



Investigating How Seed Yield is Influenced by Different Agronomic Traits in Local Sesame (*Sesamum indicum* L.) Lines Through the Utilization of Path Analysis and Principal Components Analysis

B. Masoudi^{1*}, M. Abbasali¹, A. Aien², S. Saif Amiri³

- 1- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 2- Seed and Plant Improvement Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran
- 3- Seed and Plant Improvement Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ardabil, Iran

(* - Corresponding author's Email: bmMasoudi@gmail.com)

Received: 25 December 2024
Revised: 22 February 2025
Accepted: 01 March 2025
Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Masoudi, B., Abbasali, M., Aien, A., & Saif Amiri, S. (2025). Investigating How Seed Yield is Influenced by Different Agronomic Traits in Local Sesame (*Sesamum indicum* L.) Lines Through the Utilization of Path Analysis and Principal Components Analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(4), 461-478. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91336.1368>

Introduction

The importance of sesame (*Sesamum indicum* L.) as a key crop in numerous regions can be attributed to its adaptability to dry climates, the nutritional value of its oil, and its health advantages. The necessity of improving the sesame plant is important by its comparatively low yield. The use of improved cultivars by plant breeding and breeding methods has resulted in a higher yield and higher quality of crops, which in the case of sesame plants include a greater increase in the seed yield and improvement in its quality. In a breeding program, increasing genetic diversity enhances the ability to select superior genotypes, and a more efficient selection process contributes to greater breeding success. The use of local sesame cultivars is particularly valuable because of their potential to generate improved genotypes. Understanding the relationships between yield and other related traits allows these traits to be used more effectively as selection indicators for genetic improvement. The nature of the relationship between yield and its components determines what appropriate traits should be used in plant breeding.

Materials and Methods

To discover the correlations among seed yield and some important agricultural traits in order to determine the direct and indirect effects of each trait on seed yield and finally to choose the ideal genotypes in terms of various characteristics, a total of 36 local sesame cultivars were evaluated in 3 regions (Karaj, Moghan and Jiroft) by using a randomized complete block design for two years (2017-2018). A total of 14 quantitative traits were studied in this study, including measurements like the number of days from germination to the beginning of flowering, the number of days from germination to the beginning of maturity, the height of the first capsule from the plant crown, the height of the plant, the number of branches, the number of capsules in one plant, the number of seeds in one Capsule, seed weight of one capsule, the weight of 1000 seeds, capsule length, capsule width, capsule diameter, biological performance and seed yield.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91336.1368>

Results and Discussion

The calculation of simple correlation coefficients showed that the height of the first pod from the plant crown, seed weight of a capsule, biological yield, number of seeds in a capsule and plant height have the highest correlation coefficients with seed yield. The height of the first capsule from the plant crown, the number of seeds in the capsule and the height of the plant were demonstrated by path analysis had the most positive direct effect and the number of days until the start of maturity had the most negative direct effect on seed yield and it is suggested that they be used as selection indicators for the improvement of seed yield. Five components were identified through the results of the principal components analysis which explained 77.92% of the variations in the data. Out of all the genotypes analyzed in terms of yield, genotypes 78-730, 78-229, and 78-570, displayed the greatest seed yield on the biplot generated by the first and second components. All evaluated traits led to the identification of four separate groups through cluster analysis. Overall, the results indicated that the cultivars in the first group were late-flowering types characterized by tall plants and high yield. The second group consisted of late-flowering cultivars with few capsules and low yield. The third group included early-flowering, early-maturing cultivars with long capsules, while the fourth group comprised cultivars with small capsules but a high number of seeds.

Conclusion

It was shown by cluster analysis that there was no connection between the classification of genotypes and their geographical placement and predominantly, the genotypes were classified by their physical distinctions and morphological differences. It can be concluded from the results that principal components analysis and cluster analysis exhibit similarities in their ability to segregate cultivars and genotypes. Their analysis outcomes give us a better understanding of the genetic structure and helps identifying specific genetic populations that have the potential to improved breeding programs.

Keywords: Biplot, Geographic distribution, Relationships between traits, Selection indices, Yield improvement

بررسی رابطه بین عملکرد دانه و چندین صفت زراعی لاین‌های بومی کنجد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از روش تجزیه علیت و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

بهرام مسعودی^{۱*}، محمد عباسعلی^۱، احمد آئین^۲، صابر سیف امیری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

چکیده

جهت مشخص کردن روابط بین عملکرد دانه با برخی صفات مهم زراعی و انتخاب بهترین ارقام از نظر صفات مختلف، تعداد ۳۶ رقم بومی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال از نظر ۱۴ صفت کمی ارزیابی شدند. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که ارتفاع اولین غلاف از طوقه گیاه، وزن دانه‌های یک کپسول، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در یک کپسول و ارتفاع بوته بالاترین ضرایب همبستگی را با عملکرد دانه دارا بودند. تجزیه علیت نشان داد که ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، تعداد دانه در کپسول و ارتفاع بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت و تعداد روز تا شروع رسیدگی بیشترین اثر مستقیم منفی را روی عملکرد دانه داشتند و پیشنهاد می‌شود که به‌عنوان شاخص‌های انتخاب برای پیشرفت عملکرد دانه به کار روند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی پنج مؤلفه در مجموع ۷۷/۹۲ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. از لحاظ عملکرد به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۷۸-۷۳۰، ۷۸-۲۲۹ و ۷۸-۵۷۰ دارای بالاترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در بای پلات حاصل از مؤلفه اول و دوم بودند. براساس تجزیه خوشه‌ای برای کلیه صفات مورد ارزیابی، چهار گروه تشخیص داده شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها با توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها ارتباطی نداشته و اکثر ژنوتیپ‌ها براساس تفاوت‌های ریخت‌شناختی گروه‌بندی شدند. ارقام بومی که از لحاظ عملکرد دارای برتری بودند، همگی در خوشه شماره یک قرار گرفتند که از آن‌ها می‌توان برای پروژه‌های دورگ‌گیری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، پیشرفت عملکرد، توزیع جغرافیایی، روابط بین صفات، شاخص‌های انتخاب

مقدمه

غذایی حمایت می‌کند، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز روغن آن ارزش بالایی دارد. تقریباً ۷۰ درصد تولید کنجد در آسیا انجام می‌شود و کشور ایران واردات قابل توجهی از کشورهای هند و پاکستان دارد (Davoodi Zanjani, Ghasemi Afshar, & Adeli Milani, 2020). کنجد نسبت به شرایط آب‌وهوایی بسیار حساس است و رشد مطلوب آن نیازمند دمای بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. گرما و سرمای شدید (بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد یا کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد) به دلیل عقیمی گرده و کاهش محتوای روغن به شدت بر عملکرد تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، الگوهای بارندگی نامنظم و آب بیش از حد می‌تواند بر رشد تأثیر منفی بگذارد و منجر به بازده کمتر شود (Ranganatha et al., 2010). بیشتر کنجد تحت شرایط دیم در زمین‌های حاشیه‌ای با شیوه‌های مدیریت ضعیف کشت می‌شود. این فقدان نهاده‌ها و تکنیک‌های کشاورزی بهینه، محدودیت‌های عملکرد را تشدید می‌کند (Ranganatha et al., 2010; Langham, 2010).

