Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 3, Page 435-448 (2024)

DOI:10.22092/IJMAPR.2024.131917

Investigation of genetic variation for seed yield and yield components in some *Nigella sativa* L. genotypes

Kourosh Ahmadi[1], Ehsan Shahbazi[2*], Pourandokht Golkar[3] and Keramatollah Saeidi[4]

1- M.Sc. graduated, Department of Plant Breeding and biotechnology, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2*- Corresponding author, Department of Plant Breeding and biotechnology, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, E-mail: es.shahbazi@gmail.com, eh_shahbazi@sku.ac.ir
3- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4- Department of horticulture science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: August 2023 Revised: December 2023 Accepted: February 2024

Abstract

Background and objectives: *Nigella sativa* L. is an important medicinal plant widely used in the food and pharmaceutical industries. Considering the increasing demand for medicinal plants worldwide and the need to produce cultivated and breeding varieties, it is necessary to study the genetic resources. The gain from selection for a trait depends on the relative importance of genetic factors in the occurrence of phenotypic differences among genotypes; in other words, the success of breeding programs depends on the genetic variation and heritability of traits. Therefore, this study investigated the genetic variation and inheritance of seed yield and yield component traits in different black cumin genotypes and identified desirable genotypes for use in breeding programs.

Methodology: This study investigated the genetic variation in 20 different black cumin genotypes (Iranian and foreign) regarding different agronomic traits as a randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahrekord University. The genotypes were planted in the middle of March. Each genotype in every repetition was cultivated in four rows, each 1.5 meters long. The distance between the rows of cultivation was 30 cm, with seeds planted 15 cm apart within the row at a depth of 1-2 cm. The traits studied included seed yield, number of capsules per plant, number of seeds per capsule, thousand seed weight, capsule diameter, number of branches per plant, and plant height. Based on the expectation of mean square components, environmental, genetic, and phenotypic variance were calculated, and then the genotypic and phenotypic coefficient of variation and broad-sense heritability were estimated. Statistical analyses, including analysis of variance and comparison of the mean traits between genotypes, were performed using the least significant difference (LSD) test using SAS 9.0 software. Pearson correlation between traits and cluster analysis based on Ward's method according to squared Euclidean distance using R 3.6.1 software. Also, to ensure the correctness of grouping, multivariate tests and analysis of variance tests were performed based on a completely random, unbalanced design.

Results: The analysis of variance showed a significant difference between the studied genotypes for all the agronomic traits ($p<0.01$). The plant height in the studied genotypes varied

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

from 22 cm (Nige7) to 58.4 cm (Nige1). The highest number of capsules per plant was observed in the Nige 53 genotype, with 20.45 capsules, and the lowest number of capsules per plant was observed in the Nige63 genotype, with 5.3 capsules. The number of branches per plant ranged from 3.9-11.5 per plant. The yield ranged from 263.56 kg/ha (Nige3) to 1409.39 kg/ha (Nige78 genotype). The phenotypic coefficient of variation varied from 48.58% (seed performance) to 5.20 (capsule diameter), and the genotypic coefficient of variation varied from 48.29% (seed performance) to 4.7 (capsule diameter). The highest genetic coefficient of variation (48.29%) belonged to the grain yield trait. The estimated heritability for the assessed traits ranged from 73.81% for number of branches per plant to 98.8% for seed yield. Heritability was 91.91% for the number of capsules per plant trait. According to the correlation coefficient results, seed yield per plant showed a positive and significant correlation with the number of capsules per plant (r=0.87**) and branches per plant (r=0.54*). In the cluster analysis, the studied genotypes were divided into four different groups, and the results of the multivariate analyses indicated appropriate grouping and significant differences in the amount of grain yield and yield components among the groups resulting from the cluster analysis.

Conclusion: The high genetic variation among the studied genotypes indicates the high efficiency of this germplasm for improving grain yield and various traits and the high efficiency of selection in black cumin. Genotypes Nige53, Nige78, and Nige60 had high grain yields compared to other genotypes, which can be used to improve and increase grain yield in black cumin.

Keywords: Selection, cluster analysis, heritability, correlation.

بررسی تنوع ژنتیکی صفات عملکرد و اجزاء عملکرد در برخی ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

کورش احمدی[۱]، احسان شهبازی*[۲]، پوراندخت گلکار[۳] و کرامت اله سعیدی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

پست الکترونیک: eh_shahbazi@sku.ac.ir, es.shahbazi@gmail.com

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) از گیاهان دارویی مهم می‌باشد که در صنایع غذایی و دارویی بسیار استفاده می‌شود. باتوجه به نیاز روزافزون به گیاهان دارویی در جهان و لزوم تولید ارقام زراعی و اصلاح شده، نیاز است که ذخایر ژنتیکی آن بررسی شود. بازدهی ناشی از انتخاب برای یک صفت به اهمیت نسبی عوامل ژنتیکی در بروز تفاوت‌های فنوتیپی واریته‌ها بستگی دارد، به‌عبارت دیگر موفقیت برنامه‌های اصلاحی به میزان تنوع ژنتیکی و قابلیت توارث صفات بستگی دارد. ازاین‌رو، این مطالعه برای بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات عملکرد دانه و اجزاء عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی صفات عملکرد دانه و اجزاء عملکرد در ۲۰ ژنوتیپ مختلف سیاه‌دانه (ایرانی و خارجی) از نظر صفات مختلف زراعی آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه پژوهشی- تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. کشت ژنوتیپ‌ها در اواخر اسفندماه و به‌صورت دستی انجام شد. هر ژنوتیپ در هر تکرار به‌صورت ۴ ردیف ۱/۵ متری کشت شد که فاصله بین ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۲-۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، قطر کپسول، تعداد شاخه در بوته و ارتفاع بوته بود. براساس امید ریاضی، اجزاء واریانس، مقادیر واریانس محیطی و واریانس ژنتیکی و واریانس فنوتیپی محاسبه گردید و بعد ضریب تغییرات فنوتیپی ضریب تغییرات ژنتیکی و مقدار وارثت‌پذیری عمومی برآورد شد. تجزیه‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0 انجام شد. همبستگی پیرسون بین صفات و تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با روش وارد (Ward) و بر مبنای فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار R 3.6.1 انجام گردید. همچنین، برای اطمینان از صحت گروه‌بندی آزمون‌های چند متغیره و آزمون تجزیه واریانس، براساس طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر همه صفات زراعی اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از ۲۲ سانتی‌متر (Nige7) تا ۵۸/۴ سانتی‌متر (Nige1) متغیر بود. بیشترین تعداد کپسول در بوته در ژنوتیپ Nige53 با ۲۰/۴۵ کپسول و کمترین تعداد کپسول در بوته در ژنوتیپ Nige63 با ۵/۳ کپسول مشاهده شد. از نظر صفت تعداد شاخه در بوته، دامنه تغییرات از ۱۱/۵-۳/۹ شاخه در بوته بود، دامنه تغییرات عملکرد در محدوده ۲۶۳/۵۶ کیلوگرم در هکتار (Nige3) تا ۱۴۰۹/۳۹ کیلوگرم در هکتار (ژنوتیپ Nige78) متغیر بود. ضریب تغییرات فنوتیپی در محدوده ۴۸/۵۸٪ (عملکرد دانه) تا ۵/۲۰ (قطر کپسول) و ضریب تغییرات ژنوتیپی در محدوده ۴۸/۲۹٪ (عملکرد دانه) تا ۴/۷ (قطر کپسول) تنوع نشان داد. میزان وراثت‌پذیری برآورد شده برای صفات مورد ارزیابی از ۷۳/۸۱ برای صفت تعداد شاخه در بوته تا ۹۸/۸٪ برای عملکرد دانه متغیر بود. برای صفت تعداد کپسول در بوته نیز وراثت‌پذیری ۹۱/۱۹٪ برآورد گردید. با توجه به نتایج

