۳۴۷/۹۱**	۰/۰۲۴**	۲/۲۹**
خطا	۳۸	۲/۵۲	۷/۹۷	۰/۵۲	۰/۰۰۱	۶/۵۶	۵/۷۲	۰/۳۸	۰/۹۹	۶/۵۷	۷/۰۴	۳۶/۵۳	۰/۰۰۴	۰/۹۹
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۵۱	۲/۹۹	۱۱/۱۴	۱/۱۲	۱۰/۰۵	۱۶/۰۲	۶/۰۵	۱۰/۱۵	۶/۴۷	۲۲/۸۴	۸/۵۶	۱۰/۷۹	۳/۹۷

DF، روز تا گلدهی؛ DM، روز تا رسیدگی؛ NB، تعداد انشعاب ساقه؛ IL، طول میانگره؛ FSL، طول ساقه گلدهنده، LSB، طول بلندترین شاخه فرعی؛ FW، عرض فولیکول؛ FL، طول فولیکول؛ PH، ارتفاع بوته؛ FN، تعداد فولیکول در بوته؛ SF، تعداد بذر در فولیکول؛ HSW، وزن هزاردانه؛ SY، عملکرد دانه.

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

۴. ۲. آماره‌های توصیفی

آماره‌های توصیفی صفات اندازه‌گیری‌شده در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه موردمطالعه در جدول (۳) درج شده است. در این مطالعه زودترین زمان گلدهی ۵۱ و دیرترین زمان گلدهی ۷۳ روز با متوسط ۶۳/۳۳ روز ثبت گردید. زودرس‌ترین و دیررس‌ترین زمان رسیدگی نیز به‌ترتیب ۸۱ و ۱۰۲ روز با متوسط ۹۴/۴۸ روز بود. کم‌ترین تعداد انشعاب ساقه ۴ و

1. Follicule number per plant
2. Hundred seeds weight

بیش‌ترین تعداد این صفت ۸ انشعاب با متوسط ۶/۴۶ ثبت گردید. متوسط طول میانگره ۳/۶۴۸ میلی‌متر بود. کوتاه‌ترین و طویل‌ترین میانگره‌ها نیز به‌ترتیب ۲/۵۰ و ۶/۰۵ میلی‌متر طول داشتند. طویل‌ترین و کوتاه‌ترین ساقه‌های گل‌دهنده به‌ترتیب ۳۲/۱۶ و ۱۶/۶۲ سانتی‌متر با متوسط ۲۵/۴۹ سانتی‌متر بودند.

جدول ۳. آماره‌های توصیفی مرتبط با صفات موردمطالعه در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه

صفت	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
روز تا گلدهی	۲۲	۵۱	۷۳	۶۳/۳۳	۶/۷۳
روز تا رسیدگی	۲۱/۶۷	۸۰/۶۷	۱۰۲/۳۳	۹۴/۴۸	۷/۴۷
تعداد انشعابات ساقه	۳/۷۸	۴/۱۱	۷/۸۹	۶/۴۶	۱/۱۰
طول میانگره (میلی‌متر)	۳/۵۴	۲/۵۰	۶/۰۵	۳/۶۵	۰/۸۲
طول ساقه گل‌دهنده (سانتی‌متر)	۱۵/۵۳	۱۶/۶۲	۳۲/۱۶	۲۵/۴۹	۳/۹۲
طول بلندترین شاخه فرعی (سانتی‌متر)	۸/۶۴	۱۰/۸۶	۱۹/۵۰	۱۴/۹۳	۱/۹۹
قطر فولیکول (میلی‌متر)	۱/۵۳	۹/۱۶	۱۰/۶۸	۱۰/۱۴	۰/۴۷
طول فولیکول (میلی‌متر)	۲/۰۲	۸/۴۷	۱۰/۵۰	۹/۸۲	۰/۴۹
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۲۷/۵۴	۲۱/۹۶	۴۹/۵۰	۳۹/۶۲	۷/۷۷
تعداد فولیکول در بوته	۱۶/۰۰	۵/۳۳	۲۱/۳۳	۱۱/۶۲	۳/۹۳
تعداد بذر در فولیکول	۳۶/۷	۵۵/۷	۹۲/۴	۷۰/۶	۱۰/۷۷
وزن هزاردانه (گرم)	۱/۲۲	۲/۱۸	۳/۴۱	۲/۴۵	۰/۳۱
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۸۰۲/۶۱	۹۴۶/۶۷	۱۷۴۹/۲۸	۱۲۹۲/۹۵	۲۶۳/۷۶

بلندترین و کوتاه‌ترین شاخه فرعی به‌ترتیب ۱۹/۵۰ و ۱۰/۸۶ سانتی‌متر با متوسط ۱۴/۹۳ سانتی‌متر طول داشتند. کم‌ترین قطر طولی و عرضی فولیکول به‌ترتیب ۸/۴۷۳ و ۹/۱۵۸ میلی‌متر و بیش‌ترین میزان این صفات به‌ترتیب ۱۰/۴۹۷ و ۱۰/۶۸۴ میلی‌متر بود. ارتفاع بوته با متوسط ۳۹/۶۲ سانتی‌متر، در کوتاه‌ترین و بلندترین اکوتیپ‌ها به‌ترتیب ۲۱/۹۶ و ۴۹/۵۰ سانتی‌متر از سطح زمین اندازه‌گیری و ثبت شد. کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد فولیکول در بوته به‌ترتیب ۵/۳۳ و ۲۱/۳۳ عدد با متوسط ۱۱/۶۲ فولیکول در بوته بود. متوسط تعداد بذر در فولیکول ۷۰/۵۸ عدد بود. در کم‌ترین و بیش‌ترین میزان ثبت‌شده از فولیکول‌ها به‌ترتیب تعداد ۵۵/۷ و ۹۲/۴ بذر شمارش شد. اگرچه دامنه تغییرات وزن هزاردانه در اکوتیپ‌های موردمطالعه چندان بالا نبود (۱/۲۲). با این‌حال، سبک‌ترین و سنگین‌ترین بذرها به‌ترتیب ۲/۱۸ و ۳/۴۱ گرم با متوسط وزن هزاردانه ۲/۴۵ گرم وزن داشتند. در نهایت عملکرد دانه در هکتار که دارای دامنه تغییرات بزرگی معادل ۸۰۲/۶۱۱ کیلوگرم در هکتار بود، در کم‌عملکردترین اکوتیپ‌ها ۹۴۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار، در پر عملکردترین اکوتیپ‌ها ۱۷۴۹/۲۷۸ کیلوگرم در هکتار و به‌طور متوسط ۱۲۹۲/۹۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شد.