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یک محصول حیاتی است که به دلیل مزایای سلامتی و پایداری روغن آن و همچنین سازگاری آن با آب‌وهوای خشک شناخته شده است. کشت کنجد نه تنها از امنیت

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

۳- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

(Email: bmasoudi@gmail.com)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91336.1368>

(Riney, Smith, & Wiemers, 2008).

عملکرد به نسبت پایین کنگد در ایران (۶۹۰ کیلوگرم در هکتار) یکی از دلایل مهمی است که ضرورت اصلاح این گیاه را دوجندان نموده است (Yol, Karaman, Furat, & Uzun, 2010). استفاده از ارقام اصلاح شده می تواند موجب افزایش تولید و کیفیت محصولات زراعی از جمله افزایش کمی و کیفی روغن در گیاه کنگد گردد. میزان موفقیت در یک برنامه به نژادی و برنامه های انتخاب بستگی به دو عامل وجود تنوع ژنتیکی و انتخاب مؤثر ژنوتیپ های مطلوب دارد (Falconer & Mackey, 1996). از دست دادن ژن های مفید به ویژه در زمینه های کشاورزی نگران کننده است. بسیاری از گونه های گیاهی با چند رقم پرمحصول جایگزین شده اند که منجر به از دست رفتن قابل توجه تنوع ژنتیکی شده است. این کاهش، گزینه های برنامه های اصلاحی را با هدف بهبود مقاومت در برابر آفات و بیماری ها یا سازگاری با تغییرات آب و هوایی محدود می کند. گونه های محلی برای انعطاف پذیری سیستم های کشاورزی ضروری هستند و اغلب با شرایط منطقه سازگاری بهتری دارند و در برابر آفات و بیماری ها مقاومت می کنند (Winstead & Jacobson, 2024). ارقام محلی کنگد به دلیل امکان استفاده از آن ها در توسعه ژنوتیپ های برتر در برنامه های اصلاحی اهمیت دارند. در ایران، تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ های کنگد مشاهده شده است که نشان می دهد کشور ما یک کانون بالقوه تنوع برای این محصول است و تنوع ژنتیکی بالایی در ژنوتیپ های محلی آن نسبت به ژنوتیپ های وارداتی مشاهده می شود (Tabatabaei et al., 2011). وجود این تنوع برای بهبود صفاتی مانند تحمل به خشکی و بیماری هایی مانند فیلودی کنگد و حفظ عملکرد محصول تحت شرایط محیطی مختلف اهمیت بوم شناختی و کشاورزی این ارقام را برجسته می کند (Gharib-Eshghi, Mozafari, & Azizov, 2016; Salehi, Esmailzadeh Hosseini, Salehi, & Bertaccini, 2017). استفاده از خویشاوندان وحشی و بومی کنگد برای هیبریداسیون می تواند صفات مفیدی مانند تحمل به خشکی و مقاومت در برابر بیماری را به ارقام اصلاحی انتقال داده و انعطاف پذیری ارقام جدید را در برابر شرایط آب و هوایی افزایش دهد (Yadav et al., 2022; Ranganatha et al., 2010). علاوه بر دستیابی به ارقام متحمل به ریزش در کنگد، یکی از اصلی ترین اهداف اصلاحی در کنگد افزایش عملکرد بوده که با انتخاب بوته های دارای شاخه فرعی بیشتر و با تعداد کپسول در بوته بیشتر و افزایش تعداد برچه در کپسول می توان به این هدف دست یافت (Baydar, 2005). همچنین تیپ رشدی محدود و متحمل به ریزش برای برداشت مکانیزه بسیار مورد علاقه است (Ashri, 1998). اساساً استفاده از شاخص های انتخاب زمانی می تواند اثربخش باشد که درک کاملی از رابطه بین عملکرد و اجزای آن وجود داشته باشد (Mohammadi, Prasanna, & Singh, 2003). ماهیت رابطه بین

عملکرد و اجزای آن مشخص می کند که چه ویژگی های مناسبی باید در اصلاح نبات مورد استفاده قرار گیرند. مطالعات همبستگی در درک روابط بین ویژگی های عملکردی مختلف و سایر ویژگی ها ضروری است و محققان را قادر می سازد تا میزان ارتباط نزدیک متغیرهای مختلف را اندازه گیری کنند و بینش هایی را در مورد اثرات مستقیم و غیرمستقیم ارائه دهند. ضرایب مسیر امکان تجزیه و تحلیل دقیق ضرایب همبستگی را با تفکیک آن ها به اثرات مستقیم و غیرمستقیم فراهم می کند. این تجزیه برای تعیین سهم هر صفت در عملکرد کلی بسیار مهم است. یکی دیگر از روش های تحلیلی مورد استفاده، تجزیه به مؤلفه های اصلی است. این تکنیک چندین متغیر همبسته را به مجموعه ای از متغیرهای غیرهمبسته که به عنوان مؤلفه اصلی شناخته می شوند، تجزیه می کند. برخلاف تجزیه به عامل ها، تجزیه به مؤلفه های اصلی شامل چرخش عاملی نمی شود، و آن را به یک رویکرد ساده برای شناسایی شاخص های مستقل از یک مجموعه داده تبدیل می کند. مؤلفه های اصلی می توانند جنبه های مختلف داده ها را برجسته کنند و به محققان این امکان را می دهند تا روی صفات خاص بدون دخالت همبستگی ها تمرکز کنند (Manly, 2004).