ضریب همبستگی، عملکرد دانه در بوته با صفات تعداد کپسول در بوته (r=۰/۸۷**) و تعداد شاخه در بوته (r=۰/۵۴*) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. در تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در چهار گروه مختلف قرار گرفتند که نتایج آنالیزهای چند متغیره حکایت از گروه‌بندی مناسب و اختلاف‌های چشمگیری برای مقدار عملکرد دانه و اجزای عملکرد در بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای داشت.

نتیجه‌گیری: تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بیانگر کارایی بالای این ژرم‌پلاسم برای پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مختلف و کارایی بالای انتخاب در سیاه‌دانه می‌باشد. ژنوتیپ‌های Nige53، Nige78 و Nige60 دارای عملکرد دانه بالایی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند که می‌توان از این ژنوتیپ‌ها به‌منظور اصلاح و افزایش عملکرد دانه در سیاه‌دانه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب، تجزیه خوشه‌ای، وراثت‌پذیری، همبستگی.

مقدمه

سیاه‌دانه گیاهی با نام علمی *Nigella sativa* L. متعلق به تیره آلاله (*Ranunculaceae*) است (Mukhtar *et al.*, 2021). سیاه‌دانه گیاهی دولپه، علفی و یک‌ساله با ریشه و ساقه راست و منشعب می‌باشد. پراکنش آن در اروپا، شمال آفریقا، مناطق کوهستانی غرب آسیا و آسیای میانه می‌باشد و دارای ۱۴ گونه شناخته شده در جهان است و بومی غرب آسیا بوده که منشأ آن را خاورمیانه و شبه قاره هند گزارش کرده‌اند (D'Antuono *et al.*, 2002). این گیاه در بعضی مناطق مانند خراسان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری نیز به‌صورت زراعی کشت و کار می‌شود (Mehri *et al.*, 2022). روغن سیاه‌دانه دارای مصارف متعدد و گسترده دارویی و غذایی می‌باشد و به‌عنوان یک گیاه علفی منحصر به فرد در طب سنتی ایران شناخته شده است (Gholizade *et al.*, 2019؛ Golkar & Nourbakhsh, 2019). دانه‌های گیاه منبع معطر و مهم از ترکیبات دارویی آن هستند و حاوی پروتئین، روغن و اسانس‌های فرّار است که سرشار از ترکیبات آلکالوئیدی (مانند نیجلدین و نیجلیسین)، ساپونین، کارواکرول، تیمول و تیموکینون می‌باشد (Mukhtar *et al.*, 2021؛ Toma *et al.*, 2015). روغن سیاه‌دانه دارای خواص دارویی مهمی ازجمله اثرهای آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب، ضد اسپاسم، ضد درد، ضد تومور، ضد سرفه و ضد صرع است (Boskabady *et al.*, 2010؛ Gholizade *et al.*, 2019؛ Kazmi *et al.*, 2019). از بذرهای سیاه‌دانه به منظور تقویت سیستم ایمنی، ادرار آوری، کاهنده قند خون و افزایش دهنده شیر در دوران شیردهی استفاده می‌شود (Toma *et al.*, 2015؛ Kazmi *et al.*, 2019).

بررسی تنوع ژنتیکی، اولین و مهمترین مرحله برای شناسایی، حفظ و نگهداری ذخایر توارثی و نیز پایه اساسی برای تحقیقات ژنتیکی و اصلاحی می‌باشد (Govindaraj *et al.*, 2015). ازاین‌رو، در برنامه‌های مختلف اصلاحی (ازجمله انتخاب ژنوتیپ‌های برتر، تولید ارقام، دورگ‌گیری و تولید هیبریدهای برتر) بررسی تنوع ژنتیکی از اهمیت بالایی برخوردار است، از سویی موفقیت در برنامه‌ها به میزان تنوع در گونه مورد مطالعه و میزان وراثت‌پذیری صفات بستگی دارد (Govindaraj *et al.*, 2015). امروزه با توجه به روند رو به رشد مصرف گیاهان دارویی به‌عنوان مواد اولیه تولید داروهای گیاهی، اهلی کردن و کشت ژنوتیپ‌های برتر از گیاهان دارویی بومی کشور باید در مزارع گسترش داده شود (Omidbeigi, 2008). با این حال، کشت گیاهان دارویی در کشورمان، با وجود تنوع ژنتیکی و موقعیت جغرافیایی مناسب برای کشت و کار، اراضی کمی را در کشور ایران به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین اصلاح نباتات فرصتی را برای معرفی و سازگار کردن گونه‌هایی از گیاهان دارویی با تنوع بیشتر متناسب با تقاضای مصرف کنندگان، فراهم می‌کند. هر چند در این راه مسائلی موجب شده است تا اصلاح گیاهان دارویی با روند کندتری نسبت به گیاهان زراعی مواجه باشد اما به‌نژادگران سعی کردند تا با بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی موجود میان گیاهان دارویی، اصلاح برای افزایش عملکرد و پایداری اکولوژیکی را

هدف‌گیری نمایند (Wang *et al*., 2020). بررسی منابع نشان‌دهنده مطالعاتی در مورد تنوع ژنتیکی صفات مختلف زراعی ازجمله عملکرد و اجزای عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه می‌باشد (Faravani *et al*., 2006؛ Ahmad *et al*., 2013؛ Mehri *et al*., 2018؛ Gholizade *et al*., 2019). نتایج مطالعات انجام شده حکایت از وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار برای صفات مختلف مورد مطالعه در سیاه‌دانه ازجمله بیوماس، تعداد دانه در کپسول، عملکرد روغن، عملکرد دانه و وزن هزاردانه داشت. تنوع ژنتیکی با استفاده از نشانگرهای مولکولی نیز برای تعیین قرابت ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی فیلوژنتیکی در ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه انجام شده است (Mehri *et al*., 2022؛ Golkar & Nourbakhsh, 2019).

