

(OPEN ACCESS)

**Yield, essential oil and oil content of some black cumin
(*Nigella sativa* L.) ecotypes of National Plant Gene Bank of Iran**

Shahrzad Asadzadeh¹, Mohammad Mahdi Zarrabi², Hamid Reza Fanaei^{*3}

1. M.Sc. Student of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: shahrzad.asadzadeh2656@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: zarrabi@eng.ikiu.ac.ir
3. Corresponding Author, Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: fanay52@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: In recent years, the increasing demand for seeds and oil of black cumin has made it the best alternative product for farmers with small plots in producing countries. Despite the existence of high diversity of indigenous populations of black cumin in the country and conducting various research activities, no success has been achieved in breeding attempts and introduction of breeding genotypes. This research was conducted with the aim of evaluating the seed yield, morphological characteristics and essential oil percentage of some black cumin ecotypes of the National Plant Gene Bank of Iran.
Article history: Received: 10.07.2024 Revised: 10.27.2024 Accepted: 01.15.2025	
Keywords: Black cumin, Essential oil content, Harvest index, Morphology, Seed yield	Materials and Methods: In order to carry out this research, 23 indigenous ecotypes of black cumin (<i>Nigella sativa</i> L.) were obtained from the National Plant Gene Bank of Iran located in the Seed and Plant Improvement Institute of Karaj were prepared and evaluated in complete random block design in three replications in the crop season 1401-1400, based on morphological traits, yield and yield components, percentage of essential oil and seed oil.
	Results: The results of analysis of variance indicated the existence of statistically significant differences between black cumin ecotypes based on the traits studied, which indicates high genetic diversity among ecotypes. The average seed yield was 1288.03 kg/ha and ecotypes TN-82-653 and IPK-70 had the lowest and highest seed yield with 946.00 kg/ha and 2047.00 kg/ha, respectively. Seed yield had the highest significant and positive correlation with follicle length, number of follicles per plant and number of seeds per follicle. In factors analysis, five factors explained a total of 86.63% of the variation among the data. The first two factors were named vegetative growth index and yield and yield components index of black cumin, respectively. Based on the biplot diagram, ecotypes IPK-70, TN-82-750 and TN-82-191 were identified as the ecotypes with the highest seed yield. Based on the results of cluster analysis, black cumin ecotypes were grouped into three different clusters. Ecotype IPK-70 had the highest yield of essential oil (36.03 kg/ha) and seed oil (501.50 kg/ha). The highest

percentage of seed essential oil obtained from ecotypes TN-748-82 (1.83%), TN-256-59 (1.75%), IPK-70 (1.75%) and TN-82-691 (1.57%). The highest percentage of seed oil was obtained from ecotype TN-59-268 (29.19%).

Conclusion: Based on the results of factor analysis, cluster analysis and traits correlation with yield and yield components, ecotypes TN-82-750, TN-82-191 and TN-82-691 along with ecotype IPK-70 were identified as ecotypes with high seed yield and essential oil content, which are recommended for use in breeding programs.

Cite this article: Asadzadeh, Shahrzad, Zarrabi, Mohammad Mahdi, Fanaei, Hamid Reza. 2025. Yield, essential oil and oil content of some black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes of National Plant Gene Bank of Iran. *Journal of Plant Production Research*, 32 (3), 57-80.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.22567.3159

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

عملکرد، درصد اسانس و روغن دانه برخی اکوتیپ‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) بانک ژن گیاهی ملی ایران

شهرزاد اسدزاده^۱، محمد مهدی ضرابی^۲، حمیدرضا فنایی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
رایانامه: shahrzad.asadzadeh2656@gmail.com
۲. دانشیار گروه علوم مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
رایانامه: zarrabi@eng.ikiu.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
رایانامه: fanay52@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، تقاضای رو به افزایش دانه و روغن سیاهدانه، این گیاه را تبدیل به بهترین محصول جایگزین برای کشاورزان دارای اراضی خرد در کشورهای تولیدکننده کرده است. علی‌رغم وجود تنوع بالای توده‌های بومی سیاهدانه در کشور و انجام فعالیت‌های پژوهشی متنوع روی آن‌ها، اما در حوزه به‌نژادی و معرفی ژنوتیپ اصلاحی توفیقاتی حاصل نشده است. این پژوهش باهدف ارزیابی عملکرد دانه، خصوصیات ریخت‌شناسی و درصد اسانس برخی اکوتیپ‌های سیاهدانه بانک ژن گیاهی ملی ایران انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶	
واژه‌های کلیدی: درصد اسانس، سیاهدانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه، مورفولوژی	مواد و روش‌ها: جهت انجام این پژوهش تعداد ۲۳ اکوتیپ بومی سیاهدانه (<i>Nigella sativa</i> L.) از بانک ژن گیاهی ملی ایران واقع در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و براساس صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول میانگره، طول ساقه گل‌دهنده، طول بلندترین شاخه فرعی، عرض فولیکول و طول فولیکول)، عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزاردانه)، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، درصد و عملکرد اسانس و روغن دانه ارزیابی شد.
	یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد که تنوع معنی‌داری بین اکوتیپ‌های موردبررسی در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. در تجزیه به عامل‌ها ۵ عامل درمجموع ۸۶/۶۳ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه کردند. دو عامل نخست با توجیه بیش‌ترین

تغییرات موجود بین داده‌ها به ترتیب شاخص رشد رویشی و شاخص عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه نام‌گذاری شدند. براساس نمودار بای پلات، اکوتیپ‌های IPK-70، TN-82-750 و TN-82-191 به‌عنوان اکوتیپ‌های با بیش‌ترین عملکرد دانه مشخص شدند. براساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در سه خوشه مختلف گروه‌بندی شدند. اکوتیپ IPK-70 از نظر عملکرد اسانس (۳۶/۰۳ کیلوگرم در هکتار) و روغن دانه (۵۰۱/۵۰ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین میزان را داشت. بیش‌ترین درصد اسانس دانه از اکوتیپ‌های TN-82-748 (۱/۸۳ درصد)، TN-59-256 (۱/۷۵ درصد)، IPK-70 (۱/۷۵ درصد) و TN-82-691 (۱/۵۷ درصد) و بیش‌ترین درصد روغن دانه از اکوتیپ TN-59-268 (۲۹/۱۹ درصد) به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای و در نظر گرفتن صفات موردبررسی و همبستگی آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد از میان اکوتیپ‌های موردبررسی در این پژوهش، اکوتیپ‌های TN-82-750، TN-82-191 و TN-82-691 به‌همراه اکوتیپ IPK-70 به‌عنوان نمونه‌های دارای عملکرد دانه و اسانس بالا مشخص شدند که جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی قابل توصیه می‌باشند.

استناد: اسدزاده، شهرزاد، ضرابی، محمد مهدی، فنایی، حمیدرضا (۱۴۰۴). عملکرد، درصد اسانس و روغن دانه برخی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) بانک ژن گیاهی ملی ایران. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۲ (۳)، ۸۰-۵۷.

DOI: 10.22069/jopp.2025.22567.3159



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سیاه‌دانه گیاهی یک‌ساله و خودگشن با نام علمی *Nigella sativa* L. و متعلق به خانواده *Ranunculaceae* می‌باشد که ۱۴ گونه آن در ایران شناسایی شده است (۱). تاریخچه استفاده از سیاه‌دانه به ۲ تا ۳ هزار سال پیش در خاورمیانه برمی‌گردد (۲) و بر طبق یک عقیده رایج اسلامی برای تمام بیماری‌ها مفید بوده و تمام آن‌ها به‌جز پیری و مرگ را درمان می‌کند (۳). اگرچه مرکز اصلی پراکنش سیاه‌دانه را اروپا معرفی کرده‌اند، با این حال مرکز اصلی پراکنش آن را کشورهای آسیای میانه و مناطق کوهستانی غرب آسیا و شمال آفریقا می‌دانند (۴). از مناطق اصلی کشت سیاه‌دانه در ایران می‌توان به استان‌های فارس، اصفهان و خراسان اشاره کرد (۵). بر اساس داده‌های سازمان خواروبار و کشاورزی^۱ در سال ۲۰۱۹ کشورهای هند، ترکیه، بنگلادش، چین، اندونزی و پاکستان برترین کشورهای جهان از نظر سطح زیر کشت و تولید سیاه‌دانه بودند (۶).

تنوع ژنتیکی در جمعیت‌های گیاهی یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای مقابله با آسیب‌پذیری ژنتیکی است (۷). با این حال، گونه‌های گیاهی با وجود عوامل مختلف محیطی، انسانی و زیستی در معرض آسیب‌پذیری ژنتیکی قرار دارند (۸). بنابراین حفظ، نگهداری و مدیریت مناسب ژرم‌پلاسم‌های موجود (۹) و ارزیابی تنوع ژنتیکی آن‌ها (۱۰) امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر یکی از مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین راه‌های افزایش میزان تولید، به‌کارگیری ارقام اصلاح‌شده با عملکرد کمی و کیفی بالا و سازگار به شرایط نامساعد و محدود زراعی مانند کم‌آبی، سرما، گرما، فقر غذایی خاک، آفات و بیماری‌ها با تکیه بر دسترسی به منابع ژنتیکی متنوعی است که بر طبق اصول علمی صحیح جمع‌آوری، ارزیابی و نگهداری

شده باشند (۱۱). دانش ما از وجود تنوع ژنتیکی و هم‌چنین مدیریت صحیح منابع ژنتیکی کمک قابل‌توجهی به حفاظت از ذخایر ژنتیکی و استفاده مؤثر در برنامه‌های به‌نژادی می‌کند.

در بررسی تنوع ژنتیکی سیاه‌دانه با استفاده از صفات زراعی و ریخت‌شناسی، گلکار و نوربخش (۲۰۱۹) از ۸ صفت آگروریخت‌شناسی جهت بررسی تنوع ژنتیکی ۳۰ نمونه ژنتیکی سیاه‌دانه استفاده و تنوع بالایی در توده‌های موردبررسی از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، قطر فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، قطر ساقه، وزن و عملکرد دانه در بوته مشاهده نمودند که بیش‌ترین میزان تنوع مربوط به تعداد فولیکول در بوته و عملکرد دانه در بوته بود (۱۲). در مطالعه سلامتی و همکاران (۲۰۱۱) در ایران، احمد و همکاران (۲۰۰۹) در پاکستان، ایلسیم و همکاران (۲۰۰۶) در ترکیه و انتونو و همکاران (۲۰۰۲) در ایتالیا تنوع بالایی برای صفات ریخت‌شناسی موردبررسی گزارش شد (۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۵). ساین و همکاران (۲۰۱۹) نیز تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین یک رقم محلی و ۱۷ توده محلی سیاه‌دانه جمع‌آوری‌شده از ایالت بهار هندوستان گزارش کردند (۱۶). لما و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی همبستگی و ارتباط بین صفات در ۲۵ ژنوتیپ سیاه‌دانه چهار مؤلفه را شناسایی نمودند که ۷۰/۶۲ درصد از تغییرات صفات را توجیه می‌کردند. هم‌چنین در تجزیه خوشه‌ای به روش ward و معیار فاصله اقلیدسی، ژنوتیپ‌ها در ۱۰ دسته گروه‌بندی شدند (۱۷).