تحقیقات نشان داده است که در کنگد، صفت عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول در گیاه، وزن هزار دانه، ارتفاع گیاه (Wang et al., 2024)، تعداد دانه در کپسول (Kante, Wadikar, Sargar, & Patil, 2022; Kalaiyarasi, Rajasekar, Lokeshkumar, Priyadharshini, & Mohanraj, 2019) و طول کپسول (et al., 2022) همبستگی مثبت و معنی داری دارد. ینگ زونگ و یشو (Yingzhong & Yishou, 2002) با بررسی ۳۰ رقم کنگد با توجه به نه خصوصیت تعداد روز تا ۵۰ درصد گل دهی، ارتفاع گیاه، ارتفاع نخستین کپسول، تعداد کپسول در گیاه، طول کپسول، عرض کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه نشان دادند که تعداد کپسول در گیاه و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت معنی دار با عملکرد دانه در گیاه دارد. ۶۴ ژنوتیپ کنگد به منظور همبستگی بین عملکرد و شش خصوصیت تشکیل دهنده عملکرد به وسیله کومارسون و همکاران (Kumaresan & Nadarajan, 2003) مورد بررسی قرار گرفتند. به غیر از تعداد روز تا ۵۰ درصد گل دهی و میزان روغن، بقیه خصوصیات مطالعه شده همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه نشان دادند. فاضل و همکاران (Fazal et al., 2015) با بررسی ۱۳ ژنوتیپ کنگد نتیجه گیری کردند که عملکرد دانه تک بوته بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد کپسول در گیاه دارد. تجزیه علیت نشان داد که ارتفاع گیاه دارای اثر مستقیم منفی روی عملکرد دانه بود، در حالی که دارای اثرات غیرمستقیم مثبت از طریق تعداد کپسول در گیاه، تعداد شاخه های فرعی و تعداد دانه در کپسول بود. تعداد کپسول در یک بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را روی عملکرد دانه داشت. محققان دیگر نیز به اثر مستقیم و مثبت تعداد کپسول در یک بوته

(به‌ترتیب نماینده منطقه معتدل، گرم شمال و گرم جنوب) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت دو سال کشت شدند. نام و منشاء هر کدام از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در **جدول ۱** ارائه شده است. منطقه کرج به‌دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزء مناطق آب‌وهوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر است. براساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی‌متر در سال است. مغان دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب است و به‌طور متوسط ۴۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. در زمستان دمای هوا به زیر صفر درجه می‌رسد و در تابستان دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. میزان بارندگی سالیانه تقریباً ۳۰۰ میلی‌متر است. مشخصات اقلیمی جیرفت عبارت است از ارتفاع از سطح دریا ۶۲۷ متر، متوسط بارندگی ۱۷۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد، حداکثر درجه حرارت ۴۸ درجه سلسیوس و حداقل درجه حرارت یک درجه سلسیوس که در بعضی از سال‌ها به یک تا دو درجه زیر صفر نیز می‌رسد.

زمین آزمایشی با انجام عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دو دیسک عمودبرهم، تسطیح با لندولر و کوددهی براساس آزمون خاک (**جدول ۲**) به‌صورت ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع کود اوره به‌صورت تقسیط‌شده در دو مرحله، نیمی در مرحله آماده‌سازی زمین و مابقی به‌صورت جای‌گذاری کنار ردیف‌های کاشت قبل از گل‌دهی در مناطق جیرفت و کرج و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در مغان به کار برده شد. همچنین ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع کود سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار از منبع کود پتاسیم سولفات قبل از کاشت در هر سه منطقه استفاده گردید. جوی و پشته به فواصل ۶۰ سانتی‌متر تهیه شد. هر ژنوتیپ در سه خط ۱/۵ متری با فاصله دو بوته روی هر خط ۸-۷ سانتی‌متر کشت گردید. تاریخ کاشت در مناطق کرج و مغان در اواخر خرداد و در جیرفت در اواسط تیرماه بود. در طی فصل رشد، مراقبت‌های زراعی لازم از جمله آبیاری، مبارزه با آفات و علف‌های هرز انجام پذیرفت. دور آبیاری در منطقه کرج هر هشت روز یک بار، در جیرفت هر هفته و در مغان نیز هر ۱۰ روز یک بار صورت پذیرفت. اندازه‌گیری صفات با استفاده از پنج بوته تصادفی از وسط هر کرت با حذف حاشیه انجام پذیرفت. صفاتی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند، عبارت از تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع گل‌دهی، تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع رسیدگی، ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول‌های یک بوته، تعداد دانه در یک کپسول (میانگین دانه تعداد ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در پنج بوته)، وزن دانه‌های یک کپسول (میانگین وزن دانه ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در پنج بوته)، وزن هزار دانه، طول

روی عملکرد دانه تک بوته اشاره کرده‌اند (Kavitha & Sethupathi-Ramalingam, 2000; Arulmozhi, Santha, & Mohammed, 2001; Sankar & Kumar, 2003).

در یک مطالعه، هفتاد ژنوتیپ کنجد از نظر ۱۴ صفت بررسی و توسط تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، چهار مؤلفه اصلی (PCs) شناسایی شدند که تقریباً ۶۸/۶ درصد از کل تنوع را تشکیل می‌دادند. در مؤلفه اول صفات روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، ارتفاع گیاه تعداد روز تا رسیدگی، تعداد شاخه‌های ثانویه و عملکرد دانه دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه دوم صفات تعداد کپسول در گیاه، تعداد محور برگ روی شاخه اصلی، طول کپسول و محتوی روغن دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه سوم صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا پایان گل‌دهی، تعداد شاخه‌های ثانویه و طول کپسول دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه چهارم نیز صفات تعداد شاخه‌های اولیه، طول کپسول و محتوی روغن دارای بالاترین ضرایب بودند (Mukthambica, Bisen, & Ramya, 2023). مطالعه دیگری، ۹۶ لاین کنجد را از نظر ۱۵ صفت مورد بررسی قرار داد و پنج مؤلفه اصلی شناسایی نمود که حدود ۶۴ درصد از کل تغییرات را تشکیل می‌دهند. در مؤلفه اول صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های اولیه، تعداد شاخه‌های ثانویه، تعداد شاخه‌های بارور در گیاه، تعداد کپسول در گیاه، تعداد کپسول در شاخه اصلی و عملکرد تک بوته دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه دوم صفات وزن هزار دانه، محتوی روغن، عملکرد تک بوته و عملکرد در هکتار دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه سوم صفات تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های زایا، تعداد کپسول در روی شاخه اصلی، تعداد دانه در کپسول و محتوی روغن دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه چهارم نیز صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد کپسول روی شاخه اصلی، طول کپسول و وزن هزار دانه دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه پنجم تعداد روز تا رسیدگی و طول میان‌گره دارای بالاترین ضرایب بودند (Hemanth et al., 2024).

هدف از این تحقیق، بررسی روابط بین صفات عملکرد دانه با برخی از صفات زراعی و تعیین ارقام مناسب از نظر عملکرد و دیگر صفات با استفاده از نمودار بای پلات و گروه‌بندی این لاین‌ها به‌منظور استفاده از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی است که در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت به‌مدت دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۷) کشت شدند.