با ارزیابی و بررسی صفات مختلف زراعی، به‌ویژه صفات مهمی که در عملکرد دانه سیاه‌دانه مؤثر هستند، می‌توان برنامه‌ریزی برای اصلاح گیاه سیاه‌دانه را به‌طور دقیق‌تری انجام داد. با وجود اهمیت بسیار زیاد گیاه سیاه‌دانه، اجرای برنامه‌های اصلاحی برای این گیاه در کشور به‌صورت محدودی انجام شده است. با وجود انجام مطالعاتی در مورد تنوع ژنتیکی روی اکوتیپ‌های داخلی سیاه‌دانه، به نظر می‌رسد مقایسه‌ای از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی با ژنوتیپ‌های خارجی انجام نشده است و به‌عبارتی اطلاعات کافی در زمینه ژنوتیپ‌های بومی در کنار ژنوتیپ‌های خارجی وجود ندارد. ازاین‌رو، این مطالعه با هدف بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در سیاه‌دانه، به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان دارویی- صنعتی کشورمان مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی صفات عملکرد و اجزاء عملکرد در برخی ژنوتیپ‌های گیاه سیاه‌دانه، آزمایشی در مزرعه پژوهشی-تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۲ متر از سطح دریا اجرا گردید. براساس آمار هواشناسی و با توجه به منحنی آمبروترمیک، شهرستان شهرکرد دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است. میانگین دمای هوا در شرایط اجرای آزمایش در شهرکرد ۱۱ درجه سلسیوس و میانگین سالانه بارندگی ۳۲۱ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی ۴۲٪ بود. در این آزمایش ۲۰ ژنوتیپ مختلف سیاه‌دانه (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار بررسی شدند. ژنوتیپ‌های ایرانی از شرکت پاکان بذر اصفهان و مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و ژنوتیپ‌های خارجی از بانک ژن مؤسسه IPK در آلمان (Gene Bank Gatersleben - Leibniz-Institut) تهیه گردید. کشت ژنوتیپ‌ها در اواخر اسفندماه و به‌صورت دستی انجام شد. هر ژنوتیپ در هر تکرار به‌صورت ۴ ردیف ۱/۵ متری کشت شد که فاصله بین ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر، عمق کاشت ۲-۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشت بذرها به‌صورت دستی انجام گردید. آبیاری به‌صورت تیپ نواری انجام و وجین کردن علف‌های هرز نیز به‌صورت دستی انجام شد. صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته، قطر کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه براساس میانگین ۱۰ بوته که به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده بود، اندازه‌گیری گردید. در پایان فصل رشد زمانی که ۸۰٪ کپسول‌ها زرد شدند برای بررسی عملکرد دانه با رعایت فاصله حاشیه‌ای برداشت انجام شد و عملکرد در واحد سطح محاسبه شد. براساس امید ریاضی اجزاء واریانس، مقادیر واریانس محیطی ($\delta_e^2 = \frac{MSE}{r}$) و واریانس ژنتیکی ($\delta_g^2 = \frac{MSG-MSE}{r}$) و واریانس فنوتیپی ($\delta_p^2 = \delta_g^2 + \delta_e^2$) محاسبه گردید و بعد ضریب تغییرات

فنوتیپی ($CV_p = \frac{\delta_p}{\bar{x}_{oo}} \times 100$)، ضریب تغییرات ژنتیکی ($CV_g = \frac{\delta_g}{\bar{x}_{oo}} \times 100$) و مقدار وارثت‌پذیری عمومی ($h^2 = \frac{\delta_g^2}{\delta_p^2} \times 100$) برآورد گردید. تجزیه‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0 انجام شد. همبستگی پیرسون بین صفات و تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با روش وارد (Ward) و بر مبنای فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار R 3.6.1 انجام شد. همچنین برای اطمینان از صحت گروه‌بندی آزمون‌های چند متغیره و آزمون تجزیه واریانس از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد مطالعه

Table 1. *Nigella sativa* genotypes characteristics studied

No.	Code	Genotype	Origin	No.	Code	Genotype	Origin
1	Nige1	23750	Ghazvin-Iran	11	Nige55	Nige55	Lebanon
2	Nige2	Nige2	Unknown	12	Nige59	Nige59	Syria
3	Nige3	23768	Ghazvin -Iran	13	Nige60	Nige60	Iraq
4	Nige4	Dehaqan	Isfahan-Iran	14	Nige61	Nige61	Tunisia
5	Nige5	Freidun	Isfahan -Iran	15	Nige62	Nige62	Algeria
6	Nige6	Mashhad	Mashhad-Iran	16	Nige63	Nige63	Algeria
7	Nige7	Qazvin	Ghazvin -Iran	17	Nige68	Nige68	Uzbekistan
8	Nige8	Semirom	Isfahan -Iran	18	Nige72	Nige72	Syria
9	Nige45	Nige45	Ethiopia	19	Nige76	Nige76	Kyrgyzstan
10	Nige53	Nige53	Tajikistan	20	Nige78	Nige78	Yemen

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر ژنوتیپ بر صفات سیاه‌دانه

Table 2. ANOVA of genotype effects on *Nigella sativa* traits

S.O.V.	d.f.	M.S.						
		Plant height	Number of branches per plant	Number of capsules per plant	Capsule diameter	Number of seeds per capsule	1000-seed weight	Grain yield
Replication	2	0.63	4.85	5.15	0.042	44.4	0.008	2017.8
Genotype	19	280.21**	11.9**	50.48**	0.893**	327.03**	.411**	265751**
Experimental error	38	33.57	3.12	4.45	0.165	82.78	0.043	3186.6
C.V. (%)		14.96	29.19	22.82	3.88	12.79	8.79	9.21

**: significant at p<0.01.

نتایج

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات زراعی مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر همه صفات زراعی اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد (جدول ۲).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بلندترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ Nige1 بود و بعد از آن ژنوتیپ‌های Nige60، Nige76 و Nige68 بودند. ژنوتیپ‌های Nige7، Nige6، Nige72، Nige62 و Nige61 به‌ترتیب کوتاه‌ترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۳).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، ژنوتیپ Nige53 بیشترین تعداد شاخه در بوته و Nige62 کمترین تعداد شاخه در بوته را داشت. سپس ژنوتیپ‌های Nige1، Nige8 و Nige68 بیشترین و ژنوتیپ‌های Nige55، Nige7، Nige63، Nige6 و Nige3 کمترین تعداد شاخه