۴. ۳. مقایسه میانگین‌ها

نتایج مقایسه میانگین‌های صفات موردمطالعه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد در جدول (۴) درج شده است. همانطورکه ملاحظه می‌شود کوتاه‌ترین زمان گلدهی مربوط به اکوتیپ‌های شماره TN-59-249 و TN-82-750 به‌ترتیب با ۵۱ و ۵۲ روز تا ۵۰ درصد گلدهی بود. دیرگل‌ترین اکوتیپ‌های موردمطالعه، اکوتیپ TN-82-191 با ۷۳ روز و اکوتیپ‌های شماره TN-59-248، TN-59-224 و TN-59-255 به‌ترتیب با ۶۹ روز تا ۵۰ درصد گلدهی بودند. زودرس‌ترین اکوتیپ‌ها با ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۳ و۵۶ روز تا زمان رسیدگی نمونه‌های TN-82-746، TN-59-268، TN-59-249، TN-82-750 و TN-82-749 بودند (از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین این اکوتیپ‌ها در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشت).

اکوتیپ‌های شماره TN-59-248 و TN-82-191 با ۱۰۲ روز و TN-59-224 با ۱۰۲ روز تا زمان رسیدگی، دیررس‌ترین نمونه‌های موردمطالعه بودند. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد انشعابات ساقه به‌ترتیب مربوط به اکوتیپ شماره TN-59-254 با ۷/۸۹ انشعاب و TN-82-749 با ۴/۱۱ انشعاب بود. کوتاه‌ترین طول میانگره مربوط به اکوتیپ TN-59-224 با ۱/۵۸ میلی‌متر بود. بلندترین میانگره در اکوتیپ‌های TN-59-249 و TN-82-750 به‌ترتیب با ۱/۶۷ و ۱/۶۶ میلی‌متر ثبت شد. اکوتیپ‌های TN-59-249 (۱۶/۶۲ سانتی‌متر) و TN-82-750 (۱۶/۸۲ سانتی‌متر) کوتاه‌ترین و اکوتیپ TN-59-257 (۳۲/۱۶ سانتی‌متر) بلندترین ساقه گل‌دهنده را داشتند. هم‌چنین کوتاه‌ترین و بلندترین شاخه فرعی به‌ترتیب در اکوتیپ‌های IPK (۱۰/۸۶ سانتی‌متر) و TN-59-257 (۱۹/۵۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. کم‌ترین و بیش‌ترین قطر عرضی فولیکول مربوط به اکوتیپ‌های TN-82-691 و TN-59-751 (به‌ترتیب ۹/۱۵۸ و ۱۰/۶۸ میلی‌متر) بود. اکوتیپ‌های TN-82-191 (۸/۴۷۶ میلی‌متر) و TN-59-252 (۱۰/۵۰ میلی‌متر) به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین طول فولیکول را داشتند. کوتاه‌ترین بوته‌ها در اکوتیپ‌های TN-59-249 (۲۱/۹۵ سانتی‌متر) و TN-82-750 (۲۳/۷۴ سانتی‌متر) و بلندترین آن‌ها در اکوتیپ TN-59-259 (۴۹/۵۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری و ثبت شد. اکوتیپ‌های TN-59-255 و IPK به‌ترتیب کم‌ترین (۵/۳۳ فولیکول) و بیش‌ترین (۲۱/۳۳ فولیکول) تعداد فولیکول در بوته را داشتند. کم‌ترین تعداد دانه در فولیکول مربوط به اکوتیپ‌های TN-59-249 و TN-82-746 به‌ترتیب با ۵۵/۶۷ و ۵۶/۰۰ دانه بود. این در حالی بود که اکوتیپ IPK با تعداد ۹۲/۴۰ دانه بیش‌ترین تعداد دانه در فولیکول را به خود اختصاص داد. کم‌ترین وزن هزاردانه در اکوتیپ TN-82-191 (۲/۳۳ گرم) و بیش‌ترین میزان در اکوتیپ‌های TN-82-746 و TN-59-268 (به‌ترتیب با ۲/۵۱ و ۲/۴۱ گرم) مشاهده شد. در نهایت کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به اکوتیپ‌های TN-82-191 (۹۴۶ کیلوگرم در هکتار) و TN-82-750 (۱۷۴۹ کیلوگرم در هکتار) بود که اختلاف ۴۵/۸۸ درصدی بین آن‌ها وجود داشت. هم‌چنین اکوتیپ TN-82-750 نسبت به میانگین عملکرد به‌دست‌آمده در این مطالعه از برتری ۲۶/۰۷۸ برخوردار بود.

جدول ٤. مقایسه میانگین‌های صفات سیاه‌دانه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

اکوتیپ	DF	DM	NB	IL	LSB	FSL	FL
KC-82-746	۵۶/۶۷f	۸۰/۶۷g	۵/۱۱efg	۱/۶۳bc	۱۵/۶۰abc	۲۵/۱۷b-g	۹/۹۴ab
KC-59-268	۵۶/۳۳f	۸۲/۰۰g	۴/۷۸fg	۱/۶۲bcd	۱۵/۰۳a-d	۲۲/۴۴fg	۹/۶۴ab
KC-82-747	۶۴/۶۷d	۹۹/۳۳a-d	۶/۷۷a-d	۱/۵۹e-h	۱۳/۲۷bcd	۲۴/۲۸c-g	۹/۹۶ab
KC-82-191	۷۳/۰۰a	۱۰۲/۳۰a	۷/۵۸ab	۱/۵۸gh	۱۶/۲۲abc	۲۷/۲۲b-f	۸/۴۷b
KC-59-259	۶۷/۶۷bc	۱۰۰/۰۰a-d	۶/۷۵a-d	۱/۶۱cde	۱۶/۲۱abc	۲۹/۳۹ab	۹/۸۸ab
KC-59-248	۶۹/۰۰b	۱۰۲/۳۰a	۶/۸۳abc	۱/۵۹fgh	۱۲/۸۴bcd	۲۷/۴۰a-g	۹/۴۲ab
KC-59-252	۶۶/۶۷bcd	۹۵/۶۷def	۶/۶۶a-d	۱/۶۰efg	۱۴/۷۳bcd	۲۶/۱۵b-g	۱۰/۴۹a
KC-59-751	۶۷/۳۳bcd	۹۶/۶۷b-f	۶/۳۳b-e	۱/۶۲bcd	۱۵/۸۸abc	۲۷/۹۵a-e	۹/۲۴ab
KC-59-251	۶۶/۳۳bcd	۹۹/۰۰a-e	۷/۲۲abc	۱/۶۱cde	۱۵/۸۵abc	۲۹/۲۷abc	۹/۸۳ab
KC-59-255	۶۸/۶۷b	۹۸/۶۷a-e	۶/۵۰a-d	۱/۶۲bcd	۱۴/۹۳a-d	۲۶/۱۷b-g	۸/۹۱ab
KC-59-267	۶۸/۰۰bc	۹۶/۶۷b-f	۷/۰۰a-d	۱/۶۲bcd	۱۴/۸۹a-d	۲۶/۰۳b-g	۱۰/۳۱ab
KC-59-257	۶۷/۳۳bcd	۹۶/۳۳c-f	۷/۵۰abc	۱/۵۹fgh	۱۹/۵۰a	۳۲/۱۶a	۹/۷۳ab
KC-59-256	۶۵/۰۰cd	۹۳/۶۷ef	۷/۵۵ab	۱/۶۰efg	۱۵/۵۱a-d	۲۷/۹۸a-e	۹/۷۳ab
KC-59-254	۶۸/۰۰bc	۹۹/۰۰ae	۷/۸۸a	۱/۵۸gh	۱۷/۴۴ab	۲۸/۷۸a-d	۱۰/۱۲ab
KC-59-249	۵۰/۶۷h	۸۲/۶۷g	۴/۴۴g	۱/۶۶a	۱۵/۴۳a-d	۱۶/۶۲h	۹/۸۱ab
KC-82-750	۵۲/۰۰h	۸۲/۶۷g	۵/۷۷def	۱/۶۵a	۱۶/۵۱abc	۱۶/۸۲h	۱۰/۳۶ab
KC-82-749	۵۳/۰۰gh	۸۵/۶۷g	۴/۱۱g	۱/۶۳bc	۱۳/۵۸bcd	۲۲/۲۶g	۱۰/۰۵ab
KC-82-691	۵۵/۳۳fg	۹۳/۰۰f	۶/۱۱cde	۱/۶۳b	۱۲/۲۵cd	۲۳/۳۸efg	۱۰/۰۲ab
KC-59-224	۶۹/۰۰b	۱۰۲/۰۰ab	۶/۶۶a-d	۱/۵۸h	۱۱/۹۵cd	۲۳/۹۴d-g	۱۰/۲۳abb
IPK	۶۲/۰۰e	۱۰۱/۳۰abc	۷/۶۶ab	۱/۶۰def	۱۰/۸۶d	۲۴/۷۹c-g	۱۰/۱۵a