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۶ ژنوتیپ کنجد (دریافت‌شده از بانک ژن ملی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت

وسط شاخه اصلی در پنج بوته)، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بودند. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و براساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

کپسول (میانگین طول ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در پنج بوته)، عرض کپسول (میانگین عرض ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در پنج بوته)، قطر کپسول (میانگین قطر ۱۰ کپسول از ناحیه

جدول ۱- نام و مبدأ ژنوتیپ‌های مورد بررسی
Table 1- Name and origin of the studied genotypes

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدأ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدأ
Genotype No.	Genotype name	Origin	Genotype No.	Genotype name	Origin
1	TN78-23	مازندران Mazandaran	20	TN78-440	فارس Fars
2	TN78-41	فلسطین اشغالی Palestine	21	TN78-446	فارس (سروستان) Fars (Sarvestan)
3	TN78-76	کرمان (جیرفت) Kerman (Jiroft)	22	TN78-449	فارس (داراب) Fars (Darab)
4	TN78-84	خراسان (طبس) Khorasan (Tabas)	23	TN78-464	فارس (زرقان) Fars (Zarqan)
5	TN78-159	بوشهر (دشتستان) Bushehr (Dashtestan)	24	TN78-551	مازندران Mazandaran
6	TN78-164	بوشهر (دشتستان) Bushehr (Dashtestan)	25	TN78-560	یزد Yazd
7	TN78-166	بوشهر (دشتستان) Bushehr (Dashtestan)	26	TN78-570	یزد Yazd
8	TN78-220	کرمان (جیرفت) Kerman (Jiroft)	27	TN78-572	یزد Yazd
9	TN78-229	هرمزگان (حاجی آباد) Hormozgan (Hajjiabad)	28	TN78-573	یزد Yazd
10	TN78-230	هرمزگان (حاجی آباد) Hormozgan (Hajjiabad)	29	TN78-714	زنجان Zanjan
11	TN78-66	خراسان (سبزوار) Khorasan (Sabzevar)	30	TN78-730	آذربایجان غربی West Azerbaijan
12	TN78-369	هرمزگان (بندرعباس) Hormozgan (Bandar Abbas)	31	داراب ۱ Darab1	
13	TN78-384	فارس (داراب) Fars (Darab)	32	دشتستان Dashtestan	
14	TN78-389	فارس (ارسنجان) Fars (Arsanjan)	33	هلیل Halil	
15	TN78-390	فارس (نی ریز) Fars (Neyriz)	34	ناز Naz	
16	TN78-393	کرمان (کرمان) Kerman (Kerman)	35	اولتان Oltan	
17	TN78-400	فارس (آباد) Fars (Abadeh)	36	یلووایت Yellow white	
18	TN78-415	فارس (زرقان) Fars (Zarqan)			
19	TN78-418	فارس (زرقان) Fars (Zarqan)			

ضرایب همبستگی ساده بین صفات و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS، تجزیه علیت برای عملکرد دانه توسط نرم‌افزار Path74 و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Stat Graphics به دست آمد.

نتایج مربوط به عملکرد دانه ارقام برای هر منطقه به‌طور جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و در ادامه عملکرد دانه ارقام برای کلیه مناطق و سال‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. در نهایت، از میانگین کل داده‌های مناطق و سال‌ها استفاده شد و

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

مناطق	عمق	درصد مواد آلی	درصد کل نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی	آهن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	بافت
Locations	Depth (cm)	Organic materials %	Total N %	K (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	Texture
کرج	0-30	0.40	0.09	198	11.5	0.38	2.12	7.5	1.1	Clay loam
Karaj	30-60	0.55	0.07	160	10.9	0.30	2.01	7.0	1.1	Clay loam
جیرفت	0-30	0.31	0.05	205	12.7	1.07	2.3	8.2	2.3	Sandy loam
Jiroft	30-60	0.34	0.06	212	12.2	1.02	2.21	7.8	2.1	Sandy loam
مغان	0-30	0.53	0.12	242	11.8	0.83	2.2	7.7	1.6	Loam clay
Moghan	30-60	0.58	0.14	251	11.1	0.78	2.12	7.2	1.5	Loam clay

کپسول اغلب با بلوغ زودتر مرتبط است. این رابطه نشان می‌دهد که گیاهانی که منابع را به توسعه کپسول‌های بلندتر اختصاص می‌دهند، ممکن است سریع‌تر به بلوغ برسند. برعکس، گیاهانی که بالغ شدن آن‌ها بیشتر طول می‌کشد، ممکن است به دلیل راهبردهای تخصیص منابع مختلف یا زمینه‌های ژنتیکی، کپسول‌های کوتاه‌تری داشته باشند (Durge et al., 2022).

صفت عرض کپسول همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری با صفات طول کپسول ($R^2=0.32$)، قطر کپسول ($R^2=0.31$) و وزن هزار دانه ($R^2=0.25$) داشت. قطر کپسول نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات طول ($R^2=0.31$) و عرض کپسول ($R^2=0.31$) نشان داد. همبستگی عرض کپسول در کنگد با صفات دیگر از جمله طول کپسول، ضخامت کپسول و وزن هزار دانه در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است و نشان می‌دهد که عرض کپسول به‌طور مثبت با طول کپسول و تعداد دانه در کپسول مرتبط است که عوامل حیاتی برای بهبود عملکرد دانه در برنامه‌های اصلاحی کنگد هستند (Kante et al., 2022; Kalaiyarasi et al., 2019).

ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات وزن خشک اندام‌های هوایی ($R^2=0.27$) و عملکرد دانه ($R^2=0.16$) داشت. همچنین ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با روز تا شروع گل‌دهی ($R^2=0.19$) و عملکرد دانه ($R^2=0.35$) داشت. تحقیقات نشان داده است که برخی از ژنوتیپ‌های کنگد ارتفاع بیشتری از خود نشان می‌دهند که می‌تواند بر تولید کلی آن‌ها تأثیر بگذارد (Teklu, Shimelis, & Abady, 2022). به‌عنوان مثال، در یک تحقیق ژنوتیپ‌های PI-154304 و PI-175907 نه‌تنها

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد نشان داد که بین سال‌ها، مکان‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

همبستگی

ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات اندازه‌گیری‌شده روی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که بین تعداد کپسول در بوته با صفت تعداد شاخه فرعی همبستگی مثبت ($R^2=0.24$) و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). محققان دیگر نیز بین تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار گزارش کرده‌اند (Kalaiyarasi et al., 2019; Yol et al., 2010). تعداد کپسول در بوته به‌عنوان یک صفت اصلی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول به‌شمار می‌آید و با افزایش تعداد شاخه‌های ثانویه، پتانسیل برای کپسول‌های بیشتر افزایش می‌یابد که برای بهبود عملکرد دانه بسیار مهم است (Durge, Geethanjali, & Sasikala, 2022; Hemanth et al., 2024). این روابط نشان می‌دهد که انتخاب برای افزایش شاخه‌های جانبی می‌تواند منجر به تولید کپسول بیشتر شود (Hemanth et al., 2024; Baraki et al., 2020).