را داشتند. ژنوتیپ‌های Nige7، Nige63 و Nige6 و ژنوتیپ‌های Nige61 و Nige3 اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد شاخه در بوته با هم نداشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ‌های Nige53 (۲۰/۴۵)، Nige78 (۱۸/۵۵)، Nige1 (۱۴/۳) و Nige60 (۱۱/۲) بیشترین تعداد کپسول در بوته و ژنوتیپ‌های Nige63 (۵/۳)، Nige3 (۵/۵)، Nige55 (۶) و Nige62 (۶/۱) کمترین تعداد کپسول در بوته را داشتند (جدول ۳). در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ Nige63 دارای بیشترین قطر کپسول و ژنوتیپ Nige78 کمترین قطر کپسول را دارا بود که با ژنوتیپ‌های Nige5، Nige8، Nige4 و Nige3 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ Nige1 بیشترین و ژنوتیپ Nige3 کمترین قطر ساقه را داشتند (جدول ۳). بعد از ژنوتیپ Nige1، ژنوتیپ‌های Nige60، Nige63، Nige2 و Nige53 از نظر قطر ساقه قرار می‌گیرند (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در کپسول مربوط به ژنوتیپ Nige63 با ۹۰/۶ تعداد دانه در کپسول بود که با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین تعداد دانه در کپسول مربوط به ژنوتیپ‌های Nige5، Nige62 و Nige6 به‌ترتیب با ۴۷/۷، ۵۷/۵ و ۵۸/۱ تعداد دانه در کپسول بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ Nige7 بیشترین وزن هزاردانه را با ۳/۳ گرم داشت که با ژنوتیپ Nige61 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین وزن هزاردانه بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی، مربوط به ژنوتیپ Nige8 با ۱/۹۵ گرم بود که با ژنوتیپ Nige60 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، دامنه تغییرات برای صفت عملکرد دانه از ۱۴۰۹/۳۹ کیلوگرم در هکتار تا ۲۶۳/۵۶ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Nige78 و کمترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Nige3 بود (جدول ۳).

ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی

نتایج مربوط به میانگین حداکثر و حداقل در صفات مورد مطالعه، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی در جدول ۴ آورده شده است. بیشترین مقدار واریانس ژنتیکی (۸۷۵۲۱/۴۶) و محیطی (۱۰۶۲/۲۲) برای صفت عملکرد دانه مشاهده شد و بعد از آن برای صفات تعداد دانه در کپسول و ارتفاع مشاهده شد (جدول ۴). ضریب تغییرات فنوتیپی در محدوده ۴۸/۵۸٪ (عملکرد دانه) تا ۵/۲۰ (قطر کپسول) و ضریب تغییرات ژنوتیپی در محدوده ۴۸/۲۹٪ (عملکرد دانه) تا ۴/۷ (قطر کپسول) تنوع نشان داد. بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی (۴۸/۲۹٪) متعلق به صفت عملکرد دانه بود. صفات عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته نیز به ترتیب دارای بالاترین ضریب تغییرات فنوتیپی بودند. صفت قطر کپسول کمترین ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی را نشان دادند (جدول ۴). میزان وراثت‌پذیری برآورد شده برای صفات مورد ارزیابی از ۷۳/۸۱ برای صفت تعداد شاخه در بوته تا ۹۸/۸٪ برای عملکرد دانه متغیر بود. برای صفت تعداد کپسول در بوته نیز وراثت‌پذیری ۹۱/۱۹٪ برآورد گردید (جدول ۴).

همبستگی بین صفات

بررسی نمودار ضرایب همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد که عملکرد دانه در بوته با صفات تعداد کپسول در بوته ($r=۰/۸۷^{**}$) و تعداد شاخه در بوته ($r=۰/۵۴^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد و با سایر صفات مورد ارزیابی همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۵). ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد شاخه در بوته ($r=۰/۶۴^{**}$) و همبستگی منفی و معنی‌داری ($r=-۰/۷۱^{**}$) با وزن هزاردانه نشان داد، همچنین تعداد شاخه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد کپسول در بوته ($r=۰/۷۵^{**}$) داشت. تعداد دانه در کپسول همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۶۳^{**}$) با قطر کپسول نشان داد (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر ژنوتیپ بر صفات سیاه‌دانه