ادامه جدول ٤. مقایسه میانگین‌های صفات سیاه‌دانه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

اکوتیپ	FW	PH	FN	SF	HSW	SY
KC-82-746	۹/۴۸abc	۳۲/۴۴h	۸/۵۵fgh	۵۶/۰۰i	۲/۵۱a	۱۰۵۲ab
KC-59-268	۹/۳۴bc	۳۳/۲۱h	۱۰/۰۰d-h	۵۹/۰۷hi	۲/۴۱a	۱۰۲۳ab
KC-82-747	۱۰/۲۱abc	۴۶/۶۰a-d	۱۱/۹۴c-g	۶۸/۰۰d-h	۲/۲۸cd	۱۳۵۱ab
KC-82-191	۱۰/۵۸a	۳۳/۱۷h	۱۰/۰۰d-h	۵۹/۴۰hi	۲/۱۹e	۹۴۶b
KC-59-259	۹/۸۵abc	۴۹/۵۰a	۸/۶۷fgh	۶۰/۷۰hi	۲/۳۸bc	۱۰۷۴ab
KC-59-248	۹/۹۳abc	۴۰/۰۰fg	۷/۲۲gh	۶۴/۵۳ghi	۲/۲۷cde	۹۹۷ab
KC-59-252	۱۰/۴۴ab	۴۴/۷۱b-f	۱۰/۱۱d-h	۶۷/۱۰e-i	۲/۳۰cd	۱۲۸۵ab
KC-59-751	۱۰/۶۸a	۴۱/۶۸ef	۸/۳۸fgh	۷۴/۹۳c-g	۲/۴۴cd	۱۰۷۸ab
KC-59-251	۱۰/۳۰abc	۴۲/۸۲def	۹/۶۷e-h	۷۸/۳۰b-e	۲/۳۸cd	۱۳۰۸ab
KC-59-255	۱۰/۱۱abc	۴۲/۳۸def	۵/۳۳h	۷۳/۷۳c-g	۲/۴۴cd	۹۹۶ab
KC-59-267	۱۰/۴۸ab	۴۰/۰۲fg	۱۵/۵۶bc	۷۹/۳۳bcd	۲/۴۵cd	۱۴۳۷ab
KC-59-257	۱۰/۰۶abc	۴۷/۸۰abc	۹/۰۰fgh	۸۱/۴۷bc	۲/۲۴ab	۱۴۴۳ab
KC-59-256	۱۰/۶۶a	۴۵/۹۲a-e	۱۳/۰۰b-g	۶۶/۲۰f-i	۲/۲۹cd	۱۳۶۰ab
KC-59-254	۹/۹۶abc	۴۹/۲۳ab	۱۷/۲۲ab	۸۸/۲۷ab	۲/۲۲cd	۱۶۴۶ab
KC-59-249	۱۰/۴۶ab	۲/۹۵i	۱۲/۲۲b-g	۵۵/۶۷i	۳/۴۱cd	۱۱۷۶ab
KC-82-750	۹/۵۰abc	۲۳/۷۴i	۱۴/۸۹bcd	۷۶/۱۳c-f	۳/۱۹bc	۱۷۴۹a
KC-82-749	۱۰/۳۷ab	۳۵/۹۷gh	۹/۰۰fgh	۷۴/۵۳c-g	۲/۵۱cde	۱۰۴۷ab
KC-82-691	۹/۱۶c	۳۵/۳۰h	۱۶/۰۰bc	۵۷/۸۰hi	۲/۵۴cd	۱۵۶۸ab
KC-59-224	۱۰/۶۵a	۴۲/۲۸def	۱۴/۳۳cde	۷۸/۱۳b-e	۲/۱۸cde	۱۶۲۰ab
IPK	۱۰/۵۷a	۴۳/۷۲def	۲۱/۳۳a	۹۲/۴۰a	۲/۳۳de	۱۶۹۴ab

DF، روز تا گلدهی؛ DM، روز تا رسیدگی؛ NB، تعداد انشعاب ساقه؛ IL، طول میانگره؛ FSL، طول ساقه گلدهنده، LSB، طول بلندترین شاخه فرعی؛ FW، عرض فولیکول؛ FL، طول فولیکول؛ PH، ارتفاع بوته؛ FN، تعداد فولیکول در بوته؛ SF، تعداد بذر در فولیکول؛ HSW، وزن هزاردانه؛ SY، عملکرد دانه.