بین صفت طول کپسول با صفات عرض کپسول ($R^2=0.32$) و قطر کپسول ($R^2=0.31$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد و همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول کپسول و روز تا شروع رسیدگی ($R^2=0.21$) به دست آمد. در کنگد، بیشتر بودن طول

با افزایش وزن دانه در کپسول، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد، یعنی با افزایش تعداد دانه در کپسول، وزن آن نیز افزایش می‌یابد (Kante et al., 2022; Emamgholizadeh, Parsaeian, & Baradaran, 2015) و چنین ارتباطی بین وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه در تحقیق حاضر مشاهده نشد.

وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفت عرض کپسول ($R^2=0.25$) داشت. تحقیقات نشان می‌دهد که وزن هزار دانه به‌طور قابل توجهی با صفات ریخت‌شناختی مختلف از جمله عرض کپسول مرتبط است. این رابطه نشان می‌دهد که افزایش عرض کپسول می‌تواند باعث این شود که تعداد دانه‌های بیشتر یا دانه‌های بزرگ‌تری در یک کپسول قرار گیرند و در نتیجه وزن کلی دانه افزایش یابد (Kante et al., 2022; Wang et al., 2024).

به ارتفاع قابل توجهی (بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر) رسیدند، بلکه عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه بالاتری را نشان دادند (Ahmed et al., 2023). سازوکارهای فیزیولوژیکی زیربنایی این همبستگی‌ها می‌تواند شامل تخصیص منابع و کارایی فتوسنتزی باشد. گیاهان بلندتر معمولاً سطح برگ بیشتری دارند که می‌تواند فتوسنتز و در نتیجه تجمع زیست‌توده را افزایش دهد. این افزایش زیست‌توده می‌تواند منجر به گیاهان سنگین‌تر و کپسول‌های وسیع‌تر شود، زیرا منابع بیشتری برای رشد در دسترس است (Durge et al., 2022; Aye et al., 2024). صفت وزن دانه در کپسول همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفت تعداد دانه در کپسول ($R^2=0.59$) و عملکرد دانه ($R^2=0.25$) داشت. انتظار این است که با افزایش تعداد دانه در کپسول باید وزن دانه‌ها کمتر شود، اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، چنین رابطه‌ای در این تحقیق مشاهده نشد. همچنین محققان دیگری نیز گزارش داده‌اند که

جدول ۳- نتایج همبستگی ساده بین صفات

Table 3- Results of simple correlation between traits

	NCP	CL	CW	CD	PH	FCH	SWC	TSW	NSC	NB	PW	DF	DM	SY
NCP	1.00													
CL	0.07	1.00												
CW	0.21	0.57**	1.00											
CD	0.34*	0.56**	0.56**	1.00										
PH	-0.05	-0.22	-0.20	-0.06	1.00									
FCH	-0.06	0.11	0.14	-0.23	0.07	1.00								
SWC	-0.02	-0.01	0.06	-0.11	0.09	0.16	1.00							
TSW	0.18	0.15	0.50**	0.39*	0.25	0.00	0.08	1.00						
NSC	0.08	-0.20	-0.15	-0.30	0.16	0.06	0.77**	-0.06	1.00					
NB	0.49**	-0.26	-0.07	0.05	0.22	-0.05	0.09	0.20	0.21	1.00				
PW	0.00	0.28	0.36*	0.25	0.52**	0.31	0.21	0.39*	-0.01	0.11	1.00			
DF	-0.09	-0.30	-0.29	-0.47**	0.07	0.44**	-0.24	-0.06	-0.05	-0.11	-0.18	1.00		
DM	0.24	-0.46**	-0.29	-0.46**	0.23	0.07	-0.17	0.11	0.24	0.25	-0.29	0.64**	1.00	
SY	-0.05	0.01	0.08	-0.11	0.40*	0.59**	0.50**	0.11	0.46**	0.16	0.49**	0.06	-0.05	1.00

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

NCP: تعداد کپسول‌های یک بوته، CL: طول کپسول، CW: عرض کپسول، CD: قطر کپسول، PH: ارتفاع بوته، FCH: ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، SWC: وزن دانه‌های یک کپسول، TSW: وزن هزار دانه، NSC: تعداد دانه در یک کپسول، NB: تعداد شاخه‌های فرعی در یک بوته، PW: وزن یک بوته (عملکرد بیولوژیک)، DF: تعداد روز تا شروع گل‌دهی، DM: تعداد روز تا شروع رسیدگی، SY: عملکرد دانه

*and **: significant at the five and one percent levels, respectively.

NCP: number of capsules per plant, CL: capsule length, CW: capsule width, CD: capsule diameter, PH: plant height, FCH: first capsule height from crown, SWC: seeds weight in one capsule, TSW: 1000 seeds weight, NSC: number of seeds in one capsule, NB: number of branches in one plant, PW: plant weight (biological performance), DF: number of days to flowering, DM: number of days to maturity, SY: seed yield

تجزیه علیت

برای تفسیر واضح‌تر و دقیق‌تر نتایج به‌دست‌آمده از همبستگی ساده بین صفات، تجزیه علیت برای عملکرد دانه انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. برای عملکرد دانه با توجه به نتایج چنین بر می‌آید که ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، تعداد دانه در کپسول و ارتفاع بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت و تعداد روز تا شروع رسیدگی بیشترین اثر مستقیم منفی را دارد.

محققان دیگر نیز گزارش داده‌اند که ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه و ارتفاع کلی گیاه بیشترین تأثیر مثبت مستقیم را بر عملکرد دانه دارند. این نشان می‌دهد که گیاهان بلندتر با کپسول‌های بالاتر احتمالاً دانه‌های بیشتری تولید می‌کنند که نشان‌دهنده رابطه قوی بین ریخت‌شناسی گیاه و موفقیت تولیدمثل است (Bitaraf, Khodambashi, & Houshmand, 2010). ارتفاع بوته به‌طور مداوم یک همبستگی مثبت با عملکرد دانه نشان می‌دهد و بر اهمیت

شاخه‌ها و کپسول‌های بیشتری را پشتیبانی کنند (Navaneetha et al., 2018; Sasipriya, 2019; al., 2019). افزایش ارتفاع بوته باعث افزایش سطح برگ شده که می‌تواند منجر به بهبود ظرفیت فتوسنتزی و تولید دانه بیشتر شود (Sabag, Phini, Morota, & Peleg, 2024; Ranganatha et al., 2010).