در سال‌های اخیر، ارزش‌های دارویی زیادی برای دانه‌های سیاه‌دانه و روغن آن شناخته‌شده و آمارها بیانگر افزایش مصرف این گیاه در سراسر جهان است. تقاضای رو به افزایش دانه و روغن سیاه‌دانه در بازارهای محلی، ملی و بین‌المللی، این گیاه را تبدیل

1- Food and Agricultural Organization; FAO

مختلف تحت مدیریت‌های زراعی خاص باشد. این پژوهش باهدف ارزیابی عملکرد دانه، خصوصیات ریخت‌شناسی و درصد اسانس برخی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بانک ژن گیاهی ملی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی و محل اجرای آزمایش: در این مطالعه تعداد ۲۳ اکوتیپ بومی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تهیه‌شده از بانک ژن گیاهی ملی ایران واقع در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج موردبررسی و ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱).

به بهترین محصول جایگزین برای کشاورزان دارای اراضی خرد در کشورهای تولیدکننده کرده است. بیش‌ترین سطح زیر کشت گیاه سیاه‌دانه در ایران مربوط به استان‌های گلستان و چهارمحال و بختیاری می‌باشد. علی‌رغم وجود تنوع بالای توده‌های بومی سیاه‌دانه در کشور و انجام فعالیت‌های پژوهشی متنوع روی آن‌ها، اما در حوزه به‌نژادی و معرفی ژنوتیپ اصلاحی توفیقاتی حاصل نشده است. تنوع موجود در توده‌های بومی سیاه‌دانه بانک ژن گیاهی ملی ایران می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای انتخاب جمعیت‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه، درصد روغن و اسانس و زودرسی جهت استفاده در شرایط اقلیمی و مناطق

جدول ۱- فهرست اکوتیپ‌های سیاه‌دانه موردبررسی به همراه اطلاعات جغرافیایی محل جمع‌آوری آن‌ها.

Table 1. List of black cumin ecotypes studied with geographical information of their origin.

ردیف	اکوتیپ	محل جمع‌آوری	ردیف	اکوتیپ	محل جمع‌آوری
Row	Ecotype	Origin	Row	Ecotype	Origin
1	TN-82-747	گلستان (Golestan)	13	TN-59-252	کردستان (Kordestan)
2	TN-82-746	گلستان (Golestan)	14	TN-59-249	خراسان (Khorasan)
3	TN-82-745	گلستان (Golestan)	15	TN-59-248	همدان (Hamadan)
4	TN-82-653	کردستان (Kordestan)	16	TN-59-224	کردستان (Kordestan)
5	TN-59-268	کردستان (Kordestan)	17	TN-82-191	اصفهان (Isfahan)
6	TN-59-267	کردستان (Kordestan)	18	TN-82-751	خراسان رضوی/مشهد/گناباد (Gonabad)
7	TN-59-259	کردستان (Kordestan)	19	TN-82-750	خراسان رضوی/مشهد/فردوس (Ferdous)
8	TN-59-258	کردستان (Kordestan)	20	TN-82-749	خراسان رضوی/مشهد/چناران (Chenaran)
9	TN-59-256	کردستان (Kordestan)	21	TN-82-748	خراسان رضوی/مشهد (Mashhad)
10	TN-59-255	کردستان (Kordestan)	22	TN-82-691	سیستان و بلوچستان/زابل (Zabool)
11	TN-59-254	کردستان (Kordestan)	23	IPK-70	IPK
12	TN-59-253	کردستان (Kordestan)			

پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج با مختصات عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی به ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. فعالیت‌های مرتبط با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه بانک ژن گیاهی ملی ایران انجام شد.

مشخصات طرح آزمایشی و صفات مورد مطالعه:

به‌منظور بررسی عملکرد دانه، اجزای عملکرد و درصد اسانس و روغن برخی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بانک ژن گیاهی ملی ایران تعداد ۲۳ اکوتیپ از بانک ژن گیاهی ملی ایران دریافت و آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در نیمه اول فروردین‌ماه در مزرعه

هر کرت آزمایشی شامل دو پشته و در هر پشته دارای دو خط به طول دو متر بود. همچنین فاصله بین دو ردیف روی پشته ۳۰ سانتی متر بود. فاصله کرت‌ها یک پشته نکاشت و فاصله تکرارها از هم دو متر در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد عملیات زراعی شامل آماده‌سازی زمین، شخم پاییزه، دیسک، ماله و پخش کود قبل از کشت، وجین علف‌های هرز، آبیاری و کوددهی در زمان مناسب بر اساس شرایط منطقه انجام گرفت. کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در هنگام آماده‌سازی زمین قبل از کشت و کود اوره به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار طی دو نوبت تا قبل از گلدهی در مرحله هشت برگی و به ساقه رفتن به خاک افزوده شد. فواصل آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها هر ۳-۵ روز و بعد از آن با فاصله هر ۱۰ روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در نظر گرفته شد. در طول دوره آزمایش، وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها روی بوته) جهت اندازه‌گیری صفات ارتفاع بوته (سانتی متر)، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، طول میانگره (میلی متر)، طول ساقه اصلی و فرعی (میلی متر)، طول و قطر فولیکول (میلی متر)، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، به طور تصادفی تعداد ۵ بوته از هر کرت انتخاب و اندازه‌گیری شدند. در زمان رسیدگی برداشت (زرد شدن کامل بوته) برای تعیین عملکرد دانه پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط هر کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای در سطحی معادل یک مترمربع برداشت و پس از خشک شدن کامل بوته‌ها اقدام به کوبیدن و جداسازی دانه‌ها از کاه و کلش و تعیین عملکرد دانه شد. وزن هزاردانه با توزین چهار نمونه ۲۵۰ تایی با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم مشخص گردید. قبل از جداسازی دانه از بوته، وزن کل بوته‌ها

با ترازو توزین و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ حاصل شد. اسانس و روغن دانه به ترتیب با دستگاه کلونجر و سوکسله به روش شرح داده شده توسط کلونجر (۱۹۲۸) و گل‌پرور و همکاران (۲۰۱۴) استخراج شد (۱۸ و ۱۹).

تجزیه‌های آماری: ابتدا با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب نرمال بودن داده‌ها بررسی و سپس تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسات میانگین براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. آماره‌های توصیفی مانند میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده برآورد شد. بررسی روابط بین صفات توسط همبستگی پیرسون صورت پذیرفت. تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر در شناسایی اکوتیپ‌ها و انتخاب بهترین آن‌ها به کمک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. جهت گروه‌بندی اکوتیپ‌های موردبررسی از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات اندازه‌گیری شده به روش Ward و مربع فاصله اقلیدسی استفاده گردید. تمامی تجزیه‌های آماری و همچنین ترسیم نمودارهای بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، MSTAT-C، Excel و XLSTAT انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

صفات مورفولوژیک: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اکوتیپ بر صفات مورفولوژیک سیاه‌دانه شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول میانگره، طول ساقه گل‌دهنده، طول بلندترین شاخه فرعی و طول فولیکول از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱ درصد و صفت عرض فولیکول در سطح احتمال

اکوتیپ‌های سیاه‌دانه از لحاظ صفات ریخت‌شناسی مورد بررسی را به‌عنوان پتانسیلی ارزشمند در برنامه‌های اصلاحی معرفی کرده‌اند (۲۰). در مطالعه آن‌ها اختلاف آماری معنی‌داری از لحاظ صفات ارتفاع بوته، تعداد انشعابات اصلی، طول ساقه گل‌دهنده، طول شاخه فرعی، طول بلندترین شاخه فرعی، عرض فولیکول و طول فولیکول در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. همچنین در نتایج احمد و همکاران (۲۰۰۹) تنوع بالایی در صفات ریخت‌شناسی اکوتیپ‌های مورد مطالعه گزارش شد (۱۳).

۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت. بیش‌ترین ضریب تغییرات در صفات مورفولوژیک به طول بلندترین شاخه فرعی (۱۶/۰۲ درصد) و طول میانگره (۱۴/۵۲ درصد) و کم‌ترین میزان آن به صفات عرض فولیکول (۵/۹۱ درصد) و ارتفاع بوته (۶/۵۹ درصد) تعلق داشت. وجود تنوع بالا در صفات ریخت‌شناسی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در این مطالعه نشان‌دهنده این موضوع است که این نمونه‌ها می‌توانند ابزار مفیدی برای برنامه‌های اصلاحی باشند. محب‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) نیز تنوع ژنتیکی بالایی مشاهده‌شده در بین

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بانک ژن گیاهی ملی ایران.

Table 2. Results of analysis of variance of morphological traits in the NPGBI's black cumin ecotypes.