۴. ۴. تجزیه همبستگی

نتایج تجزیه همبستگی صفات موردمطالعه در جدول (۵) نشان داده شده است. بیش‌ترین ضریب همبستگی مثبت معنی‌دار در این مطالعه بین صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی (۰/۸۷۶) به‌دست آمد. تعداد فولیکول در بوته نیز همبستگی معنی‌دار مثبت و بالایی با عملکرد دانه (۰/۸۴۰) داشت. در موارد دیگر، همبستگی مثبت معنی‌دار و بالایی بین صفات طول شاخه گل‌دهنده با ارتفاع بوته (۰/۸۳۸) و تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۸۰۱)، تعداد شاخه فرعی با تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۸۰۲) و تعداد روز تا رسیدگی (۰/۸۲۸)، طول شاخه گل‌دهنده با تعداد روز تا رسیدگی (۰/۶۶۵) و تعداد شاخه فرعی (۰/۷۰۲)، ارتفاع بوته با تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۷۱۴) و تعداد روز تا رسیدگی (۰/۷۲۰) و عملکرد دانه با قطر طولی فولیکول (۰/۶۶۸) و تعداد دانه در فولیکول (۰/۶۰۱) مشاهده شد. از سوی دیگر، همبستگی منفی معنی‌داری بین طول میانگره با تعداد روز تا رسیدگی (۰/۵۹۰-) و قطر فولیکول با طول میانگره (۰/۵۷۳-) وجود داشت. در این مطالعه، وزن هزاردانه همبستگی منفی معنی‌داری با صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۷۶۳-)، تعداد روز تا رسیدگی (۰/۶۸۷-)، تعداد شاخه فرعی (۰/۶۲۱-)، طول شاخه فرعی (۰/۸۰۳-) و ارتفاع بوته (۰/۸۰۱-) داشت.

۴. ۵. تجزیه خوشه‌ای

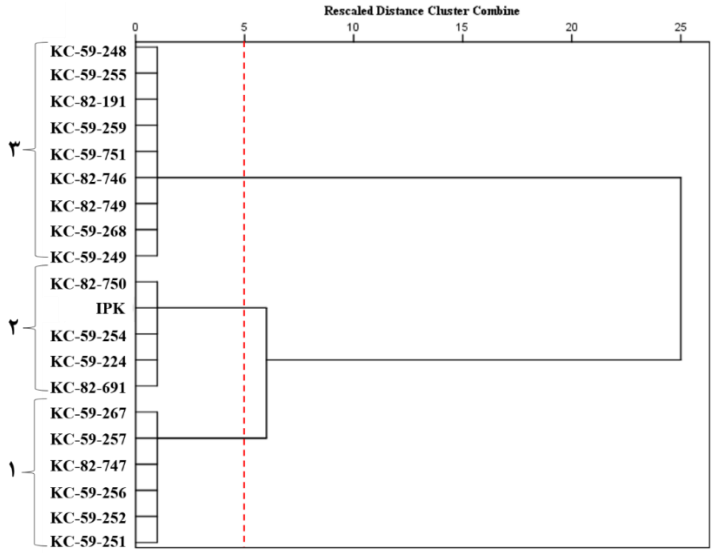
به‌منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌های موردمطالعه از تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward و فاصله مربع اقلیدسی استفاده شد. بر این اساس اکوتیپ‌های موردمطالعه در سه گروه اصلی گروه‌بندی شدند (شکل ۱) که به‌کمک تجزیه تابع تشخیص ۱۰۰ درصد موردتأیید قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود در هر یک از گروه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای به‌ترتیب ۶، ۵ و ۹ اکوتیپ قرار گرفت. در گروه اول اکوتیپ‌های TN-59-251، TN-59-252، TN-59-256، TN-82-747، TN-59-257 و TN-59-267؛ در گروه دوم اکوتیپ‌های TN-82-691، TN-59-224، TN-59-254، IPK و TN-82-750 و در گروه سوم

اکوتیپ‌های TN-59-249، TN-59-268، TN-82-749، TN-82-746، TN-59-751، TN-59-259، TN-82-191، TN-59-255 و TN-59-248 قرار گرفتند.

جدول ۵. ضرایب همبستگی ساده بین صفات اکوتیپ‌های موردمطالعه سیاه‌دانه

	DF	DM	NB	IL	FSL	LSB	FW	FL	PH	FN	SF	HSW	SY
DF	۱												
DM	۰/۸۸**	۱											
NB	۰/۸۰**	۰/۸۳**	۱										
IL	-۰/۳۰	-۰/۵۹**	-۰/۳۶	۱									
FSL	۰/۸۰**	۰/۶۶**	۰/۷۰**	۰/۰۰۲	۱								
LSB	۰/۱۴	-۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۳۳	۱							
FW	۰/۴۶**	۰/۴۷**	۰/۳۴	-۰/۵۷**	۰/۲۰	-۰/۱۰	۱						
FL	-۰/۳۸	-۰/۲۵	-۰/۱۲	۰/۱۱	-۰/۲۹	-۰/۲۰	-۰/۱۴	۱					
PH	۰/۷۱**	۰/۷۲**	۰/۶۹**	-۰/۱۱	۰/۸۴**	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۰۶	۱				
FN	-۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۵۵**	-۰/۰۱	۱			
SF	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۴۹**	-۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۰۰۳	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۴۵**	۰/۴۶**	۱		
HSW	-۰/۷۶**	-۰/۶۹**	-۰/۶۲**	۰/۰۸	-۰/۸۰**	۰/۰۹	-۰/۲۱	۰/۱۹	-۰/۸۰**	۰/۰۹	-۰/۲۶	۱	
SY	-۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۷	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۳	-۰/۰۳	۰/۶۷**	۰/۱۲	۰/۸۴**	۰/۶۰**	۰/۰۸	۱

DF، روز تا گلدهی؛ DM، روز تا رسیدگی؛ NB، تعداد انشعاب ساقه؛ IL، طول میانگره؛ FSL، طول ساقه گلدهنده، LSB، طول بلندترین شاخه فرعی؛ FW، عرض فولیکول؛ FL، طول فولیکول؛ PH، ارتفاع بوته؛ FN، تعداد فولیکول در بوته؛ SF، تعداد بذر در فولیکول؛ HSW، وزن هزاردانه؛ SY، عملکرد دانه. ضرایب همبستگی معنی‌دار با خط مشخص شده‌اند. به‌طوری‌که ضرایب معنی‌دار مثبت با دو خط و ضرایب معنی‌دار منفی با یک خط متمایز شده‌اند.



شکل ۱. دندوگرام تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه براساس صفات مورفوفنولوژیک موردبررسی

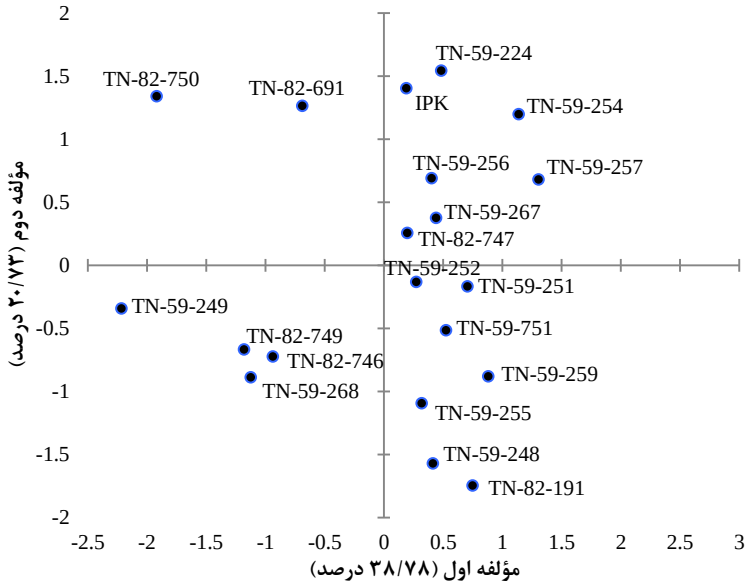
۴. ۶. تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها براساس صفات مورفوفنولوژیکی موردبررسی نشان داد که سه عامل نخست دارای مقادیر ویژه بیش‌تر از یک بوده و بیش‌ترین درصد تغییرات بین داده‌ها را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). این سه عامل در مجموع ۷۳/۹۰ درصد از تنوع موجود بین داده‌ها را توضیح دادند. عامل اول با توضیح ۳۹/۸۴۸ درصد از تنوع داده‌ها، از لحاظ

صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۹۲۹)، تعداد روز تا رسیدگی (۰/۸۶۱)، تعداد انشعابات فرعی (۰/۸۵۵)، طول ساقه گل‌دهنده (۰/۹۲۷)، ارتفاع بوته (۰/۸۷۵) و وزن هزاردانه (۰/۸۳۳) دارای مقادیر بالاتری بود. عامل دوم با توضیح ۲۲/۲۱۶ درصد از تغییرات داده‌ها بیش‌ترین ارزش را از لحاظ طول فولیکول (۰/۶۸۳)، تعداد فولیکول در بوته (۰/۸۰۶)، تعداد بذر در فولیکول (۰/۵۵۳) و عملکرد دانه (۰/۹۶۹) داشت. در نهایت، عامل سوم با توضیح ۱۱/۸۳۵ درصد از تغییرات داده‌ها، ارزش بالایی از لحاظ صفات طول میانگره (۰/۸۵۴) و طول بلندترین شاخه فرعی (۰/۷۶۲) داشت (شکل ۲).

جدول ٦. مقادیر و بردارهای ویژه در تجزیه به عامل‌ها براساس صفات مورفوفنولوژیک سیاه‌دانه

عامل	۱	۲	۳
مقدار ویژه	۵/۱۸۰	۲/۸۸۸	۱/۵۳۹
درصد تغییرات	۳۹/۸۴۸	۲۲/۲۱۶	۱۱/۸۳۵
درصد تغییرات تجمعی	۳۹/۸۴۸	۶۲/۰۶۵	۷۳/۹۰۰
صفات		ضرایب بار عاملی	
روز تا گلدهی	۰/۹۲۹	−۰/۱۷۶	−۰/۱۶۱
روز تا رسیدگی	۰/۸۶۱	۰/۰۳۵	−۰/۴۵۶
تعداد انشعابات ساقه	۰/۸۵۵	۰/۲۷۴	−۰/۱۲۸
طول میانگره (میلی‌متر)	−۰/۲۲۵	−۰/۰۹۴	۰/۸۵۴
طول ساقه گل‌دهنده (سانتی‌متر)	۰/۹۲۷	−۰/۱۶۴	۰/۲۳۲
طول بلندترین شاخه فرعی (سانتی‌متر)	۰/۱۹۵	−۰/۱۵۸	۰/۷۶۲
قطر فولیکول (میلی‌متر)	۰/۳۷۱	−۰/۰۰۵	−۰/۴۵۴
طول فولیکول (میلی‌متر)	−۰/۲۲۹	۰/۶۸۳	۰/۱۰۳
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۰/۸۷۵	۰/۱۴۹	۰/۰۶۲
تعداد فولیکول در بوته	−۰/۰۷۴	۰/۸۰۶	−۰/۲۶۸
تعداد بذر در فولیکول	۰/۴۱۹	۰/۵۵۳	−۰/۱۱۱
وزن هزاردانه (گرم)	−۰/۸۳۳	۰/۰۷۱	۰/۰۲۷
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۳۵	۰/۹۶۹	−۰/۰۳۷
تعداد صفت هر عامل	۷	۴	۲



شکل ۲. نمودار دو بعدی دو مؤلفه نخست در تجزیه به عامل‌ها براساس صفات مورفوفنولوژیک سیاه‌دانه

۵. بحث

وجود تنوع ژنتیکی یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل مؤثر در پیش‌برد فعالیت‌های به‌نژادی گیاهی می‌باشد. همان‌طورکه در این مطالعه دیده شد اختلاف آماری معنی‌داری بین اکوتیپ‌های موردمطالعه وجود داشت که نشان‌دهنده وجود تنوع قابل ملاحظه در نمونه‌های سیاه‌دانه موردبررسی است. محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی خود تنوع ژنتیکی بالایی در بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه از لحاظ صفات موردبررسی مشاهده نمودند که این تنوع را به‌عنوان یک پتانسیل ارزشمند برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی سیاه‌دانه معرفی کردند. در مطالعه آن‌ها اختلاف آماری معنی‌داری از لحاظ صفات ارتفاع ساقه، تعداد انشعابات اصلی، تعداد گره تا اولین گل، طول ساقه گل‌دهنده، طول شاخه فرعی، طول بلندترین شاخه فرعی، عرض فولیکول، طول فولیکول، وزن هزاردانه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در هر برچه و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. انتونو[1] و همکاران (۲۰۰۲) نیز در ارزیابی عملکرد دو گونه سیاه‌دانه در شمال ایتالیا نشان دادند که تنوع بالایی برای صفات تعداد دانه در فولیکول، عملکرد دانه و وزن هزاردانه وجود داشت. در مطالعات دیگر وجود تنوع بین صفات مورفولوژیکی سیاه‌دانه گزارش شده است (احمد[2] و همکاران، ۲۰۰۹؛ فرهودی و مدحج، ۱۳۹۷؛ بیاتی[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

در بین صفات موردمطالعه تعداد شاخه فرعی، تعداد و طول فولیکول، وزن هزاردانه و طول شاخه فرعی از ضریب تغییرات نسبتاً بالایی برخوردار بودند که نشان‌دهنده تأثیر زیاد محیط بر روی آن‌ها (که جزو صفات مرتبط با عملکرد دانه می‌باشند) نسبت به سایر صفات موردمطالعه می‌باشد. در حقیقت، بین اکوتیپ‌ها به لحاظ طول دوره رشد و ظهور مراحل فنولوژیک تفاوت وجود داشت که این امر به‌نوبه خود در تکامل و تمایز اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک سیاه‌دانه مانند (تعداد شاخه فرعی، تعداد و طول فولیکول، وزن هزاردانه و طول شاخه فرعی) با وجود شرایط یکسان در یک محیط تأثیر بالایی دارد. در تطابق با نتایج حاضر، تنوع بالایی در صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در فولیکول (واثقی و همکاران، ۱۳۹۲) و ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و وزن فولیکول (سلامتی و زینلی، ۱۳۹۰) گزارش شده است.