تعداد دانه تولیدشده در هر کپسول یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد در کنجد است. افزایش تعداد دانه در هر کپسول به‌طور مستقیم تولید کل دانه را افزایش می‌دهد، زیرا تعداد دانه بیشتر در بوته منجر به عملکرد کلی بالاتر می‌شود. تغییرات در ژنوتیپ‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر این صفت تأثیر بگذارد، به‌طوری‌که برخی از واریته‌ها دانه‌های بیشتری نسبت به بقیه تولید می‌کنند (Ahmed et al., 2022; Yadav et al., 2023; al., 2023). تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش تعداد دانه در هر کپسول می‌تواند عملکرد کلی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (Ranganatha et al., 2010; Ferreira et al., 2017).

آن در انتخاب‌های اصلاحی تأکید شده است (Kante et al., 2022; Khaimar & Monpara, 2013).

ارتفاعی که اولین کپسول در آن تشکیل می‌شود برای به حداکثر رساندن عملکرد دانه بسیار مهم است. قرار گرفتن کپسول در قسمت‌های بالاتر می‌تواند تلفات ناشی از خطر آسیب در حین برداشت را کاهش دهد و اجازه نفوذ نور و دسترسی بهتر به نور خورشید و کاهش رقابت برگ‌های پایین‌تر را می‌دهد (Kumar, Sinha, 2024; Gedifew, 2024; Sinha, Singh, & Singh, 2022). ارتفاع اولین کپسول با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارد که نشان می‌دهد کپسول‌های بالاتر ممکن است به عملکرد بهتر منجر شود (Navaneetha, Murugan, & Parameswari, 2019; Ramazani, 2016). مطالعات نشان می‌دهد که شیوه‌های کاشت بهینه می‌تواند ارتفاع اولین کپسول را تغییر داده و منجر به عملکرد کلی بهتر شود (Nadeem et al., 2015; Ferreira, Pereira, 2008; Macedo, & Soares, 2017; Langham et al., 2008).

گیاهان بلندتر تمایل به تولید زیست‌توده بیشتر داشته که می‌تواند

جدول ۴- نتایج تجزیه علیت برای عملکرد دانه
Table 4- Results of path analysis for grain yield

	اثر مستقیم Direct effect	NCP	CL	CW	CD	PH	FCH	SWC	TSW	NSC	NB	PW	DF	DM
NCP	-0.04	.....	-0.01	0.01	0.01	-0.02	-0.03	0.00	0.01	0.04	0.05	0.00	-0.01	-0.08
CL	-0.06	0.00	.....	0.02	0.02	-0.06	0.06	0.00	0.01	-0.10	-0.03	0.02	-0.02	0.14
CW	0.04	-0.01	-0.03	.....	0.02	-0.06	0.07	0.00	0.02	-0.07	-0.01	0.03	-0.02	0.09
CD	0.03	-0.01	-0.03	0.02	.....	-0.02	-0.12	0.01	0.02	-0.15	0.01	0.02	-0.02	0.14
PH	0.27	0.00	0.01	-0.01	0.00	.....	0.04	-0.01	0.01	0.08	0.02	0.04	0.00	-0.07
FCH	0.53	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.02	.....	-0.01	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.02	-0.02
SWC	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	.....	0.00	0.38	0.01	0.02	-0.01	0.05
TSW	0.05	-0.01	-0.01	0.02	0.01	0.07	0.00	-0.01	.....	-0.03	0.02	0.03	0.00	-0.03
NSC	0.50	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.04	0.03	-0.05	0.00	.....	0.02	0.00	0.00	-0.07
NB	0.10	-0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	-0.03	-0.01	0.01	0.11	.....	0.01	-0.01	-0.08
PW	0.09	0.00	-0.02	0.02	0.01	0.14	0.17	-0.01	0.02	-0.01	0.01	.....	-0.01	0.09
DF	0.05	0.00	0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.23	0.01	0.00	-0.03	-0.01	-0.02	.....	-0.20
DM	-0.31	-0.01	0.03	-0.01	-0.01	0.06	0.04	0.01	0.01	0.12	0.02	-0.03	0.03	.....
اثر باقی‌مانده Residual effect			0.55											

NCP: تعداد کپسول‌های یک بوته، CL: طول کپسول، CW: عرض کپسول، CD: قطر کپسول، PH: ارتفاع بوته، FCH: ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه، SWC: وزن دانه‌های یک کپسول، TSW: وزن هزار دانه، NSC: تعداد دانه در یک کپسول، NB: تعداد شاخه‌های فرعی در یک بوته، PW: وزن یک بوته (عملکرد بیولوژیک)، DF: تعداد روز تا شروع گل‌دهی، DM: تعداد روز تا شروع رسیدگی، SY: عملکرد دانه

NCP: number of capsules per plant, CL: capsule length, CW: capsule width, CD: capsule diameter, PH: plant height, FCH: first capsule height from crown, SWC: seeds weight in one capsule, TSW: 1000 seeds weight, NSC: number of seeds in one capsule, NB: number of branches in one plant, PW: plant weight (biological performance), DF: number of days to flowering, DM: number of days to maturity, SY: seed yield

کیفیت و کمیت محصول را کاهش دهد (Sabag et al., 2024; Islam, Sultana, Rashid, & Rahim, 2024). علاوه بر این، دوره‌های رشد طولانی‌مدت ممکن است منجر به استفاده ناکارآمد از منابع شود، به‌ویژه در محیط‌هایی که شرایط رشد بهینه به‌طور مداوم

جالب توجه است که تعداد روز تا رسیدگی اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه نشان داد. تحقیقات نشان داده است که دوره‌های رسیدگی طولانی‌تر می‌تواند منجر به افزایش حساسیت به شرایط نامساعد جوی، آفات و بیماری‌ها شود که در نهایت ممکن است

در دسترس نیست (Ranganatha et al., 2010). مدت زمان رسیدگی طولانی‌تر می‌تواند برداشت را به تأخیر بیندازد و عملکرد دانه را کاهش دهد، همان‌طور که در چندین مطالعه نیز همبستگی‌های منفی بین این صفات گزارش شده است (Ramazani, 2016; Khaimar & Monpara, 2013).