میانگین مربعات MS							منبع تغییرات S.O.V.	
طول فولیکول Fulicol Lenght	عرض فولیکول Fulicol Width	طول بلندترین شاخه فرعی Length of Secondary Branch	طول ساقه گل دهنده Floweing Stem Lenght	طول میانگره Internode Lenght	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branch	ارتفاع بوته Plant Height		
درجه آزادی df								
1.13 ^{ns}	0.12 ^{ns}	1.54 ^{ns}	20.20 ^{ns}	0.29	1.91 ^{ns}	1.08 ^{ns}	2	بلوک Block
0.66 ^{**}	0.68 [*]	14.68 ^{**}	51.38 ^{**}	1.77 ^{**}	3.16 ^{**}	159.31 ^{**}	22	اکوتیپ Ecotype
0.94	0.36	5.96	8.66	0.28	0.61	6.93	44	خطا Error
9.86	5.91	16.02	11.25	14.52	12.08	6.59	-	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

*, ** and ^{ns} significant at the 5%, 1% and non-significant probability levels, respectively

سانتی‌متر) و TN-82-750 (۲۳/۷۴ سانتی‌متر) تعلق داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب به اکوتیپ‌های TN-82-191 با میانگین ۷/۸۰ شاخه فرعی و TN-82-749 با میانگین ۴/۱۱ شاخه فرعی تعلق داشت. اکوتیپ‌های TN-82-746

همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته در بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد بررسی به TN-59-268 (۴۹/۵۰ سانتی‌متر) و TN-82-191 (۴۹/۲۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین میزان به اکوتیپ‌های TN-82-751 (۲۱/۹۵

(۶/۰۴ سانتی متر) و TN-82-653 (۲/۵۰ سانتی متر) نیز به ترتیب بیشترین و کمترین طول میانگره را به خود اختصاص دادند. بیشترین طول ساقه گل‌دهنده در بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه به TN-59-259 با میانگین ۳۳/۴۱ سانتی متر و کمترین میزان به اکوتیپ‌های TN-82-751 و TN-82-750 به ترتیب با میانگین ۱۶/۸۲ و ۱۶/۶۲ سانتی متر تعلق داشت. بیشترین و کمترین طول بلندترین شاخه فرعی به ترتیب مربوط

به TN-59-259 (۲۰/۰۸ سانتی متر) و IPK-70 (۱۰/۸۶ سانتی متر) بود. اکوتیپ‌های TN-59-259 (۱۰/۹۲ میلی متر) و TN-82-748 (۹/۱۶ میلی متر) نیز به ترتیب بیشترین و کمترین عرض فولیکول را داشتند. از لحاظ طول فولیکول نیز اکوتیپ‌های TN-59-258 و TN-82-653 با میانگین ۱۰/۵۰ و ۸/۴۷ میلی متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان را داشتند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

Table 3. Comparison of mean morphological traits in black cumin ecotypes based on Duncan's test at the 5% probability level.

اکوتیپ Ecotype	ارتفاع بوته Plant Height	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branch	طول میانگره Internode Length	طول ساقه گل‌دهنده Flowering Stem Length	طول بلندترین شاخه فرعی Length of Secondary Branch	عرض فولیکول Fulicol Width	طول فولیکول Fulicol Length
TN-82-747	32.44 ^f	5.11 ^{d-g}	5.04 ^b	25.17 ^{c-g}	15.60 ^{a-c}	9.49 ^{b-d}	9.95 ^{ab}
TN-82-746	33.21 ^f	4.78 ^{c-g}	6.04 ^a	22.44 ^g	15.03 ^{b-e}	9.35 ^{cd}	9.64 ^{ab}
TN-82-745	46.60 ^{a-c}	6.77 ^{a-c}	3.44 ^{d-f}	24.82 ^{d-g}	13.2 ^{c-e}	10.21 ^{a-d}	9.96 ^{ab}
TN-82-653	33.17 ^f	7.58 ^{ab}	2.50 ^f	27.22 ^{b-g}	16.22 ^{a-d}	10.58 ^{ab}	8.47 ^b
TN-59-268	49.50 ^a	6.75 ^{a-c}	3.84 ^d	29.93 ^{a-d}	16.21 ^{a-d}	9.86 ^{a-d}	9.89 ^{ab}
TN-59-267	40.00 ^{de}	6.83 ^{a-c}	3.00 ^{d-f}	27.40 ^{b-g}	12.84 ^{c-e}	9.93 ^{a-d}	9.42 ^{ab}
TN-59-259	41.97 ^{cd}	6.59 ^{a-d}	3.90 ^{cd}	33.41 ^a	20.08 ^a	10.92 ^a	9.84 ^{ab}
TN-59-258	44.71 ^{a-d}	6.66 ^{a-c}	3.60 ^{de}	6.15 ^{c-g}	14.73 ^{b-e}	10.44 ^{a-c}	10.50 ^a
TN-59-256	41.68 ^{cd}	6.33 ^{b-d}	3.54 ^{de}	27.95 ^{a-g}	15.88 ^{a-d}	10.69 ^{ab}	9.25 ^{ab}
TN-59-255	42.82 ^{cd}	7.22 ^{a-c}	3.57 ^{de}	29.27 ^{a-e}	15.85 ^{a-d}	10.30 ^{a-d}	9.84 ^{ab}
TN-59-254	42.38 ^{cd}	6.50 ^{a-d}	3.55 ^{de}	26.71 ^{b-g}	14.93 ^{b-e}	10.11 ^{a-d}	8.91 ^{ab}
TN-59-253	40.02 ^{de}	7.00 ^{a-c}	3.58 ^{de}	26.03 ^{c-g}	14.89 ^{b-e}	10.48 ^{a-c}	10.31 ^{ab}
TN-59-252	43.68 ^{b-d}	6.33 ^{b-d}	3.39 ^{d-f}	27.96 ^{a-g}	14.15 ^{c-e}	10.55 ^{ab}	10.13 ^{ab}
TN-59-249	40.24 ^{de}	6.47 ^{a-d}	3.33 ^{d-f}	30.65 ^{a-c}	17.55 ^{a-c}	10.50 ^{a-c}	9.65 ^{ab}
TN-59-248	47.80 ^{ab}	7.50 ^{ab}	4.80 ^{bc}	32.16 ^{ab}	19.50 ^{ab}	10.06 ^{a-d}	9.74 ^{ab}
TN-59-224	45.92 ^{a-c}	7.56 ^{ab}	3.62 ^{de}	27.98 ^{a-g}	15.21 ^{b-e}	10.66 ^{ab}	9.73 ^{ab}
TN-82-191	49.23 ^a	7.8 ^a	3.35 ^{d-f}	28.78 ^{a-f}	17.44 ^{a-c}	9.97 ^{a-d}	10.13 ^{ab}
TN-82-751	21.95 ^g	4.44 ^{fg}	3.34 ^{d-f}	16.62 ^h	15.43 ^{a-e}	10.46 ^{a-c}	9.81 ^{ab}
TN-82-750	23.74 ^g	5.77 ^{c-f}	3.94 ^{cd}	19.82 ^h	16.51 ^{a-d}	9.50 ^{b-d}	10.36 ^{ab}
TN-82-749	35.97 ^{ef}	4.11 ^g	3.08 ^{d-f}	22.26 ^g	13.58 ^{c-e}	10.38 ^{a-c}	10.05 ^{ab}
TN-82-748	35.30 ^f	6.11 ^{b-e}	3.30 ^{d-f}	23.38 ^{fg}	12.25 ^{de}	9.16 ^d	10.03 ^{ab}
TN-82-691	42.28 ^{cd}	6.60 ^{a-d}	3.04 ^{d-f}	23.94 ^{c-g}	11.95 ^{de}	10.65 ^{ab}	10.24 ^{ab}
IPK-70	43.72 ^{b-d}	7.66 ^{ab}	2.76 ^{ef}	24.79 ^{d-g}	10.86 ^e	10.57 ^{ab}	10.15 ^{ab}

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تمامی صفات (شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزاردانه، عملکرد دانه در هکتار، عملکرد زیست، درصد اسانس دانه، عملکرد اسانس، درصد روغن دانه و عملکرد روغن) به‌غیر از شاخص برداشت (معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد) وجود داشت. بیش‌ترین ضریب تغییرات به‌دست‌آمده برای این صفات متعلق به عملکرد روغن (۲۸/۴۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۴/۴۸ درصد) و عملکرد اسانس (۲۳/۰۴ درصد) و کم‌ترین میزان مربوط به صفات وزن هزاردانه (۵/۰۷ درصد) و درصد روغن دانه (۸/۰۹ درصد) بود.

رحمانی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی توده‌های مختلف سیاه‌دانه بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد انشعابات ساقه را به‌ترتیب ۷/۶۶ و ۴/۴۴ انشعاب، کوتاه‌ترین و بلندترین طول میانگرم را به‌ترتیب ۱/۵۸ و ۱/۶۷ میلی‌متر، کوتاه‌ترین و بلندترین ساقه گل‌دهنده را به‌ترتیب ۱۶/۶۲ و ۳۲/۱۶ سانتی‌متر، کوتاه‌ترین و بلندترین شاخه فرعی را به‌ترتیب ۱۰/۸۶ و ۱۹/۵۰ سانتی‌متر و در نهایت کوتاه‌ترین و بلندترین بوته‌ها را به‌ترتیب ۲۱/۹۵ و ۴۹/۵۰ سانتی‌متر گزارش کردند که در تطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه می‌باشد (۲۱). به عقیده محب‌الدینی و همکاران (۲۰۱۹) افزایش قطر طولی و عرضی فولیکول نمود بالایی در افزایش تعداد دانه در برچه و وزن فولیکول دارد که به‌نوبه خود افزایش عملکرد دانه سیاه‌دانه را در پی خواهد داشت (۲۰).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بانک ژن گیاهی ملی ایران.

Table 4. Results of analysis of variance of yield and yield components in the NPGBI's black cumin ecotypes.

میانگین مربعات MS										
عملکرد روغن Oil Yield	میزان روغن (درصد) Oil Content (%)	عملکرد اسانس Essential oil Yield	میزان اسانس (درصد) Essential oil Content (%)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیستی Biological Yield	عملکرد دانه Seed Yield	وزن هزاردانه Thousand Seed Weight	تعداد دانه در فولیکول Number of Seed per Fulicool	تعداد فولیکول در بوته Number of Fulicool per Plant	درجه آزادی df
39835*	275.49**	24.30**	0.17 ^{ns}	57.11 ^{ns}	1687649*	46374**	0.02 ^{ns}	5.17**	25.36*	2
20438**	18.50**	244.91**	21.53**	137.23*	1523873**	229683**	0.26**	307.02**	43.44**	22
8500	4.08	39.02	27.75	72.95	46605	99421	0.02	43.49	5.53	44
خطا Error										
28.49	8.09	23.04	20.40	21.09	20.40	24.48	5.07	9.27	20.25	-
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)										

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

*, ** and ^{ns} significant at the 5%, 1% and non-significant probability levels, respectively

با میانگین ۱/۷۷، ۱/۹۹، ۳/۰۴ و ۳/۸۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. بیشترین و کمترین درصد روغن دانه از اکوتیپ‌های TN-59-268 (۲۹/۱۹ درصد) و TN-82-751 (۱۹/۵۶ درصد) استخراج شد. در نهایت اکوتیپ‌های IPK-70 و TN-82-653 به ترتیب با میانگین ۵۰۱/۵ و ۱۹۹/۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد روغن دانه را داشتند.