در مقایسات میانگین‌ها صفات موردمطالعه بیش‌ترین میزان صفات قطر طولی و عرضی فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزاردانه در اکوتیپ‌هایی مشاهده شد که عملکرد دانه بالایی نیز داشتند. براساس مطالعه سلامتی و زینلی (۱۳۹۰) صفات تعداد دانه در فولیکول، تعداد انشعاب ساقه و عملکرد بیولوژیکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد سیاه‌دانه می‌باشند که نشان‌دهنده آن است که توده‌هایی که از مقادیر بالای این صفات برخوردارند از عملکرد بالاتری برخوردار خواهند بود. لذا می‌توان از این اکوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی به‌منظور تولید ارقام پرمحصول استفاده کرد. محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) نیز براساس مقایسه میانگین‌ها گزارش نمودند که صفات تعداد برگ، تعداد انشعابات ساقه، تعداد گل در بوته، وزن تر و خشک، تعداد برچه در هر فولیکول از جمله صفات مهم گیاه سیاه‌دانه می‌باشند و با انتخاب توده‌های برتر از نظر این صفات می‌توان اقدام به انتخاب توده‌هایی با عملکرد بالا نمود. از طرفی طول میانگره بیش‌تر منجر به تولید بوته‌های پا بلند می‌شود، توده‌های پابلند از عملکرد دانه بهتری نسبت به توده‌های پاکوتاه برخوردار هستند. اگرچه در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین طول میانگره و ارتفاع بوته مشاهده نشد، اما اکوتیپ TN-59-249 و TN-82-750 با ۱/۶ سانتی‌متر بیش‌ترین طول میانگره و عملکرد دانه را داشتند. به عقیده محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸)، هرچه قطر طولی و عرضی فولیکول بیش‌تر باشد تعداد دانه در برچه، وزن فولیکول و در نتیجه عملکرد دانه بیش‌تر خواهد شد. هم‌چنین داشتن تعداد انشعابات بیش‌تر و در نتیجه تعداد گل و درنهایت

1. Antuono
2. Ahmad
3. Bayati

فولیکول‌های بیش‌تر می‌تواند عملکرد دانه بیش‌تری را برای گیاه تولید کند. به‌نظر می‌رسد این صفات از طریق اثرات غیرمستقیم و متقابل خود موجب افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه موردبررسی شده‌اند.

در این راستا دانش کافی از همبستگی بین صفات از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی برخوردار است. زیرا وقتی گزینش برای صفتی انجام می‌شود دانستن چگونگی تأثیر آن صفت بر دیگر صفات بسیار مهم است (سلامتی[1] و همکاران، ۲۰۱۱). در این مطالعه ارتفاع بوته همبستگی معنی‌دار و مثبت با بیش‌تر صفات از جمله تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد شاخه‌های فرعی، طول بلندترین شاخه گل‌دهنده و تعداد دانه در فولیکول و همبستگی منفی و معنی‌دار با وزن هزاردانه داشت. محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته با کلیه صفات موردبررسی و منفی و معنی‌دار با وزن هزاردانه گزارش نمودند که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه می‌باشد. فراوانی[2] و همکاران (۲۰۰۶) و هم‌چنین سلامتی و زینلی (۱۳۹۰) به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع گیاه سیاه‌دانه با صفات تعداد انشعابات ساقه، عملکرد بیولوژیک و تعداد فولیکول در بوته اشاره نموده‌اند. هم‌چنین در این مطالعه همبستگی مثبت بین تعداد فولیکول در بوته با تعداد دانه در فولیکول و همبستگی منفی با وزن هزاردانه مشاهده شد که با نتایج محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. زینلی و سلامتی (۱۳۹۰) و بهرامی‌نژاد و پاپ‌زن (۱۳۸۵) درخصوص افزایش تعداد فولیکول در بوته که منجر به کاهش وزن هزاردانه، تعداد دانه در فولیکول و در نهایت عملکرد دانه می‌شود گزارش کرده‌اند که منطبق بر نتایج به‌دست آمده از این مطالعه می‌باشد. پژوهش‌های دیگری نیز وجود دارد که منطبق با نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه ضرایب همبستگی صفات سیاه‌دانه در این مطالعه می‌باشند (اکبری‌نیا[3] و همکاران، ۲۰۰۵؛ سرداری و همکاران، ۱۳۹۹؛ آنتوتو[4] و همکاران، ۲۰۰۲؛ فراوانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ رضوان بیدختی[5] و همکاران، ۲۰۱۲).

در اصلاح نباتات از روش تجزیه خوشه‌ای به‌منظور تعیین قرابت نمونه‌های مختلف و گروه‌بندی آن‌ها در ارتباط با صفات مختلف استفاده می‌شود. این تجزیه به‌منظور شناسایی نمونه‌های با قرابت کم‌تر و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های دورگ‌گیری جهت ایجاد تنوع ژنتیکی است. از سوی دیگر، می‌توان با شناسایی فامیل‌های مشابه از حجم ارزیابی‌ها کاسته و در زمان و هزینه صرفه‌جویی کرد (صالحی[6] و سعیدی[7]، ۲۰۱۱). موفقیت در گزینش، بستگی به تنوع با ایجاد نوترکیبی ژنتیکی و هتروزیس دارد. گزارش‌های متعددی در دست است که با افزایش فاصله ژنتیکی احتمال هتروزیس در برنامه‌های تلاقی افزایش می‌یابد (جعفری[8] و همکاران، ۲۰۰۷). در تلاقی بین نمونه‌های با فاصله ژنتیکی بیش‌تر، از طریق نوترکیبی ژنتیکی، هتروزیس بیش‌تری بروز می‌نماید. گروه‌بندی نمونه‌ها براساس فاصله ژنتیکی زمانی در یک برنامه به‌نژادی مؤثر است که به‌طور هم‌زمان چندین صفت موردبررسی قرار بگیرد. همان‌طورکه گفته شد یکی از کاربردهای تجزیه خوشه‌ای تعیین فاصله ژنتیکی میان گروه‌هاست (سلامتی و همکاران، ۲۰۱۱). در این آزمایش، اکوتیپ TN-82-750 نمونه‌ای بود که بیش‌ترین فاصله ژنتیکی را با اکوتیپ‌های موردبررسی داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین فاصله میان این اکوتیپ از گروه ۲ با اکوتیپ‌های TN-82-191، TN-59-255 و TN-59-248 از گروه ۱ به‌دست آمد. با توجه به داشتن حداکثر فاصله ژنتیکی از همدیگر، انتظار می‌رود که با انجام تلاقی بین این دو اکوتیپ سیاه‌دانه حداکثر هتروزیس ایجاد شده و از نتایج آن به‌عنوان مواد اولیه خام برای اصلاح ارقام استفاده نمود. توده‌های گروه ۱ نیز دارای کم‌ترین