در این تحقیق، اثرات باقی‌مانده برای تجزیه علیت عملکرد دانه بالا بود (۰/۵۵) که نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد که صفات مهم دیگری نیز بر عملکرد دانه تک بوته تأثیرگذار هستند که در تجزیه علیت وارد نشده‌اند و گنجانند این صفات می‌تواند به درک جامع‌تری از عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه منجر شود. این نتیجه با نتایج محققان دیگر مطابق است (Sumathi, Muralidharan, & Manivannan, 2007; Goudappagoudra, Lokesh, & Ranganatha, 2010).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها نشان داد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی پنج مؤلفه که دارای ریشه مشخصه بزرگ‌تر از یک بود، در مجموع ۷۷/۹۲ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه می‌کنند (جدول ۵). به‌طور کلی با توجه به نتایج، در مؤلفه اصلی اول صفات عملکرد دانه، وزن دانه‌های یک کپسول، تعداد دانه در یک کپسول، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک اندام هوایی و روز تا شروع رسیدگی دارای ضرایب مثبت بالایی بودند. بسیاری از صفات مورد تجزیه و تحلیل به هم مرتبط هستند و به‌طور جمعی به عملکرد و عملکرد کلی گیاه کنجد کمک می‌کنند. به‌عنوان مثال، عملکرد دانه در بوته اغلب تحت تأثیر تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در هر کپسول است که نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین این متغیرها است. ارتفاع بوته می‌تواند بر ارتفاع اولین کپسول و وزن خشک شاخه‌ها تأثیر بگذارد، زیرا گیاهان بلندتر ممکن است شاخه‌ها و کپسول‌های بیشتری را دارا باشند. این همبستگی‌ها اجازه می‌دهد تا این صفات با هم در یک مؤلفه اصلی گروه‌بندی شوند و بخش قابل توجهی از واریانس مجموعه داده‌ها را توضیح دهد (Gupta, Muralia, Khandelwal, & Nehra, 2021). در یک مطالعه، اولین مؤلفه اصلی دارای بارهای مثبت بالا برای عملکرد دانه در بوته و صفات مرتبط مانند طول کپسول‌های بارور و دانه در هر کپسول بود که نشان می‌دهد این صفات با اینکه نسبت به هم متفاوت هستند، اما می‌توانند بیان‌کننده یک مؤلفه منفرد باشند (Sasipriya, 2018). نتایج این مؤلفه تقریباً مشابه مؤلفه اول اکبر و همکاران (Akbar, Rabbani, Shinwari, & Khan, 2011) و منظیر (Menzir, 2012) می‌باشد.

در مؤلفه دوم صفات طول و عرض و ضخامت یک کپسول به همراه وزن هزار دانه دارای بالاترین ضرایب بودند که بالا بودن ضرایب این صفات نیز عادی بود، زیرا با افزایش طول و عرض و

ضخامت، تعداد دانه‌های بیشتر و با اندازه بزرگ‌تر مشاهده می‌شود و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش خواهد یافت. ابعاد کپسول شامل طول، عرض و ضخامت کپسول برای تعیین اندازه و شکل بذری حیاتی هستند که به‌طور مستقیم بر عملکرد تأثیر می‌گذارند (Mei et al., 2023). وزن کپسول‌ها ارتباط نزدیکی با عملکرد دانه دارد، زیرا کپسول‌های سنگین‌تر معمولاً حاوی دانه‌های بیشتری هستند (Adebisi, 2004). مطالعات سایر محققان نیز نشان داده است که صفات مرتبط با کپسول بخش قابل توجهی از تنوع ژنتیکی کنجد را تشکیل می‌دهند و آن‌ها را به شاخص‌های قابل اعتمادی برای انتخاب در برنامه‌های اصلاحی تبدیل می‌کند (Adebisi, 2004).

در مؤلفه سوم صفات روز تا شروع گل‌دهی و ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه با علامت مثبت و صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه فرعی با علامت منفی دارای بالاترین ضرایب بودند. در کنجد، صفاتی مانند زمان گل‌دهی و ارتفاع کپسول ممکن است به‌دلیل وابستگی‌های متقابل بیولوژیکی آن‌ها همبستگی قوی نشان دهند. به‌عنوان مثال، زود گل‌دهی می‌تواند بر سرعت رشد و توسعه کپسول‌ها تأثیر بگذارد، بنابراین این دو صفت را در یک مؤلفه وارد می‌شوند (Mukthambica et al., 2023; Durge et al., 2022). در چندین مطالعه، تعداد روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته در یک مؤلفه قرار گرفتند و تأثیر جمعی آن‌ها بر عملکرد دانه برجسته شده است (Hemant et al., 2024; Sonaniya, Bisen, & Sonaniya, 2023). ارتباط مثبتی بین زودگل‌دهی و عملکرد بیشتر دانه توسط محققان دیگر گزارش شده است (Ezhilarasi, Mahalingam, & Manivannan, 2024).

در مؤلفه چهارم صفات وزن دانه در کپسول، تعداد دانه در کپسول و طول و عرض کپسول با علامت منفی و روز تا شروع رسیدگی و تعداد شاخه فرعی با علامت مثبت دارای بالاترین ضرایب بودند. مؤلفه پنجم شامل صفات تعداد کپسول در بوته، روز تا رسیدگی و ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه با علامت منفی و وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته با علامت مثبت دارای ضرایب بالایی بودند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که صفاتی که با هم همبستگی مثبت دارند، ممکن است در یک مؤلفه اصلی با علائم متفاوت از هم قرار گیرند که می‌تواند به‌دلیل روابط متقابل پیچیده بین صفات باشد. این پدیده به این دلیل اتفاق می‌افتد که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی واریانس داده‌ها را ثبت می‌کند و امکان شناسایی الگوهای اساسی را فراهم می‌کند که ممکن است با همبستگی‌های مستقیم همسو نباشند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، صفاتی مانند روز تا گل‌دهی و بلوغ علی‌رغم ارتباط مثبت آن‌ها با عملکرد دانه، علامت منفی را در یک مؤلفه ممکن است گرفته باشند. این روابط نشان‌دهنده این مطلب می‌تواند باشد که در عین حال که این صفات به‌طور مثبت به عملکرد کمک می‌کنند، ممکن است زمان‌بندی آن‌ها

بر پویایی رشد کلی تأثیر معکوس بگذارد (Ezhilarasi *et al.*, 2024).
معمولاً در برنامه‌های اصلاحی بیشتر توجه محققان روی صفت عملکرد می‌باشد، یعنی هدف برنامه‌های اصلاحی این است که با تغییر و اصلاح صفات دیگر که ارتباط نزدیکی با عملکرد دارند، بتوانند صفت عملکرد را بهبود ببخشند. در هر مؤلفه با توجه به جداول مشاهده می‌شود که اکثراً صفاتی که بیشترین ضرائب همبستگی را با هم داشته‌اند، در مؤلفه مورد نظر قرار گرفته‌اند و از این صفات می‌توان در انتخاب غیرمستقیم استفاده نمود و انتظار می‌رود که آن مؤلفه نیز با این روش اصلاح شود.