به طور کلی اگرچه در این مطالعه بیشترین وزن هزاردانه در اکوتیپ TN-82-751 (۳/۴۱ گرم)، شاخص برداشت در اکوتیپ TN-82-749 (۵۴/۹۳ درصد) و درصد روغن دانه در اکوتیپ TN-59-268 (۲۹/۱۹ درصد) به دست آمد، با این حال اکوتیپ IPK-70 بیشترین میزان صفات عملکردی و اجزای عملکرد را در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه به خود اختصاص داد. به طوری که بیشترین تعداد فولیکول در بوته (۲۱/۳۳ فولیکول)، تعداد دانه در فولیکول (۹۲/۴۰ دانه)، عملکرد دانه (۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد زیست (۵۱۶۱ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۱/۷۵ درصد)، عملکرد اسانس (۳۶/۰۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۵۰۱/۵ کیلوگرم در هکتار) از این اکوتیپ به دست آمد که به نظر می‌رسد شرایط مدیریتی و آب و هوایی محل انجام این آزمایش در به فعلیت رساندن پتانسیل ژنتیکی این اکوتیپ ناشی از افزایش اجزای عملکرد آن تأثیرگذار بوده باشد.

بررسی تنوع ژنتیکی نمونه‌های مختلف سیاه‌دانه براساس صفات عملکردی و اجزای عملکرد در مطالعات مختلف گزارش شده است (۲۲، ۱۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۱۶). در این مطالعات تعداد دانه در فولیکول و تعداد فولیکول در بوته به عنوان صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه سیاه‌دانه معرفی شده است. کارا و

همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) ملاحظه می‌شود بیشترین میزان تعداد فولیکول در بوته به IPK-70 با میانگین ۲۱/۳۳ فولیکول در بوته و کمترین میزان به اکوتیپ TN-59-254 با میانگین ۵/۳۳ فولیکول در بوته تعلق داشت. بیشترین میزان تعداد دانه در فولیکول به IPK-70 با میانگین ۹۲/۴۰ دانه در فولیکول و کمترین میزان به اکوتیپ‌های TN-82-751، TN-82-747، TN-82-748، TN-82-653 و TN-59-269 به ترتیب با میانگین ۵۵/۶۷، ۵۶/۰۰، ۵۷/۸۰، ۵۹/۴۰ و ۶۰/۷۳ دانه در فولیکول تعلق داشت. اکوتیپ TN-82-751 با میانگین ۳۳/۴۱ گرم بیشترین وزن هزاردانه و اکوتیپ‌های TN-82-691 و TN-82-653 به ترتیب با میانگین ۲/۱۸ و ۲/۱۹ گرم کمترین وزن هزار دانه را داشتند. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در اکوتیپ‌های IPK-70 (۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار) و TN-82-653 (۹۴۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. همچنین اکوتیپ‌های IPK-70 و TN-82-749 با میانگین ۵۱۶۱ و ۱۹۲۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد زیست را داشتند. بیشترین شاخص برداشت به اکوتیپ TN-82-749 (۵۴/۹۳ درصد) و کمترین میزان به اکوتیپ TN-59-267 (۲۸/۰۲ درصد) تعلق داشت. بیشترین درصد اسانس دانه به اکوتیپ‌های TN-82-748، TN-59-256، IPK-70 و TN-82-691 با میانگین ۱/۷۵، ۱/۸۳، ۱/۷۵ و ۱/۵۷ درصد و کمترین میزان به اکوتیپ‌های TN-82-745 و TN-59-252 به ترتیب با میانگین ۰/۰۷ و ۰/۱۴ درصد تعلق داشت. بیشترین عملکرد اسانس نیز به IPK-70 (۳۶۰/۰۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان به اکوتیپ‌های TN-82-653، TN-59-267، TN-82-749 و TN-59-268 به ترتیب

همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای متوسط عملکرد دانه را بین ۲۰۱/۰ تا ۷۹۰/۳ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند (۲۴). در مطالعه گلکار و نوربخش (۲۰۱۹) بیش‌ترین میزان تنوع مشاهده‌شده مربوط به تعداد فولیکول در بوته و عملکرد دانه در بوته بود (۱۲). ساین و همکاران (۲۰۱۹) نیز تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین یک رقم محلی و ۱۷ توده محلی سیاه‌دانه جمع‌آوری‌شده از ایالت بهار هندوستان گزارش کردند (۱۶). حسینی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی ۱۶ توده بومی سیاه‌دانه جمع‌آوری‌شده از استان‌های مختلف ایران گزارش کردند که توده‌های نواحی معتدل نسبت به سایر نواحی عملکرد دانه بیش‌تری داشتند و از نظر عملکرد زیستی، تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در بوته، وزن کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول از برتری محسوسی برخوردار بودند (۲۳). این در حالی است که حسینی و همکاران (۲۰۱۸) درصد روغن کل و روغن‌های اساسی در بین توده‌های بومی را به‌ترتیب از ۲۷ تا ۳۳ درصد و ۰/۶۸ تا ۱/۳۳ درصد گزارش کردند (۲۳). قلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) ۳۲ ژنوتیپ سیاه‌دانه ایرانی را بررسی و درصد روغن و محتوای روغن چرب استحصال‌شده را به‌ترتیب ۰/۶۵ تا ۱/۳۶ درصد و ۲۵/۳۰ تا ۳۵/۰۲ درصد گزارش کردند (۲۲). کیانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیش‌ترین عملکرد روغن و دانه را در مطالعه خود از توده بومی سمیرم (به‌ترتیب ۱۲۵۰ و ۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) گزارش کردند (۴).

رحمانی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزایش عملکرد دانه در توده‌های سیاه‌دانه مورد مطالعه در نمونه‌هایی به‌دست‌آمده است که بیش‌ترین میزان صفات طول و عرض فولیکول، تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزاردانه را داشته‌اند (۲۱). صفات تعداد دانه در فولیکول، تعداد انشعاب ساقه و عملکرد زیستی از مهم‌ترین صفات و اجزای عملکرد سیاه‌دانه هستند و به همین دلیل توده‌هایی که دارای مقادیر بالایی برای این صفات می‌باشند از عملکرد بالاتری نیز برخوردار می‌شوند (سلامتی و زینلی، ۲۰۱۱) که این نمونه‌ها را مستعد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جهت تولید ارقام پر محصول می‌توان به کار برد (۲۵). محب‌الدینی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که طول میانگره بیش‌تر منجر به تولید بوته‌های پابلند شده و به‌طور کلی توده‌های پابلند از پتانسیل بیش‌تری برای تولید عملکرد دانه بالاتر نسبت به بوته‌های پاکوتاه برخوردار هستند (۲۰). مطابق با گزارش‌های محب‌الدینی و همکاران (۲۰۱۹) قطر طولی و عرضی بیش‌تر در فولیکول‌های سیاه‌دانه منجر به افزایش تعداد دانه در برچه، وزن فولیکول و درنهایت عملکرد دانه بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین تعداد انشعابات بیش‌تر و در نتیجه تعداد گل و نهایتاً فولیکول‌های بیش‌تر می‌تواند منجر به تولید عملکرد دانه بیش‌تر در گیاه سیاه‌دانه شود (۲۰).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

Table 5. Comparison of mean yield and yield components of black cumin ecotypes based on Duncan's test at a probability level of 5%.