Table 3. Means comparison of genotype effects on *Nigella sativa* traits

Genotype	Plant height (cm)	Number of branches.plant^{-1}	Number of capsules.plant^{-1}	Capsule diameter (mm)	Number of seeds.capsule^{-1}	1000-seed weight (g)	Grain yield (kg.ha^{-1})
Nige1	$58.4^{a} \pm 7.85$	$9.9^{ab} \pm 0.98$	$14.3^{b} \pm 1.21$	$10.93^{a-d} \pm 0.14$	$62.5^{d-f} \pm 7.22$	$2.15^{f-h} \pm 0.14$	$854.4^{d} \pm 11.1$
Nige2	$33^{j-g} \pm 2.66$	$6^{cd} \pm 0.23$	$7.8^{c-f} \pm 0.23$	$10.92^{a-d} \pm 0.17$	$85.2^{ab} \pm 3.93$	$2^{gh} \pm 0.35$	$415^{g-i} \pm 38.2$
Nige3	$43.4^{b-f} \pm 0.81$	$4.6^{d} \pm 0.35$	$5.5^{f} \pm 0.64$	$9.92^{f-h} \pm 0.11$	$71.5^{b-e} \pm 7.79$	$2.1^{f-h} \pm 0.17$	$263.6^{k} \pm 1.8$
Nige4	$40.9^{b-g} \pm 1.79$	$4.7^{d} \pm 0.87$	$7.2^{d-f} \pm 0.23$	$9.99^{f-h} \pm 0.01$	$66^{c-e} \pm 2.31$	$2.3^{c-g} \pm 0.01$	$411.7^{g-i} \pm 33.1$
Nige5	$36.5^{e-i} \pm 0.29$	$5.85^{cd} \pm 0.09$	$6.55^{d-f} \pm 0.03$	$9.66^{gh} \pm 0.09$	$47.7^{f} \pm 0.52$	$2.35^{b-f} \pm 0.03$	$314.9^{jk} \pm 1.9$
Nige6	$25.4^{jk} \pm 0.92$	$4.4^{d} \pm 0.69$	$8.55^{c-f} \pm 0.43$	$10.07^{f-h} \pm 0.13$	$58.1^{ef} \pm 0.52$	$2.5^{b-e} \pm 0.17$	$469.7^{gh} \pm 15.3$
Nige7	$22^{k} \pm 0.46$	$4.4^{d} \pm 0.92$	$7.2^{d-f} \pm 0.1$	$10.34^{d-f} \pm 0.17$	$68.1^{c-e} \pm 7.22$	$3.3^{a} \pm 0.06$	$632.8^{e} \pm 29.7$
Nige8	$46.7^{b-d} \pm 0.87$	$8.3^{bc} \pm 0.87$	$7.3^{d-f} \pm 0.06$	$9.97^{f-h} \pm 0.32$	$65.5^{c-e} \pm 0.29$	$1.95^{h} \pm 0.14$	$391.5^{j-i} \pm 20$
Nige45	$38.3^{c-g} \pm 3.06$	$5.6^{cd} \pm 0.01$	$7.55^{d-f} \pm 1.01$	$11.18^{a} \pm 0.42$	$71.2^{b-e} \pm 7.74$	$2.4^{b-f} \pm 0.12$	$504.7^{fg} \pm 10.6$
Nige53	$45.2^{b-e} \pm 3.35$	$11.5^{a} \pm 3.41$	$20.45^{a} \pm 3.67$	$10.27^{d-g} \pm 0.07$	$73.8^{b-d} \pm 7.74$	$2.25^{d-h} \pm 0.03$	$1046.1^{b} \pm 55.4$
Nige55	$45.5^{b-e} \pm 4.91$	$4.3^{d} \pm 0.52$	$6^{f} \pm 0.81$	$10.23^{e-g} \pm 0.27$	$65.4^{c-e} \pm 2.77$	$2.1^{f-h} \pm 0.01$	$368^{ij} \pm 32.1$
Nige59	$37.6^{d-h} \pm 3.12$	$6.1^{cd} \pm 0.29$	$9.5^{c-e} \pm 0.4$	$11.12^{ab} \pm 0.29$	$78.7^{a-c} \pm 2.14$	$2.5^{b-e} \pm 0.01$	$922.6^{cd} \pm 16.1$
Nige60	$50.1^{ab} \pm 5.25$	$6.4^{cd} \pm 0.46$	$11.2^{bc} \pm 0.92$	$11.07^{a-c} \pm 0.07$	$77^{a-d} \pm 7.51$	$1.95^{h} \pm 0.03$	$950.3^{c} \pm 38.8$
Nige61	$28.1^{h-k} \pm 1.56$	$4.6^{d} \pm 0.92$	$8.2^{c-f} \pm 2.31$	$10.36^{d-f} \pm 0.08$	$68.4^{c-e} \pm 4.5$	$3.2^{a} \pm 0.01$	$441.7^{g-i} \pm 47.3$
Nige62	$27.55^{i-k} \pm 0.49$	$3.9^{d} \pm 0.06$	$6.1^{ef} \pm 1.1$	$10.4^{c-f} \pm 0.17$	$57.5^{ef} \pm 4.91$	$2.65^{b} \pm 0.03$	$380.7^{h-j} \pm 2.9$
Nige63	$33.9^{f-j} \pm 2.37$	$4.4^{d} \pm 0.58$	$5.3^{f} \pm 0.4$	$11.19^{a} \pm 0.56$	$90.6^{a} \pm 4.97$	$2.1^{f-h} \pm 0.06$	$457.8^{g-i} \pm 75.8$
Nige68	$47.5^{bc} \pm 5.72$	$7.8^{bc} \pm 0.69$	$9.9^{cd} \pm 0.64$	$10.87^{a-e} \pm 0.1$	$78.5^{a-c} \pm 4.33$	$2.15^{f-h} \pm 0.14$	$840.8^{d} \pm 8.9$
Nige72	$27.4^{i-k} \pm 1.96$	$5.5^{cd} \pm 0.29$	$8^{c-f} \pm 0.46$	$10.48^{b-f} \pm 0.32$	$78.9^{a-c} \pm 2.71$	$2.55^{b-d} \pm 0.09$	$573.1^{ef} \pm 30.3$
Nige76	$49.5^{ab} \pm 2.14$	$6.4^{cd} \pm 1.5$	$9.7^{cd} \pm 0.87$	$11.17^{a} \pm 0.14$	$85^{ab} \pm 2.42$	$2.2^{e-h} \pm 0.06$	$604.3^{e} \pm 38.1$
Nige78	$37.6^{d-h} \pm 2.66$	$6.3^{cd} \pm 1.1$	$18.55^{a} \pm 1.88$	$9.45^{h} \pm 0.15$	$72.4^{b-e} \pm 7.97$	$2.6^{bc} \pm 0.01$	$1409.4^{a} \pm 15.4$

In each column, means (±SE) with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۴- آمار توصیفی صفات در ۲۰ ژنوتیپ سیاه‌دانه

Table 4. Descriptive statistics of traits in 20 *Nigella sativa* genotypes

Traits	Mean	Min	Max	VE	VG	VP	GCV	PCV	H_b^2 (%)
Plant height (cm)	38.73	22	58.4	11.19	82.21	93.40	23.41	24.96	88.02
Number of branches.plant^{-1}	6.05	3.9	11.5	1.04	2.93	3.97	28.30	32.94	73.81
Number of capsules.plant^{-1}	9.24	5.3	20.45	1.48	15.34	16.83	42.38	44.38	91.19
Capsule diameter (mm)	10.48	9.45	11.19	0.06	0.24	0.30	4.70	5.21	81.47
Number of seeds.capsule^{-1}	71.1	48.7	90.6	27.59	81.42	109.01	12.69	14.68	74.69
1000-seed weight (g)	2.37	1.95	3.3	0.01	0.12	0.14	14.81	15.66	89.48
Grain yield (kg.ha^{-1})	612.7	263.56	1409.39	1062	87521	88584	48.29	48.58	98.80

VE, VG, and VP: environmental, genotypic, and phenotypic variances, respectively; GCV and PCV: genotypic and phenotypic coefficient of variation, respectively; H^2_b: broad sense heritability.