1. Salamati
2. Faravani
3. Akbarinia
4. Antuono
5. Rezvan Beidokhti
6. Salehi
7. Saeidi
8. Jafari

فاصله اقلیدسی از همدیگر بودند و بیش‌ترین شباهت مورفولوژیکی را با هم دارند. به‌طوری‌که اکوتیپ TN-59-248 و TN-59-255 کم‌ترین فاصله ژنتیکی را در این مطالعه با یکدیگر داشتند. علاوه بر این و همان‌طورکه انتظار می‌رفت، کم‌ترین فاصله ژنتیکی در این مطالعه بین اکوتیپ‌های گروه‌بندی‌شده در یک خوشه مشاهده شد. به‌طور مثال و علاوه بر مورد ذکرشده، اکوتیپ‌های TN-82-747 با TN-59-256 و TN-59-267 با TN-59-257 در گروه ۳ کم‌ترین فاصله ژنتیکی را با یکدیگر داشتند. از سوی دیگر، بررسی بیش‌تر خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای گویای این مطلب بود که اکوتیپ‌های قرار گرفته در گروه ۱ به احتمال زیاد نمونه‌هایی متعلق به اقلیم سرد، اکوتیپ‌های گروه ۲ متعلق به اقلیم معتدل و گرم و اکوتیپ‌های گروه ۳ متعلق به اقلیم معتدل می‌باشند. در این بین اکوتیپ IPK که متعلق به اتیوپی است در گروه ۲ و در کنار اکوتیپ‌های جمع‌آوری‌شده از اقلیم گرم و معتدل کردستان، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان قرار گرفت. فراوانی و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای ۲۸ توده سیاه‌دانه را بر حسب خویشاوندی به هفت گروه تقسیم نمودند. سرداری و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه را در دو گروه تقسیم نمودند که یک گروه دارای کم‌ترین و گروه دیگر بیش‌ترین میانگین عملکرد و اجزای عملکرد بودند. مهری و همکاران (۱۳۹۷) بر مبنای تجزیه خوشه‌ای توده‌های موردبررسی را در چهار گروه تقسیم نمودند. گروه اول از نظر صفات مورفولوژیکی و سازگاری با شرایط محیطی از مرتبه آماری پایین‌تری برخوردار بودند و به‌طور کلی بوته‌های ضعیف‌تری بودند. گروه دوم از این حیث از میانگین متوسطی برخوردار بودند. گروه سوم متوسط بالاتری را به خود اختصاص دادند. گروه چهارم از نظر ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول و عرض برگ و تعداد برچه در هر فولیکول میانگین بالاتری از سایر گروه‌ها داشتند.

در بررسی نتایج تجزیه به عامل‌ها به‌منظور درک ارتباط بین صفات موردمطالعه از نظر اکوتیپ‌های موردمطالعه، سه عامل شناسایی شد. این سه عامل در مجموع ۷۳/۹۰ درصد از تنوع موجود در داده‌ها را توضیح دادند و به‌ترتیب به‌عنوان عامل صفات مورفوفنولوژی، عامل صفات عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص رشد طولی نام‌گذاری شدند. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است از نظر عامل دوم (شاخص عملکرد و اجزای عملکرد) تعداد پنج اکوتیپ به‌عنوان نمونه‌های با عملکرد بالا شناسایی شدند که در این میان و از نظر عامل اول (شاخص موفوفنولوژی) اکوتیپ TN-82-750 نمونه‌ای زودرس، اکوتیپ‌های TN-82-691، TN-59-224 و IPK نمونه‌هایی میان‌رس و اکوتیپ TN-59-254 نمونه‌ای دیررس هستند. سلامتی و زینلی (۱۳۹۰) با استفاده از تجزیه به عامل‌ها هشت فاکتور اصلی را شناسایی کردند که در مجموع ۹۴/۱۲ درصد از واریانس کل داده‌ها را در سیاه‌دانه توجیه نمود. لما[1] و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تجزیه به عامل‌ها چهار عامل را شناسایی کردند که ۷۰/۶۲ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه نمود. در این بررسی عامل اول با توجیه ۲۸/۴۳ درصد از تغییرات بین داده‌ها بیش‌ترین بار عاملی را برای صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته داشت.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده سطح بالایی از تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌های موردمطالعه از نظر صفات مورفوفنولوژیکی مشاهده شد. اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر مبنای تجزیه خوشه‌ای و براساس صفات مورفوفنولوژیکی به سه گروه تقسیم شدند. از بین اکوتیپ‌های با عملکرد بالا، اکوتیپ TN-82-750 زودرس، اکوتیپ‌های TN-82-691، TN-59-224 و IPK میان‌رس و اکوتیپ TN-59-254 دیررس شناسایی شدند که حسب شرایط مناطق (دارای آب‌وهوای سرد، معتدل یا گرم)، کشت به موقع (نمونه‌های متوسط رس و دیررس)، کشت تأخیری و فرار از خشکی‌های آخر فصل در مناطق با فصل رشد کوتاه اکوتیپ‌های زودرس می‌توانند مورداستفاده قرار گیرند. ضمن این‌که این تنوع شناسایی‌شده در میان اکوتیپ‌های

1. Lemma

سیاه‌دانه می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای انتخاب جمعیت‌های برتر برای انجام برنامه‌ریزی فعالیت‌های اصلاحی در جهت بهبود صفات کمّی و کیفی آین گیاه با ارزش از جمله افزایش عملکرد دانه و روغن آن باشد. با عنایت به تنوع بالا بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه موردمطالعه در این پژوهش می‌توان انتظار داشت که بتوان از اکوتیپ‌های منتخب متناسب با شرایط آب‌وهوایی در مناطق مختلف و در برنامه‌های به‌نژادی جهت تولید ارقام سازگار، دارای عملکرد کمی و کیفی بالا استفاده نمود.

۷. تشکر و قدردانی

از کلیه دست‌اندرکارانی که در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به‌ویژه بخش ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران تمامی ملزومات انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

بهرامی‌نژاد، صحبت و پاپ‌زن، عبدالحمید (۱۳۸۵). اثر فاصله ردیف کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه در شرایط آب‌وهوایی کرمانشاه. *مجله علوم زراعی ایران*، ۸ (۴)، ۲۴۱-۲۴۹.

سرداری، حسن؛ اصغری زکریا، رسول؛ زارع ناصر؛ غفارزاده نمازی لیلا و مقدس زاده مینا (۱۳۹۹). ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه تحت تأثیر تنش خشکی در مرحله گلدهی. *پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۲ (۳۴)، ۱۳۸-۱۵۰.

سلامتی، مریم‌السادات و زینلی، حسین (۱۳۹۰). بررسی تنوع ژنتیکی برخی از ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه با استفاده از صفات مورفولوژیکی و زراعی. *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۹ (۱)، ۲۰۱-۲۰۴.