عملکرد روغن Oil Yield	میزان روغن (درصد) Oil Content (%)	عملکرد اسانس Essential oil Yield	میزان اسانس (درصد) Essential oil Content (%)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیستی Biological Yield	عملکرد دانه Seed Yield	وزن هزاردانه Thousand Seed Weight	تعداد دانه در فولیکول Number of Seed per Fulicol	تعداد فولیکول در بوته Number of Fulicol per Plant	اکوتیپ Ecotype
271.3 ^{d-f}	28.18 ^{b-d}	10.12 ^{f-g}	0.91 ^{b-d}	36.38 ^{b-e}	2917 ^{c-g}	1052 ^{c-e}	2.51 ^{c-e}	56.00 ^g	8.56 ^{c-g}	TN-82-747
278.7 ^{c-f}	27.01 ^{a-c}	4.39 ^{ef}	0.44 ^{de}	43.58 ^{a-e}	2389 ^{c-g}	1024 ^{c-e}	2.41 ^{c-g}	59.07 ^g	10.00 ^{ef}	TN-82-746
356.7 ^{a-f}	27.40 ^{a-c}	0.91 ^f	0.07 ^e	41.63 ^{a-e}	3222 ^{b-g}	1352 ^{b-e}	2.28 ^{d-g}	68.00 ^{d-g}	11.94 ^{d-e}	TN-82-745
199.1 ^f	21.12 ^{c-g}	1.77 ^f	0.19 ^{de}	39.85 ^{a-e}	2564 ^{c-g}	946 ^e	2.19 ^g	59.40 ^g	10.00 ^{ef}	TN-82-653
311.6 ^{b-f}	29.19 ^a	3.80 ^f	0.36 ^{de}	29.98 ^{c-e}	3583 ^{b-f}	1075 ^{c-e}	2.38 ^{c-g}	60.73 ^g	8.67 ^{c-g}	TN-59-268
255.1 ^{d-f}	26.11 ^{a-d}	1.99 ^f	0.19 ^{de}	28.02 ^e	3708 ^{b-e}	997 ^{de}	2.27 ^{c-g}	64.53 ^{fg}	7.22 ^{fg}	TN-59-267
233.5 ^{ef}	19.92 ^{fg}	4.50 ^{ef}	0.37 ^{de}	47.69 ^{ab}	2528 ^{d-g}	1185 ^{b-e}	2.27 ^{c-g}	75.93 ^{b-f}	9.82 ^{c-g}	TN-59-259
332.8 ^{a-f}	25.05 ^{cd}	20.31 ^{bc}	1.39 ^{ab}	36.79 ^{b-e}	3528 ^{b-f}	1286 ^{b-e}	2.29 ^{c-g}	67.10 ^{d-g}	10.1 ^{cf}	TN-59-258
263.1 ^{d-f}	24.69 ^{c-e}	17.67 ^{b-d}	1.75 ^a	29.04 ^{de}	3722 ^{b-d}	1078 ^{c-e}	2.44 ^{c-f}	74.93 ^{c-f}	8.38 ^{c-g}	TN-59-256
342.7 ^{a-f}	25.37 ^{a-d}	7.88 ^{d-f}	0.65 ^{c-e}	36.49 ^{b-e}	3583 ^{b-f}	1308 ^{b-e}	2.38 ^{c-g}	78.30 ^{b-e}	9.67 ^{c-g}	TN-59-255
227.4 ^{ef}	22.86 ^{d-g}	2.75 ^f	0.27 ^{d-e}	33.08 ^{b-e}	3100 ^{c-g}	996 ^{de}	2.44 ^{c-f}	73.73 ^{c-f}	5.33 ^g	TN-59-254
337.2 ^{a-f}	23.53 ^{c-f}	8.01 ^{d-f}	0.55 ^{c-e}	46.55 ^{a-c}	3083 ^{c-g}	1437 ^{b-e}	2.45 ^{c-f}	79.33 ^{b-d}	15.56 ^{b-d}	TN-59-253
303.1 ^{b-f}	23.83 ^{c-e}	1.71 ^f	0.14 ^e	40.67 ^{a-e}	3147 ^{c-g}	1268 ^{b-d}	2.30 ^{c-g}	73.60 ^{c-f}	12.49 ^{c-e}	TN-59-252
327.0 ^{af}	24.02 ^{c-e}	10.17 ^{c-f}	0.76 ^{b-e}	42.60 ^{a-e}	3333 ^{b-f}	1356 ^{b-e}	2.51 ^{cd}	74.73 ^{c-f}	9.89 ^{ef}	TN-59-249
395.0 ^{a-e}	27.17 ^{a-c}	7.86 ^{d-f}	0.53 ^{c-e}	47.84 ^{ab}	3000 ^{c-g}	1444 ^{b-e}	2.24 ^{fg}	81.47 ^{a-c}	9.00 ^{c-g}	TN-59-248
351.6 ^{a-f}	25.25 ^{b-d}	16.28 ^{b-e}	1.21 ^{a-c}	44.23 ^{a-e}	3250 ^{b-f}	1361 ^{b-e}	2.29 ^{d-g}	66.20 ^{c-g}	13.00 ^{b-e}	TN-59-224
429.0 ^{a-d}	26.33 ^{a-d}	9.97 ^{c-f}	0.61 ^{c-e}	36.68 ^{b-e}	4483 ^{ab}	1646 ^{a-c}	2.22 ^{fg}	88.27 ^{ab}	17.22 ^b	TN-82-191
231.2 ^{ef}	19.56 ^g	6.44 ^{d-f}	0.54 ^{c-e}	49.97 ^{ab}	2361 ^{fg}	1177 ^{b-e}	3.41 ^a	55.67 ^g	12.22 ^{de}	TN-82-751
459.5 ^{a-c}	26.23 ^{a-d}	5.01 ^{ef}	0.28 ^{de}	45.06 ^{a-d}	3877 ^{bc}	1749 ^{ab}	3.19 ^b	76.13 ^{b-f}	14.89 ^{b-d}	TN-82-750
255.6 ^{d-f}	24.42 ^{c-e}	3.04 ^f	0.29 ^{de}	54.93 ^a	1927 ^g	1047 ^{c-e}	2.51 ^{cd}	74.53 ^{c-f}	9.00 ^{c-g}	TN-82-749
311.4 ^{b-f}	26.46 ^{a-d}	21.70 ^b	1.83 ^a	39.93 ^{a-e}	3056 ^{c-g}	1173 ^{b-e}	2.54 ^c	57.80 ^g	16.00 ^{b-d}	TN-82-748
469.1 ^{ab}	29.09 ^{ab}	25.58 ^b	1.57 ^a	4089 ^{a-c}	3933 ^{b-d}	1620 ^{a-d}	2.18 ^g	78.13 ^{b-e}	16.67 ^{bc}	TN-82-691
501.5 ^a	24.93 ^{c-e}	36.03 ^a	1.75 ^a	39.55 ^{a-e}	5161 ^a	2047 ^a	2.33 ^{c-g}	92.40 ^a	21.33 ^a	IPK-70

گل‌دهنده (۰/۷۷۲)، تعداد دانه در فولیکول (۰/۴۵۷) و همبستگی معنی‌دار منفی با صفات وزن هزاردانه (۰/۸۰۲-) برخوردار بود. تعداد شاخه فرعی دارای همبستگی معنی‌دار مثبت با صفات طول ساقه گل‌دهنده (۰/۶۲۷) و تعداد دانه در فولیکول (۰/۴۸۶) و منفی با صفات وزن هزاردانه (۰/۶۱۰-) بود. طول میانگرم از همبستگی معنی‌دار مثبت باصفت طول بلندترین شاخه فرعی (۰/۳۷۷) و منفی با صفات عرض فولیکول (۰/۵۲۰-) و تعداد فولیکول در بوته

همبستگی صفات: از آنجایی که در برنامه‌های به‌نژادی انتخاب در راستای هر صفتی نیاز به دانش از وجود و میزان تأثیرپذیری آن صفت از صفات دیگر دارد، توجه به همبستگی و ارتباط بین صفات مورد مطالعه از اهمیت به خصوصی برخوردار است (۵). در این راستا، ارتباط بین صفات مورد ارزیابی در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه توسط تجزیه همبستگی پیرسون بررسی شد (جدول ۶). ارتفاع بوته از همبستگی معنی‌دار مثبتی با صفات تعداد شاخه فرعی (۰/۶۸۶)، طول ساقه

(۰/۲۹۴-) برخوردار بود که نشان‌دهنده این مطلب است که هرچه فاصله منبع با مصرف (اندام ذخیره‌ای با فولیکول یا دانه) افزایش پیدا کند نه تنها سرعت انتقال مواد کاهش می‌یابد بلکه درصد کم‌تری نیز منتقل می‌شود که در نهایت موجب کاهش تعداد و اندازه فولیکول در بوته خواهد شد.

طول فولیکول از همبستگی معنی‌دار مثبتی با صفات تعداد فولیکول در بوته (۰/۵۶۰) و عملکرد دانه (۰/۵۹۰) برخوردار بود. تعداد فولیکول در بوته همبستگی معنی‌دار مثبتی با تعداد دانه در فولیکول (۰/۴۲۷)، عملکرد دانه (۰/۸۲۳)، عملکرد بیولوژیک (۰/۵۴۴)، درصد اسانس (۰/۴۴۴)، عملکرد اسانس (۰/۶۲۵) و عملکرد روغن (۰/۷۴۴) داشت. تعداد دانه در فولیکول همبستگی معنی‌دار مثبتی با عملکرد دانه (۰/۷۲۸) و عملکرد بیولوژیک (۰/۵۸۸) و عملکرد روغن (۰/۶۴۱) داشت. عملکرد روغن و اسانس دارای همبستگی معنی‌دار مثبتی (۰/۵۷۴) با یکدیگر بودند. بنابراین می‌توان به‌طور هم‌زمان نمونه‌هایی با عملکرد اسانس و روغن بالا را در اهداف به‌نژادی مدنظر قرارداد. از سوی دیگر، عملکرد روغن و اسانس هر دو تابعی از عملکرد دانه و میزان روغن و اسانس می‌باشند که به‌نظر می‌رسد تلاش از برای بالا رفتن هر یک از اجزای فوق می‌تواند در افزایش بازده روغن و اسانس در واحد سطح تأثیر مثبتی داشته باشد.

گزارش‌هایی متعددی از همبستگی صفات مختلف سیاه‌دانه وجود دارد که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد (۲۶، ۱۵، ۲۷، ۲۸ و ۲۹). در مطالعه رحمانی و همکاران (۲۰۲۲) همبستگی معنی‌دار مثبتی بین ارتفاع بوته با صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد شاخه‌های فرعی، طول بلندترین شاخه گل‌دهنده و تعداد دانه در فولیکول و منفی با وزن هزاردانه گزارش شد (۲۱). همبستگی مثبت ارتفاع بوته با بیش‌تر صفات موردبررسی از جمله تعداد انشعابات ساقه، عملکرد زیست و تعداد فولیکول در

بوته و منفی با وزن هزاردانه در مطالعه دیگر نیز گزارش شده است (۲۷، ۲۳ و ۲۵). از طرفی محب‌الدینی و همکاران (۲۰۱۹) به همبستگی مثبت معنی‌دار تعداد فولیکول در بوته با صفت تعداد دانه در فولیکول و منفی با صفت وزن هزاردانه اشاره نموده‌اند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (۲۰). بهرامی‌نژاد و پاپ‌زن (۲۰۰۶) و سلامتی و زینلی (۲۰۱۱) گزارش کرده‌اند که افزایش تعداد فولیکول در بوته منجر به کاهش وزن هزاردانه و تعداد دانه در فولیکول شده و از این طریق بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد که در این مطالعه نیز این مطلب در نتایج تجزیه همبستگی صفات مشهود بود (۳۰ و ۲۵).

با توجه به مطالب و پژوهش‌های ذکر شده و همبستگی مثبت معنی‌داری عملکرد دانه با صفات طول فولیکول، تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول می‌توان انتظار داشت که با افزایش و بهبود این اجزا سبب افزایش عملکرد دانه سیاه‌دانه شد. با توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم سایر صفات از طریق یکدیگر این امکان وجود دارد که بتوان از صفات دیگر در راستای بهبود عملکرد دانه سیاه‌دانه اقدام نمود. به‌عنوان مثال ارتفاع بوته از طریق افزایش رشد رویشی موجبات افزایش تعداد دانه در فولیکول و متعاقباً عملکرد دانه را فراهم نموده است. با این حال صفاتی را می‌توان به‌عنوان معیار اصلی گزینش در نظر گرفت که نه تنها دارای همبستگی معنی‌دار بالایی با عملکرد دانه به‌عنوان هدف نهایی برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد بلکه از وراثت‌پذیری بالایی نیز برخوردار باشد. هم‌چنین این مطلب را باید لحاظ نمود که می‌توان از روابط بین به‌عنوان پلی برای جایگزین نمودن صفات مهم استفاده نمود. به‌عنوان مثال در شرایطی که وزن هزاردانه کاهش می‌یابد می‌توان از صفات دیگر مانند تعداد دانه در فولیکول یا تعداد فولیکول در بوته که همبستگی بالایی با عملکرد دانه برخوردار بودند استفاده نمود.

جدول ۶- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در اکوتیپ های سیاه دانه.

Table 6. Correlation coefficients of traits studied in black cumin ecotypes.