جدول ۵- همبستگی پیرسون صفات در ۲۰ ژنوتیپ سیاه‌دانه

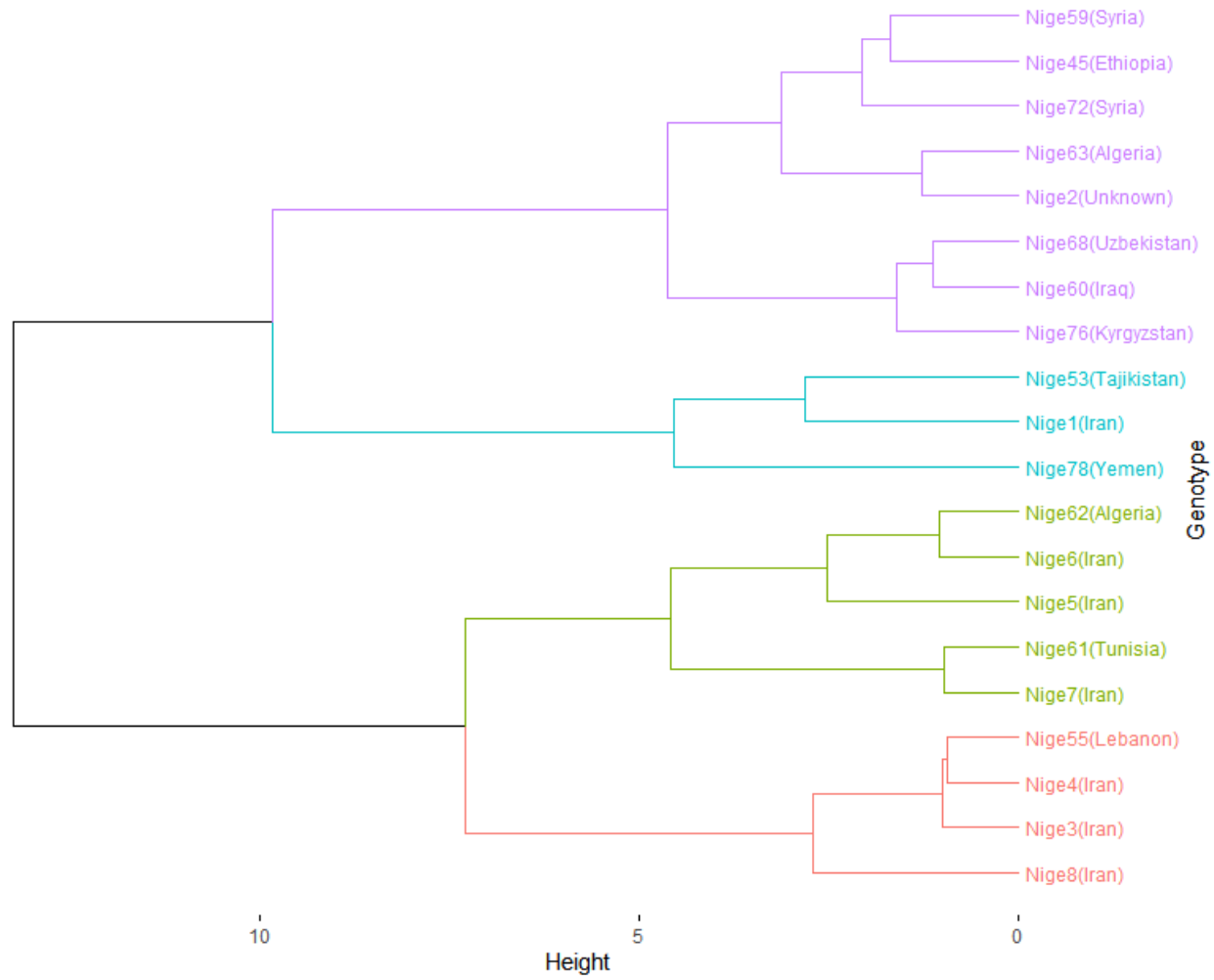
Table 5. Pearson's correlation of traits in 20 *Nigella sativa* genotypes

Traits	Plant height	Number of branches per plant	Number of capsules per plant	Capsule diameter	Number of seeds per capsule	1000-seed weight
Plant height	1					
Number of branches per plant	0.64**	1				
Number of capsules per plant	0.36	0.75**	1			
Capsule diameter	0.22	0.11	-0.1	1		
Number of seeds per capsule	0.12	0.08	0.1	0.63**	1	
1000-seed weight	-0.71**	-0.37	-0.03	-0.22	-0.25	1
Grain yield	0.29	0.54*	0.87**	0.07	0.27	0.05

* and **: significant at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

تجزیه خوشه‌ای

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد. در این گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ۴ گروه مختلف قرار گرفتند که به‌ترتیب تعداد ۸، ۳، ۵ و ۴ ژنوتیپ در گروه اول (بنفش رنگ)، گروه دوم (آبی رنگ)، گروه سوم (سبز رنگ) و گروه چهارم (قرمز رنگ) قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای ۲۰ ژنوتیپ سیاه‌دانه بر اساس برخی صفات عملکرد (روش **Ward** و فاصله اقلیدسی)

Figure 1. Cluster analysis of 20 *Nigella sativa* genotypes based on some yield traits (Ward method and Euclidean distance)

جدول تجزیه واریانس بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای (جدول ۶) حکایت از اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ برای همه صفات اندازه‌گیری شده داشت. نتایج تجزیه‌های چند متغیره براساس تمام صفات مورد مطالعه بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در جدول ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی آماره‌های (لاندای ویلک، بزرگترین ریشه روی، اثر پیلای و اثر لاولی-هتلینگ) بدست آمده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. در گروه بنفش رنگ، ژنوتیپ‌های Nige59، Nige45، Nige72، Nige63، Nige2، Nige68، Nige60 و Nige76 قرار گرفتند که از نظر میزان عملکرد دانه و اجزای عملکرد (بجز تعداد دانه در کپسول) و قطر کپسول، در رتبه دوم قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های Nige53، Nige1 و Nige78 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حائز رتبه اول، در این مطالعه از نظر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در گروه آبی رنگ قرار گرفتند. در گروه سبز رنگ، ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه و

اجزای عملکرد متوسط قرار گرفتند که شامل Nig5، Nig6، Nig7، Nig61 و Nig62 بود. در گروه قرمز، ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد دانه و اجزای عملکرد و سایر صفات زراعی اندازه‌گیری شده قرار گرفتند که شامل ژنوتیپ‌های Nig3، Nige4، Nige8 و Nige55 بود.

جدول ۶- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تأثیر ژنوتیپ بر صفات سیاه‌دانه برای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 6. ANOVA and means comparison of genotype effects on *Nigella sativa* traits for groups resulting from cluster analysis

Treat	M.S. (B)	M.S. (W)	Mean			
			Group1	Group2	Group3	Group4
Plant height (cm)	917.24**	68.74	39.66b	47.07a	27.91c	44.12ab
Number of branches.plant^{-1}	41.81**	4.09	6.02b	9.23a	4.63b	5.47b
Number of capsules.plant^{-1}	269.66**	5.88	8.62b	17.77a	7.32bc	6.5c
Capsule diameter (mm)	3.69**	0.22	11.1a	10.11b	10.16b	10.03b
Number of seeds.capsule^{-1}	1419.26**	92.68	80.64a	69.57b	59.96c	67.1bc
1000-seed weight (g)	1.34**	0.09	2.23b	2.33b	2.8a	2.11b
Grain yield (kg.ha^{-1})	1132709**	31719	658.58b	1103.31a	447.95c	358.69c

MS (B) and MS (W): between and within mean square, respectively; **: significant at p<0.01; In each row, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test); Group 1, 2, 3, and 4 : purple, blue, green, and red color groups, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون‌های چند متغیره برای ۲۰ ژنوتیپ سیاه‌دانه