فرهودی، روزبه و مدحج، عادل (۱۳۹۷). اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، عملکرد اسانس و قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اکوتیپ‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳(۳۴)، ۵۱۰-۵۲۶.

محب‌الدینی، مریم السادات؛ مهری، نرگس و فتحی، رقیه (۱۳۹۸). ارزیابی اثرات ژنوتیپ و محیط بر صفات مرفولوژیکی و زراعی در اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱ (۳۰)، ۱۰۸-۱۱۷.

مهری، نرگس؛ محب‌الدینی، مریم‌السادات و بهنامیان، مهدی (۱۳۹۷). بررسی تنوع مورفولوژیکی توده‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۰ (۲۶)، ۳۲-۴۲.

مؤدی، حسین و راشد محصل، محمدحسن (۱۳۷۶). اثر تراکم گیاهی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات.

واثقی، آزاداه؛ حیدری، مصطفی؛ قنبری، احمد و دوازده امامی، سعید (۱۳۹۲). اثر تاریخ کاشت بر خصوصیات کمّی و کیفی دو توده سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۷ (۴)، ۳۹۲-۳۷۳.

References

Ahmad, Z., Hussain, S., Iqbal, M.S., Irfan, M., Rehman, N., Jamal, A., Qayyum, A., & Ghafoor, A. (2009). Collection and characterization of germplasm of some underutilized plant species in Pakistan. 219-233. In: Smartt, J. and Haq, N., (Eds.). *New Crops and Uses: Their Role in a Rapidly Changing World*. 476p.

Akbarinia, A., Khosravifard, M., Sharifi Ashoorabadi, E., & Babakhanlou, P. (2005). Effect of irrigaton intervals on yield and agronomic characteristics of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 21*(1), 65-73.

Antuono, L.F., Moretti, A., & Lovato, A.F.S. (2002). Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *N. damascena*. *Industrial Crop Production*, *15*, 59-69.

Bahrami Nejad, S., & Papzan, A.H. (2006). Effect of planting row spacing on yield and yield components of black cumin in the climatic conditions of Kermanshah. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *8*(4), 241-249. (In Persian).

Bayati, P., Karimojeni, H., & Razmjoo, J. (2020). Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, *155*, 112764.

Etienne, C.F., Rago, L., Kopp, S., Deats, M., & Mendy, C. (2012). Technical report writing committees Strategic Plan of Medicinal Plants. *The Promotion Educationand Agricultural Research, 45*, 1-40.

Faravani, M., Razavi, A.R., & Farsi, M. (2006). Study of variation in some agronomic and anatomic characters of *Nigella sativa* landraces in Khorasan. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22* (3), 193-197.

Farhudi, R., & Madhaj, A. (2018). Effect of drought stress on seed yield, essential oil yield, and free radical scavenging capacity in black cumin ecotypes (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *3*(34), 510-526. (In Persian).

Franze, C. (1998). Domestication of wild growing medicinal plants. Plant Research and Development, *37*, 101-111.

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 and Products*, *130*, 170-178.

Gholizade, A., Sharifi, 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. *Agronomy and Soil Science, 65*(9), 1196-1210.

Hosseini, S.S., Nadjafi, F., Asareh, M.H., & Rezadoost, H. (2018). Morphological and yield related traits, essential oil and oil production of different landraces of black cumin (*Nigella sativa*) in Iran. *Scientia horticulturae, 233*, 1-8.

Jafari, A.A., Seyedmohammadi, A.R., & Abdi, N. (2007). Study of variation for seed yield and seed components in 31 genotypes of *Agropyron desertorum* through factor analysis. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *15*(3), 211-221.

Kapital, B., Feyissa, T., Petros, Y., & Mohammed, S. (2015). Molecular diversity study of black cumin (*Nigella sativa* L.) from Ethiopia as revealed by inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *African Journal of Biotechnology*, *14*(18), 1543.

Kiani, K., Alahdadi, I., Soltania, E., Boelt, B., & Benakashani, F. (2020). Variation of seed oil content, oil yield, and fatty acids profile in Iranian *Nigella sativa* L. landraces. *Industrial Crops and Products*, *149*, 112367.

Lemma, Y., Mohammed, W., & Adimas, S. (2022). Principal compomemt and cluster analyses for quantitative traits in Black Cumin (*Nigella sative*). *Agriculture, Forestry and Fisheries*, *11* (2), 67-75.

Mehri, N.; Mohebboddini, M., & Behnamian, M. (2018). Assessment of morphological diversity in black cumin (*Nigella sativa* L.) populations using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding Research*, *10*(26), 32-42. (In Persian).

Mohebboddini, M., Mehri, N., & Fathi, R. (2019). Evaluation of genotype and environment effects on morphological and agronomic traits in various black cumin ecotypes (*Nigella sativa* L.). *Journal of Crop Breeding Research*, *11*(30), 108-117. (In Persian).

Moudi, H., & Rashid Mohasel, M. (1997). Effect of plant density and nitrogen on yield and yield components of black cumin-Abstracts of the 7th Congress of Agronomy and Plant Breeding Sciences. (In Persian).

Ramadan, M.F., & Morsel, J.T. (2002). Characterization of phospholipids composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil. *Nahrung, 46*, 240-244.

Rezaei, M., Safarnejad, A., Arab, M., Alamdari, S.L., & Dalir, M. (2016). Evaluation of morphological diversity and essiontial oil content of the Thymus sp accssetion in Iran. Journal of Horticultural Science, *30*(3), 383-394. (In Persian)

Rezvan Beidokhti, S., Sanjani, S., Dashtban, A., & Hesam Arefy, I. (2012). Evaluation of yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) under different plant density and limited irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(2), 382-391.

Salamati, M., & Zeinali, H. (2011). Investigation of genetic diversity in some black cumin genotypes using morphological and agronomic traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *29*(1), 201-204. (In Persian).

Salamati, M.S., Zeinali, H., & Yosefi, M. (2011). Study of relationship between seed yield and its components on *Panicum miliaceum* L. genotypes. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, *99*, 123-130.

Salehi, M., & Saeidi, Gh. (2011). Genetic variation of some agronomic traits and yield component in breeding lines of *sesame*. *Journal of Crop Breeding*, *4* (9), 77-92.

Sardari, H., Asghari Zakaria, N., Zare, N., Ghafarzadeh Namazi, L., & Moqaddaszadeh, M. (2020). Evaluation of various ecotypes of black cumin under drought stress during the flowering stage. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *12*(34), 138-150. (In Persian).

Vaseqi, A., Heidari, M., Qanbari, A., & Davazdah Emami, S. (2013). Effect of sowing date on quantitative and qualitative traits of two black cumin populations (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Crop Ecophysiology*, *7*(4), 373-392. (In Persian).

Zheleva, D., Todorovska, E., Christov, N., Ivanov, P., Ivanov, I., & Todorov, I. (2007). Assessing the genetic variation of bulgarian bread wheat varieties by biochemical. *Crop Sciences*, *30*, 23-36.