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1																		
2	915	1																	
3	747	711	1																
4	824	799	686	1															
5	-401	-595	-113	-347	1														
6	723	555	772	627	001	1													
7	074	-204	065	126	377	478	1												
8	515	414	301	311	-520	348	101	1											
9	-292	-215	075	-123	107	-250	-196	-108	1										
10	-030	117	-002	269	-294	-306	-395	041	056	1									
11	399	393	457	486	-255	290	068	392	292	437	1								
12	-766	-665	-802	-610	073	-744	042	-242	164	065	-267	1							
13	090	173	171	409	-191	124	-151	143	590	823	728	045	1						
14	386	510	411	614	-301	117	-268	035	282	544	588	-198	199	1					
15	-447	-500	-357	-373	104	-304	176	174	304	242	096	332	334	199	-523	1			
16	-066	084	113	141	131	-043	-382	071	239	444	135	-093	576	334	434	588	1		
17	017	177	167	254	-217	-069	-456	148	345	625	327	-130	576	334	588	936	1		
18	065	199	406	165	246	022	-287	-473	351	165	095	-312	259	334	422	208	223	1	
19	092	206	276	405	-065	-102	-214	-046	621	744	641	-072	934	743	065	370	574	577	1

مقادیر همبستگی برحسب یک هزارم و همبستگی های معنی دار به صورت پررنگ نشان داده شده است

۱: تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی؛ ۲: تعداد روز تا رسیدگی؛ ۳: ارتفاع بوته؛ ۴: تعداد شاخه فرعی؛ ۵: طول میانگرم؛ ۶: طول ساقه گل دهنده؛ ۷: طول بلندترین شاخه فرعی؛ ۸: عرض فولیکول؛ ۹: طول فولیکول؛ ۱۰: تعداد فولیکول در بوته؛ ۱۱: تعداد دانه در فولیکول؛ ۱۲: وزن هزار دانه؛ ۱۳: عملکرد دانه؛ ۱۴: عملکرد بیولوژیک؛ ۱۵: شاخص برداشت؛ ۱۶: درصد اسانس؛ ۱۷: عملکرد اسانس؛ ۱۸: درصد روغن؛ ۱۹: عملکرد روغن

Correlation coefficients are in thousandths and significant correlations are shown in bold

1: Number of days to 50% flowering; 2: Number of days to maturity; 3: Plant height; 4: Number of branches; 5: Length of internode; 6: Length of flowering stem; 7: Length of longest branch; 8: Follicule Width of; 9: Follicule Length; 10: Number of Follicules per plant; 11: Number of seeds per Follicule; 12: Thousand-seed weight; 13: Seed yield; 14: Biomass; 15: Harvest index; 16: Essential oil percentage; 17: Essential oil yield; 18: Oil percentage; 19: Oil yield

تجزیه به عامل‌ها: زیاده‌بودن تعداد صفات موردبررسی، افزایش تعداد همبستگی‌ها را به همراه خواهد داشت که باعث دشوار شدن تفسیر نتایج می‌شود. با استفاده از روش‌های چندمتغیره مانند تجزیه به عامل‌ها می‌توان تعداد متغیرها را به چند عامل اصلی با بیش‌ترین واریانس ممکن کاهش داد و از این طریق به تفسیر همبستگی درونی موجود بین تعداد زیادی متغیر از طریق عواملی که قابل‌مشاهده نیستند پرداخت. در حقیقت تعیین ماهیت روابط بین تعداد زیادی متغیر با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تجزیه به عامل‌ها و هم‌چنین تمایز بین متغیرهای کمی و کیفی ضروری است (۳۱). برای این منظور و جهت درک ارتباط بین صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش و هم‌چنین انتخاب توده‌های برتر از نظر این صفات از تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. بر این اساس صفات موردبررسی به ۵ عامل اصلی که دارای ضرایب عاملی بیش‌تر از یک بودند تقسیم شدند (جدول ۷). این ۵ عامل در مجموع ۸۶/۶۳ درصد از تنوع موجود در داده‌ها را توجیه کردند. عامل اول ۳۹/۰۹ درصد از تنوع داده‌ها را توجیه کرد و از لحاظ صفات ارتفاع بوته (۰/۸۴۶)، تعداد شاخه فرعی (۰/۸۳۸)، طول ساقه گل‌دهنده (۰/۸۲۳) و وزن هزاردانه (۰/۸۳۳-) دارای ارزش بالایی بود. این مؤلفه تحت عنوان شاخص رشد رویشی نام‌گذاری شد. عامل دوم با توجیه ۲۳/۴۹ درصد از تغییرات داده‌ها بیش‌ترین ارزش را از لحاظ طول فولیکول (۰/۷۰۲)، تعداد فولیکول در بوته (۰/۸۰۰)، تعداد دانه در فولیکول (۰/۷۳۴)، عملکرد دانه (۰/۹۶۸)، عملکرد بیولوژیک (۰/۶۲۹) و عملکرد روغن (۰/۹۳۰) داشت که شاخص عملکرد و اجزای عملکرد نام‌گذاری شد. عامل سوم با توجیه ۹/۸۹ درصد از تغییرات بین داده‌ها دارای ارزش بالا از لحاظ صفات عرض فولیکول (۰/۷۹۳)، شاخص برداشت (۰/۵۲۱) و درصد روغن (۰/۸۳۳-) بود.

عامل چهارم که ۸/۷۵ درصد از تغییرات بین داده‌ها را به خود اختصاص داد از نظر صفات طول میانگره (۰/۷۱۶) و طول بلندترین شاخه فرعی (۰/۷۳۸) ارزش بالایی داشت و شاخص رشد طولی نام گرفت. عامل پنجم سهم کم‌تری از تنوع داده‌ها به میزان ۵/۴۰ درصد داشت و با توجه به این‌که بیش‌ترین سهم در این عامل مربوط به صفات درصد اسانس (۰/۹۵۱) و عملکرد اسانس (۰/۸۶۴) بود به‌عنوان شاخص اسانس نامیده شد.

سلامتی و زینلی (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با استفاده از تجزیه به عامل‌ها توانستند ۸ عامل اصلی را شناسایی کنند که در مجموع ۹۴/۱۲ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کردند (۲۵). لذا و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تجزیه به عامل‌ها ۴ عامل را شناسایی کردند که ۷۰/۶۲ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه نمود (۱۷). رحمانی و همکاران (۲۰۲۲) سه عامل را شناسایی کردند که سهم عامل اول با توجیه ۲۸/۴۳ درصد از تغییرات بین داده‌ها برای صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته بیش‌تر از صفات دیگر بود (۲۱).

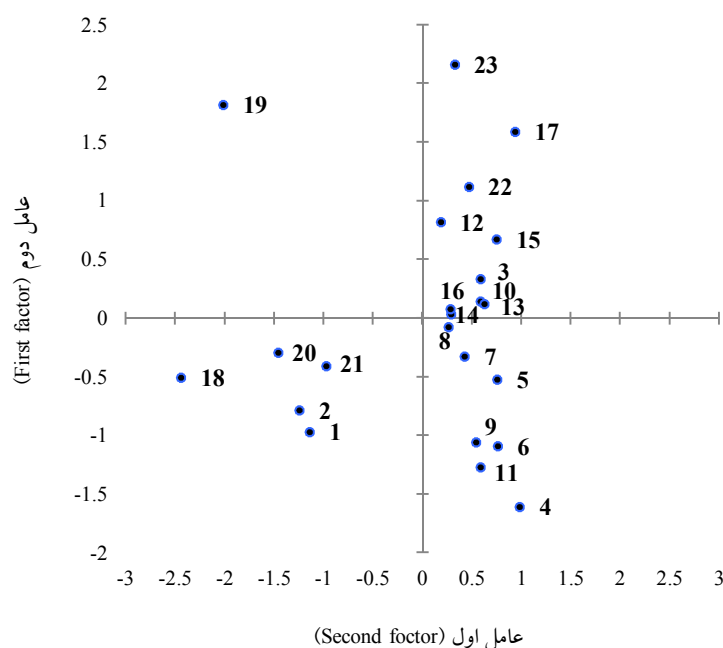
براساس نمودار دوبعدی ترسیم‌شده در این پژوهش (شکل ۱) انتظار می‌رود تا با انتخاب توده‌های قرارگرفته در ناحیه سمت راست به نمونه‌هایی دست پیدا کرد که از نظر عامل اول یعنی صفات مرتبط با رشد رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و طول ساقه گل‌دهنده دارای مقادیر بالایی باشند. این نمونه‌ها بر این اساس جزو نمونه‌های پابلند و پرشاخه هستند. به‌عنوان مثال نمونه شماره ۱۷ (TN-82-191) بلندترین و پر شاخه‌ترین توده سیاه‌دانه در این پژوهش می‌باشد. با توجه به این‌که نمونه‌های نیمه بالایی نمودار از نظر عامل دوم یا شاخص عملکرد و اجزای عملکرد دارای مقادیر بالایی هستند، با دو نمونه شماره ۲۳ (IPK-70) و ۱۹ (TN-82-750)

مواجه می‌شویم که دارای بیش‌ترین عملکرد دانه در این مطالعه می‌باشند. تفاوت این دو نمونه در این مطلب است که نمونه شماره ۲۳ یک توده سیاه‌دانه تقریباً دیررس ولی نمونه شماره ۱۹ یک توده زودرس می‌باشد که با توجه به اهداف اصلاحی و با توجه به شرایط اقلیمی، تاریخ کاشت و محدودیت‌های محیطی مانند آب در دسترس و تنش‌های انتهایی فصل می‌توان به استفاده از هر یکی از آن‌ها مبادرت ورزید.

جدول ۷- مقادیر و بردارهای ویژه تجزیه به عامل‌های صفات موردبررسی در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه.

Table 7. Eigenvalues and vectors of factor analysis of the traits studied in black cumin ecotypes.