Table 7. Means comparison of groups resulting from cluster analysis using multivariate tests for 20 *Nigella sativa* genotypes

Test	Statistic Value	F
Wilk's lamda	0.0048	7.5**
Roy's largest root	8.04	13.78**
Pillai's trace	2.45	7.63**
Lawley-Hotelling trace	16.01	6.6**

**: significant at p<0.01.

بحث

نتایج مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای صفات مختلف، نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود که این تنوع به دلیل شرایط اکولوژیکی و جغرافیایی مختلف ژنوتیپ‌ها در طی سال‌های ممتد سازگاری با آن منطقه جغرافیایی ایجاد شده است. وجود تنوع ژنوتیپی معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌های مختلف در مطالعات قبلی سیاه‌دانه نیز گزارش شده است (Salamati & Zeinali, 2013؛ Gholizade *et al*., 2019). تفاوت در ژنوتیپ‌ها، منطقه محل رویش و تأثیر شرایط اقلیمی ازجمله عوامل تأثیرگذار بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه هستند (Ghorbanzadeh Neghab & Zare Mehrjerdi, 2018). پژوهش‌های قبلی نشان داده است که عملکرد بذر سیاه‌دانه در مناطق مختلف ایران متفاوت می‌باشد و بستگی به ژنوتیپ و شرایط اقلیمی محل رویش دارد (Salamati & Zeinali, 2013).

ضریب تغییرات ژنوتیپی صفات نشان می‌دهند که تنوع موجود در صفات مختلف متفاوت و از کم تا زیاد متغیر است. مسلماً هر چه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد انتخاب در آنها منجر به پاسخ به گزینش بهتری خواهد شد

(Falconer, 1996). در تمام صفات ارزیابی شده، ضرایب تغییرات فنوتیپی بیشتر از ضرایب تغییرات ژنوتیپی بود ولی وجود اختلاف کم بین ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، قطر کپسول و عملکرد دانه نشان‌دهنده تأثیر کمتر عوامل محیطی نسبت به ژنتیکی بر بروز این صفات و کارایی بالای انتخاب برای اصلاح این صفات می‌باشد (Misra *et al*., 2013). در مطالعات پیشین روی سیاه‌دانه، بیشترین ضرایب تنوع ژنتیکی مربوط به صفات تعداد دانه در کپسول و عملکرد بیولوژیک بود (Salamati & Zeinali, 2013). در مطالعه دیگری نیز بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی مربوط به تعداد کپسول در بوته بود (Gholizade *et al*., 2019).

یکی از مهمترین پارامترها در مطالعات ژنتیکی صفات کمّی، وراثت‌پذیری است که در انتخاب برای گزینش و بازدهی ناشی از انتخاب یک صفت خاص نقش مهمی دارد (Nyquist & Baker, 1991). در این مطالعه بیشترین میزان وراثت‌پذیری عمومی برای صفت عملکرد دانه (۹۸/۸۰) و کمترین مقدار برای قطر ساقه (۷۱/۶۵٪) مشاهده شد که گویای تأثیر بالای عوامل ژنتیکی در بروز صفت عملکرد دانه می‌باشد. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفت عملکرد دانه تفاوت‌های ژنتیکی بالایی دارند، بنابراین بهبود ژنتیکی این صفت از طریق انتخاب می‌تواند مؤثر باشد. در این آزمایش، به دلیل بالاتر بودن وراثت‌پذیری عمومی برای تعداد کپسول در بوته و وزن هزاردانه، این صفات به عنوان شاخص‌های مناسب برای انجام برنامه‌های اصلاحی در سیاه‌دانه معرفی می‌شوند. مشابه با این نتیجه، در مطالعه Iqbal و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش گردید.

عملکرد دانه صفتی پیچیده و تابعی از تغییرات صفات مختلف دیگر ازجمله اجزای عملکرد می‌باشد. با توجه به اینکه این صفت تحت تأثیر شرایط محیطی می‌باشد، بنابراین شناسایی صفات همبسته و مؤثر بر آن ضروریست. انتخاب صفاتی که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه و وراثت‌پذیری بالایی دارند، می‌تواند در بهبود عملکرد دانه در سیاه‌دانه مؤثر باشد.

در این مطالعه عملکرد دانه در بوته با صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. به این ترتیب انتخاب ژنوتیپ‌هایی که تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته بالایی دارند، می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم منجر به افزایش عملکرد دانه در سیاه‌دانه شود. نتایج این همبستگی با سایر مطالعات در سیاه‌دانه (Faravani *et al*., 2006؛ Salamati & Zeinali, 2013؛ Ghorbanzadeh Neghab & Zare Mehrjerdi, 2018) مطابقت دارد. در حالی که همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد دانه با تعداد شاخه در بوته (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011) و تعداد کپسول در بوته (Mosazadeh *et al*., 2001) در مطالعات دیگر سیاه‌دانه گزارش شده است. در مطالعه Faravani و همکاران (۲۰۰۶) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد دانه در کپسول مشاهده گردید، در حالی که در این مطالعه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در این تحقیق تعداد شاخه در بوته با صفات ارتفاع بوته و تعداد کپسول در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد، در حالی که ارتفاع بوته همبستگی بسیار منفی و معنی‌داری با وزن هزاردانه نشان داد که با نتایج Mehri و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت. همبستگی صفات نشان داد که با افزایش صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته عملکرد دانه سیاه‌دانه در هکتار افزایش می‌یابد، بنابراین انتخاب برای این دو صفت می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه و تولید ارقامی با عملکرد در سیاه‌دانه گردد.

در این مطالعه، تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی و تعیین قرابت ژنوتیپ‌ها براساس تمام صفات مورد ارزیابی استفاده شد و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در چهار گروه قرار گرفتند. مقایسه میانگین صفات بین گروه‌ها حکایت از تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها داشت که نشان‌دهنده گروه‌بندی مناسب ژنوتیپ‌ها در این تجزیه خوشه‌ای بود. همچنین آماره‌های لاندای ویلک، بزرگترین ریشه روی، اثر پیلای و اثر لاولی- هتلینگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند که حکایت از

انتخاب مناسب تعداد گروه و محل برش و بیانگر تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای دارد که با نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین بین گروه‌ها (جدول ۶) مطابقت دارد و نتایج تجزیه خوشه‌ای را تأیید می‌کند.