عامل اول Factor 1	عامل دوم Factor 2	عامل سوم Factor 3	عامل چهارم Factor 4	عامل پنجم Factor 5	
8.59	5.17	2.18	1.93	1.19	ضریب عاملی Eigen Values
39.09	23.49	9.89	8.75	5.40	درصد واریانس Percentage of variance
39.09	62.58	72.48	81.23	86.63	درصد واریانس تجمعی Percentage of cumulative variance
بار عاملی Factor loading					صفات Traits
<u>0.746</u>	0.185	-0.164	0.223	0.130	ارتفاع بوته/Plant Height
<u>0.838</u>	0.326	0.024	-0.069	0.039	تعداد شاخه فرعی/Number of sub-branch
-0.307	-0.123	-0.470	<u>0.716</u>	-0.033	طول میانگره/Internode Length
<u>0.823</u>	-0.140	0.073	0.464	0.051	طول ساقه گل‌دهنده/Flowering Stem Length
0.119	-0.105	0.223	<u>0.738</u>	-0.349	طول بلندترین شاخه فرعی/Length of Secondary Branch
0.425	0.071	<u>0.793</u>	-0.030	0.113	عرض فولیکول/Fulicol Width
-0.285	<u>0.702</u>	-0.163	0.144	0.140	طول فولیکول/Fulicol length
-0.091	<u>0.800</u>	0.086	-0.301	0.260	تعداد فولیکول در بوته/Number of Fulicol per Plant
0.393	<u>0.734</u>	0.233	0.100	0.001	تعداد دانه در فولیکول/Number of Seed per Fulicol
<u>-0.833</u>	0.58	0.140	-0.161	-0.180	وزن هزاردانه/Thousand Seed Weight
0.053	<u>0.968</u>	0.056	-0.085	0.126	عملکرد دانه/Seed Yield
0.403	<u>0.629</u>	-0.276	-0.329	0.255	عملکرد بیولوژیک/Biological Yield
-0.507	0.289	<u>0.521</u>	0.333	-0.185	شاخص برداشت/Harvest Index
-0.003	0.210	-0.040	-0.113	<u>0.951</u>	درصد اسانس/Essential oil content
0.049	0.445	0.012	-0.184	<u>0.864</u>	عملکرد اسانس/Essential oil Yield
0.171	0.327	<u>-0.833</u>	0.014	0.109	درصد روغن/Oil Content
0.099	<u>0.930</u>	-0.245	-0.053	0.156	عملکرد روغن/Oil Yield
4	6	3	2	2	تعداد صفت هر عامل Number of traits per factor



شکل ۱- نمودار بای پلات توزیع اکوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد مطالعه بر اساس دو عامل نخست. برای اطلاع از مشخصات هر توده به جدول ۱ مراجعه شود.

Fig. 1. Biplot of the distribution of black cumin ecotypes studied based on the first two factors. For information on the characteristics of each population, refer to Table 1.

اکوتیپ و براساس عامل چهارم یعنی شاخص رشد طولی نیز ۳ اکوتیپ انتخاب شدند. ۷ اکوتیپ نیز براساس عامل پنجم یعنی شاخص اسانس دانه انتخاب گردید. بدین ترتیب و براساس اهداف اصلاحی و نیازهای مورد نظر می‌توان اقدام به انتخاب اکوتیپ‌های مورد نظر از هر کدام از گروه‌های پنج‌گانه بالا نمود.

در جدول ۸ اکوتیپ‌های برتر سیاه‌دانه براساس پنج عامل به‌دست‌آمده در تجزیه به عامل‌ها آورده شده است. براساس عامل اول یعنی شاخص‌های مرتبط با رشد رویشی تعداد ۴ اکوتیپ و براساس عامل دوم یعنی شاخص عملکرد و اجزای عملکرد ۵ اکوتیپ سیاه‌دانه انتخاب شدند. براساس سوم تعداد ۴

جدول ۸- اکوتیپ‌های برتر سیاه‌دانه براساس عامل‌های اصلی تجزیه به عامل‌ها.

Table 8. Superior black cumin ecotypes based on the main factors in factor analysis.

تعداد اکوتیپ Number of ecotype	اکوتیپ‌های برتر Superior ecotypes	عامل Factor
4	TN-82-749 ,TN-82-750 ,TN-82-750 ,TN-82-751 ,TN-59-255	1
5	IPK-70 ,TN-82-191 ,TN-59-253 ,TN-59-254 ,TN-82-653	2
4	TN-59-249 ,TN-59-268 ,TN-82-746 ,TN-82-747	3
3	TN-59-248 ,TN-59-259 ,TN-59-267	4
7	TN-82-691 ,TN-82-748 ,TN-59-224 ,TN-59-252 ,TN-59-256 ,TN-59-258 ,TN-82-745	5

گروه‌بندی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه براساس تجزیه خوشه‌ای: به‌منظور گروه‌بندی و تعیین قرابت اکوتیپ‌های موردبررسی بر اساس صفات مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد^۱ و فاصله مربع اقلیدسی^۲ استفاده شد. بر این اساس اکوتیپ‌های موردبررسی در سه گروه اصلی دسته‌بندی شدند (جدول ۹). فاصله عدم تشابه کلاس‌های اول و دوم ۹۶۳/۶۹، کلاس‌های اول و سوم ۱۱۷۷/۶۲ و کلاس‌های دوم و سوم ۲۱۱۳/۵۰ واحد می‌باشد. در

کلاس اول ۱۴ اکوتیپ سیاه‌دانه، در کلاس دوم ۵ اکوتیپ و در کلاس سوم ۴ اکوتیپ قرار گرفتند که حداقل، حداکثر و متوسط فاصله درون کلاس‌ها در جدول ۹ ارائه شد که بیش‌ترین اکوتیپ‌های گروه‌بندی‌شده در کلاس اول قرار گرفتند. مشخصات هر خوشه به‌همراه توده‌های آن در جدول ۱۰ آورده شده است. هم‌چنین واریانس درون‌گروهی و بین گروهی در این پژوهش به‌ترتیب ۲۴/۷۹ و ۷۵/۲۱ درصد برآورد شد.

جدول ۹- نتایج تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه براساس روش Ward و فاصله مربع اقلیدسی.

Table 9. Results of cluster analysis of black cumin ecotypes based on Ward's method and Euclidean square distance.

اکوتیپ‌های موردبررسی Ecotypes studied	فاصله با مرکز Distances to centroid			فراوانی Frequency	خوشه Cluster
	حداکثر max.	متوسط average	حداقل min.		
TN-59-258, TN-59-267, TN-59-268, TN-82-745, TN-82-747					
TN-59-252, TN-59-253, TN-59-254, TN-59-255, TN-59-256	470.46	289.36	133.34	14	1
TN-82-748, TN-59-224, TN-59-248, TN-59-249					
TN-82-749, TN-82-751, TN-59-259, TN-82-653, TN-82-746	428.03	213.38	75.49	5	2
IPK-70, TN-82-691, TN-82-750, TN-82-191	870.17	512.87	191.91	4	3

تجزیه خوشه‌ای به‌منظور شناسایی اکوتیپ‌های با قرابت کم‌تر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و دورگ‌گیری جهت ایجاد تنوع ژنتیکی استفاده می‌شود. هم‌چنین می‌توان با شناسایی فامیل‌های مشابه اقدام به کاهش حجم ارزیابی‌ها نموده و صرفه‌جویی لازم را در نیروی کار، زمان و هزینه به عمل آورد. موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی ارتباط تنگاتنگی با عمل‌گزینش دارد که افزایش تنوع ژنتیکی موجود در ژرم پلاسما در بهبود آن نقش به‌سزایی دارد. هم‌چنین تلاقی بین ژنوتیپ‌های دارای فاصله ژنتیکی بیش‌تر، از طریق نوترکیبی ژنتیکی، هتروزیس بیشتری را موجب خواهد شد. در حقیقت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر این اساس

موقعی در یک برنامه به‌نژادی با موفقیت همراه است که به‌طور هم‌زمان بررسی چند صفت در دستور کار قرار بگیرد. تعیین فاصله ژنتیکی بین گروه‌های هتروژیک، یکی از کاربردهای اصلی تجزیه خوشه‌ای می‌باشد (۵). در این پژوهش، بیش‌ترین فاصله ژنتیکی به‌دست‌آمده بین اکوتیپ‌های شماره ۲۳ (IPK-70) و ۲۰ (TN-82-749) به‌دست آمد. باوجود حداکثر فاصله ژنتیکی بین این دو اکوتیپ، می‌توان انتظار داشت که تلاقی بین آن‌ها باعث دستیابی به حداکثر هتروزیس شده و بتوان از نتایج آن به‌عنوان مواد خام اولیه در راستای اصلاح رقم بهره برد. هم‌چنین دو اکوتیپ ۱۶ (TN-59-224) و ۳ (TN-82-745) دارای کم‌ترین فاصله اقلیدسی از همدیگر و بیش‌ترین شباهت ریخت‌شناسی با همدیگر هستند. فراوانی و

1- Ward
2- Squared Euclidean

متوسط میزان صفات اندازه‌گیری شده در سه گروه به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای در جدول ۱۰ ارائه شده است (رتبه‌بندی گروه‌ها با حروف انگلیسی نشان داده شده است). همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین میزان خصوصیات مرتبط با رشد رویشی مانند ارتفاع بوته (اکوتیپ‌های پابندتر) و طول ساقه گل دهنده در گروه اول قرار داشت. این گروه از نظر سایر صفات در مقادیر متوسط قرار داشت. گروه دوم از نظر اکثر صفات اندازه‌گیری شده دارای مقادیر حداقل بود. درحالی‌که بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت، طول میانگره، طول بلندترین شاخه فرعی، وزن هزاردانه و عرض فولیکول در این گروه ثبت شد. گروه سوم از نظر عملکرد و اجزای عملکرد در بهترین شرایط قرار داشت و اکوتیپ‌های این گروه پربازده‌ترین نمونه‌های سیاه‌دانه موردبررسی بودند. با توجه به خصوصیات هر گروه و هدف موردنظر می‌توان اقدام به انتخاب نمونه‌های مناسب از هر گروه نمود.

همکاران (۲۰۰۶) از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ۲۸ توده سیاه‌دانه در ۷ گروه استفاده کردند (۲۷). همچنین سرداری و همکاران (۱۳۹۹) به کمک تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های سیاه‌دانه را در دو دسته متمایز گروه‌بندی نمودند که در یک گروه کم‌ترین میانگین عملکرد و اجزای عملکرد و در گروه دیگر بیش‌ترین میانگین ثبت شد (۲۹). مهری و همکاران (۲۰۱۸) چهار گروه متمایز در تجزیه خوشه‌ای توده‌های سیاه‌دانه موردبررسی مشاهده کردند (۳۲). در گروه اول توده‌هایی قرار گرفتند که صفات ریخت‌شناسی و سازگاری با شرایط محیطی کم‌تر و بوته‌های ضعیف‌تری داشتند. گروه دوم از مقادیر متوسط و گروه سوم از متوسط بالاتری برخوردار بودند. گروه چهارم نیز از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول و عرض برگ و تعداد برچه در هر فولیکول بیش‌ترین میانگین ثبت‌شده را داشتند.

جدول ۱۰- میانگین ارزش گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های سیاه‌دانه.

Table 10. Average values of groups resulting from cluster analysis based on traits studied in black cumin ecotypes.

ارتفاع بوته Plant Height	طول فولیکول Fulicol Lenght	عرض فولیکول Fulicol Width	طول بلندترین شاخه فرعی Length of Secondary Branch	طول ساقه گل دهنده Floweing Stem Lenght	طول میانگره Internode Lenght	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branch	ارتفاع بوته Plant Height	خوشه cluster
10.42 ^b	9.81 ^b	10.17 ^b	15.24 ^b	27.54 ^a	3.6 ^b	6.66 ^b	42.37 ^a	1
10.21 ^b	9.56 ^b	10.34 ^a	16.07 ^a	24.39 ^b	3.77 ^a	5.50 ^c	33.25 ^c	2
17.53 ^a	10.22 ^a	10.17 ^b	14.19 ^c	23.58 ^c	3.28 ^c	6.98 ^a	39.74 ^b	3

ادامه جدول ۱۰-

Continue Table 10.

میزان روغن (درصد) Oil Content (%)	عملکرد اسانس Essential oil Yield	میزان اسانس (درصد) Essential oil Content (%)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیستی Biological Yield	عملکرد دانه Seed Yield	وزن هزار دانه Thousand Seed Weight	تعداد دانه در فولیکول Number of Seed per Fulicool	تعداد فولیکول در بوته Number of Fulicool per Plant	خوشه cluster
313 ^b	25.44 ^b	9.37 ^b	0.76 ^b	38.09 ^c	3302 ^b	1227 ^b	2.38 ^c	69.75 ^b	1
239 ^c	22.41 ^c	4.03 ^c	0.37 ^c	47.20 ^a	2353 ^c	1075 ^c	2.56 ^a	64.92 ^c	2
464 ^a	26.64 ^a	19.15 ^a	1.05 ^a	40.54 ^b	4338 ^a	1765 ^a	2.48 ^b	83.73 ^a	3

نتیجه گیری

در این پژوهش اختلاف آماری معنی داری بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد بررسی از نظر صفات ریخت‌شناسی و درصد اسانس و روغن دانه مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه در آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش به‌طور متوسط ۱۲۸۸/۰۳ کیلوگرم دانه در هکتار به‌دست آمد که دامنه تغییرات آن بین ۹۴۶/۰۰ کیلوگرم در هکتار در اکوتیپ TN-82-653 و ۲۰۴۷/۰۰ کیلوگرم در هکتار در اکوتیپ IPK-70 بود. بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار عملکرد دانه با صفات طول فولیکول، تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول بود که در مطالعات متعددی این صفات به‌عنوان صفات تأثیرگذار بر عملکرد یا اجزای عملکرد نیز معرفی شده‌اند. در تجزیه به عامل‌ها ۵ عامل شناسایی شد که ۸۶/۶۳ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه می‌کنند. دو عامل نخست که بیش‌ترین تغییرات را توجیه نمودند به‌ترتیب شاخص رشد رویشی و شاخص عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه نام‌گذاری شدند. هم‌چنین براساس نمودار دوبعدی ترسیم‌شده در این مطالعه اکوتیپ TN-82-191 بلندترین و پرشاخه‌ترین،

اکوتیپ‌های IPK-70، TN-82-750 و TN-82-191 به‌عنوان پربازده‌ترین (بیش‌ترین عملکرد دانه) نمونه‌های مورد بررسی معرفی می‌شوند. اکوتیپ‌های سیاه‌دانه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای در سه دسته مختلف گروه‌بندی شدند. بنابراین با توجه به این‌که اکوتیپ‌های TN-82-750، TN-82-191 و TN-82-691 همراه پرم‌عملکردترین نمونه این مطالعه (IPK-70) در یک گروه قرار گرفته‌اند و هم‌چنین نتایج تجزیه به عامل‌ها می‌توان انتظار داشت که این اکوتیپ‌ها به‌عنوان نمونه‌های ایرانی این مطالعه قادر به رقابت با اکوتیپ IPK-70 (که از مرکز بین‌المللی ذخایر ژنتیکی آلمان تهیه شده است) و معرفی به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی هستند. از نظر عملکرد اسانس و روغن دانه نیز بیش‌ترین میزان توسط اکوتیپ IPK-70 تولید و استحصال شد. با این‌وجود به‌نظر می‌رسد که سهم عملکرد دانه این اکوتیپ در عملکرد اسانس و روغن بیش‌تر بوده است. بنابراین در این مطالعه بیش‌ترین درصد اسانس دانه از اکوتیپ‌های TN-82-748 (۱/۸۳ درصد)، TN-59-256 (۱/۷۵ درصد)، IPK-70 (۱/۷۵ درصد) و TN-82-691 (۱/۵۷ درصد) و بیش‌ترین درصد روغن دانه از اکوتیپ TN-59-268

اقدام به انتخاب اکوتیپ‌های برتر و مناسب نموده و با به‌کارگیری روش‌های به‌نژادی مناسب مانند تلاقی‌های پلی‌کراس، در راستای تولید و توسعه ارقام دارای خصوصیات زراعی مطلوب گام برداشت.

(۲۹/۱۹ درصد) به‌دست آمد. درنهایت توصیه به بررسی پایداری عملکرد اکوتیپ‌ها در مناطق یا شرایط محیطی مختلف می‌شود تا اطلاعات دقیق‌تری برای کاربرد آن‌ها در مناطق مختلف در دسترس قرار بگیرد. درنهایت و با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان

منابع

1. Zargari, A. (1993). *Medicinal Plants*. Tehran University Publication, Pp. 923. [In Persian]
2. Chevallier, A. (1996). *Encyclopedia of Medicinal Plants*. New York: DK Publishing, pp. 237.
3. Kiralan, M. (2012). Volatile compounds of black cumin seeds (*Nigella sativa* L.) from microwave-heating and conventional roasting. *Journal of Food Science*, 77(4), 481-484.
4. 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.
5. 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.
6. FAO (2020). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
7. Huhl, Y. C., Solmaz, N., & Iand, S. (2008). Morphological characterization of Korean and Turkish watermelon germplasm. *Cucurbitaceae*. In: Proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of *Cucurbitaceae* (Pitrat M, ed). *INRA. Avignon*. 327-334.
8. Sazmosi, C., Solmaz, I., Sari, N., & Barsony, C. (2010). Morphological evaluation and comparison of Hungarian and Turkish melon (*cucumis melo* L.) germplasm. *Scientia Horticulturae*, 124, 170-182.
9. Lotti, C., Marcotrigiano, A. R., De Giovanni, C., Resta, P., Ricciardi, A., Zonno, V., Fanizza, G., & Ricciardi, L. (2008). Univariate and multivariate analysis performed on bio-agronomical traits of *Cucumis melo* L. germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55, 511-522.
10. Elio, J., Cantliffe, D. J., & Hochmuth, G. J. (1998). *Effect of plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida*. Horticultural Sciences Dept., University of Florida, Gainesville.
11. Eiadthong, W., Nakatsubo, F., Utsunomiya, N., & Subahadrandbu, S. (2000). Studies on some *Mangifera* species. *Acta Horticulturae*, 509, 143-151.
12. 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.
13. 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, New Crops and Uses. Country Report on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Pakistan Agricultural Research Council*, 219-233.
14. Ilcim, A., Kokdil, G., Ozbilgin, G., & Uygur, C. (2006). Morphology and stem anatomy of some species of *Nigella sativa* L. in Turkey. *Journal of Faculty of Pharmacy*, 35(1), 19-41.

15. 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 damascena. *Industrial Crop Production*, 15, 59-69.
16. Singh, S. P., Kumar, A., Suman, S. K., Kumar, A., Singh, P. P., Kishor, K., Singh, U. K., Choudhary, V. K., & Kumar, R. (2019). Assessment of Genetic Diversity in *Nigella* (*Nigella sativa* L.) Collections Using Principle Component Analysis. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 36(3), 1-11.
17. Lemma, Y., Mohammed, W., & Adimas, S. (2022). Principal compomemt and cluster analyses for quantitative traits in Black Cumin (*Nigella sativa*). *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 11(2), 67-75.
18. Clevenger, J. F. (1928). Apparatus for Volatile Oil Determination, Description of New Type. *The Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17, 345-349.
19. Golparvar, A. R., Amin Hadipanah, A., & Salehi, S. (2014). Investigation of seed yield and oil quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) Ecotypes cultivated in Isfahan province. *Electronic Journal of Biology*, 10(1), 7-13.
20. Mohebodini, M., Mehri, N., & Fathi, R. (2019). Evaluation of Genotype and Environment Effects on Agro-Morphological Traits in Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) Ecotypes. *jcb.*, 11(30), 108-117. doi:10.29252/jcb.11.30.108. [In Persian]
21. Rahmani, N. (2022). Investigation of morphological and molecular diversity of some cultivars and ecotypes of Black cumin (*Nigella sativa*) via ISSR marker. A Thesis Submitted for Degree of Master of Science in Horticultural Sciences. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*, Pp. 70. [In Persian]
22. 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*, <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1558443>.
23. Hosseini, S. S., Nadjafia, 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.
24. Kara, N., Katar, D., & Baydar, H. (2015). Yield and quality of black cumin (*Nigella sativa*) populations: the effect of ecological conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 9-14.
25. Salamati, M. S., & Zeinali, H. (2011). Evaluation of genetic variation in different populations of *Cuminum cyminum* L. using morphological traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(1), 51-62. [In Persian]
26. 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.
27. Faravani, M., Razavi, A. R., & Farsi, F. (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. [In Persian]
28. 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.
29. Sardari, H., Asghari Zakaria, R., Zare, N., Ghafarzadeh Namazi, L., & Moghaddaszadeh, M. (2020). Evaluation of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

- Ecotypes under Drought Stress Conditions at Flowering Stage. *jcb.*, 12(34), 138-150. doi:10.29252/jcb.12.34.138. [In Persian]
30. Bahrami Nejad, S., & Papzan, A. (2006). Effect of row spacing on different characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) under Kermanshah condition. *Iranian Journal of Crop Science*, 8(4), 241-249. [In Persian]
31. Hosseinzadeh Fashalami, N., Shahadati moghaddam, Z., Kiani, Gh., Salavati, M. R., Zamani, P., Mahdavi, A., & Alinejad, R. (2015). Investigation of genetic diversity among different oriental tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.) Varieties using multivariate methods. *Journal of Crop Breeding*, 7(15), 126-134.
32. Mehri, N., Mohebodini, M., & Behnamian, M. (2018). Morphological Diversity of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Accessions using Multivariate Analysis Methods. *jcb.*, 10(26), 32-42. doi:10.29252/jcb.10.26.32. [In Persian]