ژنوتیپ‌های گروه‌بندی شده در گروه سبز (Nige53، Nige1 و Nige78) از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد برتر بودند، بنابراین انتخاب این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی سیاه‌دانه توصیه می‌شود. با قرارگیری ژنوتیپ‌های با منشأ جغرافیایی متفاوت در داخل یک گروه، می‌توان چنین استنباط کرد که تنوع فنوتیپی از تنوع جغرافیایی تبعیت نمی‌کند و مشابه با این نتیجه در مطالعه قبلی در سیاه‌دانه نیز گزارش شده است (Faravani *et al*., 2006؛ Gholizade *et al*., 2019؛ Mehri *et al*., 2018). از سویی ژنوتیپ‌های ایرانی در گروه‌های مختلف قرار گرفتند که این نتیجه حکایت از تنوع بالایی در این ژنوتیپ‌ها برای صفات عملکرد و اجزاء عملکرد دارد. همچنین با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای می‌توان از ژنوتیپ‌هایی که در حداکثر فاصله ژنتیکی از یکدیگر قرار دارند، برای انتخاب والدین مناسب برای دو رگ‌گیری جهت تولید جوامع متنوع برای برآورد اجزاء مختلف واریانس ژنتیکی و احتمالاً تولید هیبریدهای با عملکرد و صفات زراعی برتر بهره گرفت (Yadav *et al*., 2007). در این مطالعه ژنوتیپ‌هایی که در گروه‌های دوم و چهارم قرار گرفته‌اند، می‌توانند برای اقدامات بعدی از نظر توانایی تولید هیبرید برتر و برآورد اثرهای ژنتیکی مطالعه شوند.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی میتوان بیان کرد که تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، بیانگر کارایی بالای این ژرم‌پلاسم برای پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مختلف و کارایی بالای انتخاب در سیاه‌دانه می‌باشد. به نظر می‌رسد که بررسی دقیق توده‌های بومی موجود به همراه مقایسه آنها با ژنوتیپ‌های خارجی می‌تواند برای برنامه‌ریزی تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی بعدی در کشور انجام شود. همچنین ژنوتیپ‌های Nige53، Nige78 و Nige60 دارای عملکرد دانه بالایی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند که می‌توان از این ژنوتیپ‌ها به منظور اصلاح و افزایش عملکرد دانه در سیاه‌دانه استفاده کرد. ولی بکارگیری ژنوتیپ‌های بیشتر و ارزیابی طیف وسیع‌تری از ژرم‌پلاسم موجود در ایران و جهان می‌تواند در تسریع و افزایش بازده اصلاح و عملکرد دانه مفید باشد.

References

- Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S.A., Najmi, A.K., Siddique, N.A., Damanhouri, Z.A. and Anwar, F., 2013. A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 3(5): 337-352.
- Amirmoradi, S. and Rezvani Moghaddam, P., 2011. Effect of plant density and time of nitrogen application on morphological, phenological characteristics, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Sciences, 25: 251-260.
- Boskabady, M.H., Mohsenpoor, N. and Takaloo, L., 2010. Antiasthmatic effect of *Nigella sativa* in airways of asthmatic patients. Phytomedicine, 17(10): 707-713.
- D'Antuono, L.F., Moretti, A. and Lovato, A.F.S., 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. Industrial Crops and Products, 15(1): 59-69.
- Falconer, D.S., 1996. Introduction to quantitative genetics. Pearson Education India, 365p.
- Faravani, F., Razavi, S.A. and 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 Research, 22(3): 193-197.
- Gholizade, A., Sharifi Olounabadi, A.R., Hosseini, S.M. and Sharifi, H., 2019. Genetic diversity analysis and character associations in black cumin (*Nigella sativa* L.) based on agro-morphological and phytochemical traits. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(9): 1196-1210.
- Ghorbanzadeh Neghab, M. and Zare Mehrjerdi, M., 2018. The study of genetic diversity, correlation between traits and path analysis in black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes. Journal of Plant

Production Research, 25(3): 1-12.
- Golkar, P. and 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.
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M. and Srinivasan, M., 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. Genetics Research International, 2015:431487.
- Iqbal, M.S., Qureshi, A.S. and Ghafoor, A., 2010. Evaluation of *Nigella sativa* L. for genetic variation and ex-situ conservation. Pakistan Journal of Botany 42: 2489-2495.
- Kazmi, A., Khan, M.A. and Huma, A., 2019. Biotechnological approaches for production of bioactive secondary metabolites in *Nigella sativa*: An up-to-date review. International Journal of Secondary Metabolite, 6(2): 172-195.
- Mehri, N., Mohebodini, M. and Behnamian, M., 2018. Morphological diversity of black cumin (*Nigella sativa* L.) accessions using multivariate analysis methods. Journal of Crop Breeding, 10(26): 32-42.
- Mehri, N., Mohebodini, M., Behnamian, M. and Farmanpour-Kalalagh, K., 2022. Phylogenetic, genetic diversity, and population structure analysis of Iranian black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes using ISSR molecular markers. International Journal of Horticultural Science and Technology, 9(2): 151-163.
- Misra, H.O., Lal, R.K., Gupta, A.K., Kumar, B., Misra, A.N., Sarkar, S., Gupta, V., Singh, S., Gupta, P. and Zaim, M., 2013. Genetic variability, character association and path analysis for economic traits in Bishop's weed (*Ammi visnaga* (L.) Lam.). Industrial Crops and Products, 49: 593-597.
- Mosazadeh, M., Baradaran, R. and Segatoleslami, M.G., 2001. Study the effect of plant density and spray fertilizer on yield, yield components and harvest index black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8(1): 42-48.
- Mukhtar, H., Mumtaz, M.W., Tauqeer, T. and Raza, S.A., 2021. Composition of *Nigella sativa* seeds. Black Cumin *(Nigella Sativa)* Seeds: Chemistry, Technology. Functionality, and Applications, 45-57.
- Nyquist, W.E. and Baker, R.J., 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. Critical Reviews in Plant Sciences, 10(3): 235-322.
- Omidbeigi, R., 2008. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants (Volume 3). Astan Quds Publications, Mashhad, 397p.
- Salamati, M.S. and Zeinali, H., 2013. Evaluation of genetic diversity of some *Nigella sativa* L. genotypes using agro-morphological characteristics. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 29(1): 201-214.
- Toma, C.C., Olah, N.K., Vlase, L., Mogoșan, C. and Mocan, A., 2015. Comparative studies on polyphenolic composition, antioxidant and diuretic effects *of Nigella sativa* L. (black cumin) and *Nigella damascena* L. (lady-in-a-mist) seeds. Molecules, 20(6): 9560-9574.
- Wang, W., Xu, J., Fang, H., Li, Z. and Li, M., 2020. Advances and challenges in medicinal plant breeding. Plant Science, 298: 110573.
- Yadav, H.K., Shukla, S. and Singh, S.P., 2007. Genetic divergence in parental genotypes and its relation with heterosis, F 1 performance and general combining ability (GCA) in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). Euphytica, 157: 123-130.