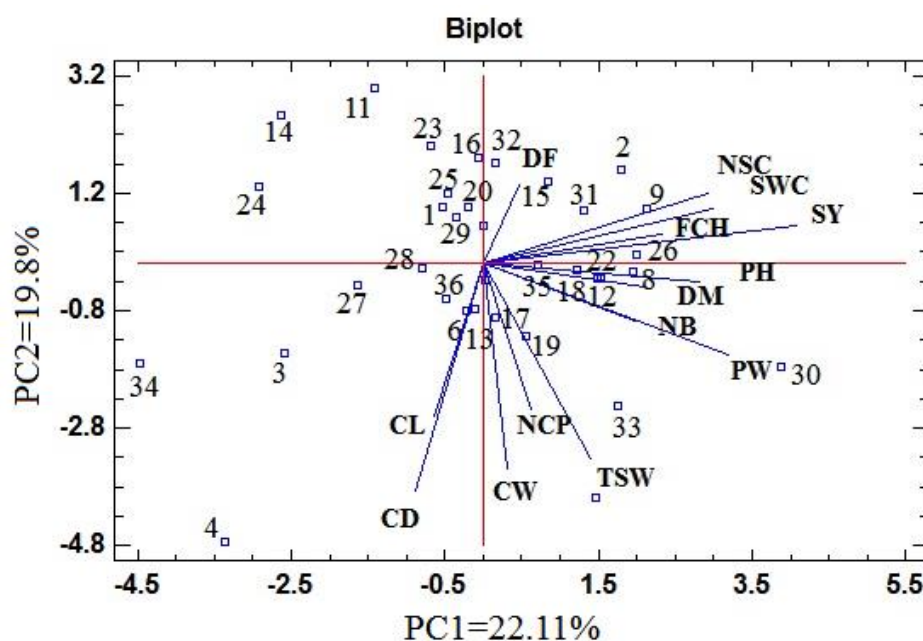
جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها برای کلیه صفات مورد اندازه‌گیری در لاین‌های بومی مورد بررسی

Table 5- The results of principal components analysis for all the traits measured in the studied native lines

صفات Traits	مؤلفه اول First principal	مؤلفه دوم Second principal	مؤلفه سوم Third principal	مؤلفه چهارم Fourth principal	مؤلفه پنجم Fifth principal
عملکرد دانه Seed yield	0.49*	0.08	0.16	-0.05	-0.06
تعداد کپسول در بوته Number of capsules/plant	0.08	-0.32*	-0.30*	0.17	-0.40*
طول کپسول Capsule length	-0.08	-0.34*	0.27	-0.25	-0.20
عرض کپسول Capsule width	0.04	-0.45*	0.18	-0.23	-0.17
ضخامت کپسول Capsule diameter	-0.11	-0.50*	-0.05	-0.04	0.05
ارتفاع بوته Plant height	0.34*	-0.04	0.01	0.19	0.57*
ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه First capsule height from crown	0.28*	0.07	0.46*	0.02	-0.30*
وزن دانه‌ها در کپسول Seeds weight in one capsule	0.36*	0.12	-0.17	-0.48*	-0.09
وزن هزار دانه 1000 seeds weight	0.17	-0.43*	0.05	-0.04	0.22
تعداد دانه در کپسول Number of seeds in one capsule	0.35*	0.15	-0.28	-0.42*	-0.14
تعداد شاخه فرعی Number of branches in one plant	0.24*	-0.13	-0.40*	0.33	-0.12
وزن خشک اندامهای هوایی Plant weight	0.38*	-0.20	0.23	0.12	0.31*
روز تا شروع گل‌دهی Number of days to flowering	0.06	0.17	0.46*	0.31*	-0.27
روز تا شروع رسیدگی Number of days to maturity	0.25*	-0.05	-0.17	0.44*	-0.31*
مقدار ویژه Eigen value	3.09	2.77	2.07	1.62	1.36
درصد واریانس Percentage of variance	22.11	19.80	14.76	11.56	9.70
درصد تجمعی واریانس Cumulative percentage of variance	22.11	41.90	56.66	68.22	77.92

محققان می‌توانند با مجتمع کردن چندین صفت همبسته به مؤلفه‌های اصلی کمتر، مجموعه داده‌های پیچیده را ساده‌سازی کنند و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌های مطلوب برای برنامه‌های اصلاحی را آسان‌تر کنند. این رویکرد، انتخاب غیرمستقیم برای بهبود صفات عملکرد را براساس امتیاز مؤلفه‌ها به‌جای ارزیابی هر صفت به‌صورت جداگانه تسهیل می‌کند (*Mukthambica et al., 2023; Ahmed et al., 2023*). این روش نه تنها به درک تنوع ژنتیکی کمک می‌کند، بلکه کارآیی، انتخاب را در برنامه‌های اصلاح کند افزایش می‌دهد.

شکل ۱ محل قرارگیری صفات مختلف و ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در پلات حاصل از مؤلفه اول و دوم نشان می‌دهد و همان‌طور که مشخص است، جهت نمودارها برای صفات مرتبط با هم در یک جهت و همسو بوده و برای صفاتی که رابطه عکس با یکدیگر دارند، غیرهمسو می‌باشد. به‌عنوان مثال، صفات تعداد دانه در یک کپسول، وزن دانه‌های یک کپسول، عملکرد دانه و ارتفاع اولین غلاف از طوقه گیاه در یک جهت قرار گرفته‌اند و همچنین صفات طول، عرض و قطر یک کپسول هم جهت با هم هستند. با توجه به این شکل می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را با توجه به صفات مختلف انتخاب کرد. بدین صورت که از صفت مربوطه خطی به مبدا مختصات رسم کرده و سپس خط دیگری که از مبدا مختصات رد شود و عمود بر این خط باشد، رسم شود و ژنوتیپ‌هایی که بالاترین تصویر را روی خط اول داشته باشند و در سمت قرارگیری صفت مورد نظر نسبت به خط عمود باشند دارای بالاترین مقدار در رابطه با آن صفت بوده و ژنوتیپ‌هایی که بالاترین تصویر را روی خط اول داشته باشند و در سمت عکس قرارگیری صفت مورد نظر نسبت به خط عمود باشند دارای کمترین مقدار در رابطه با آن صفت خواهند بود.



شکل ۱- بای پلات عامل اول و دوم حاصل از تجزیه به مؤلفه‌ها برای لاین‌های محلی مورد بررسی و محل لاین‌های قرار گرفته در آن

Figure 1- The biplot of the first and second component resulting from the principal components analysis for the studied local lines

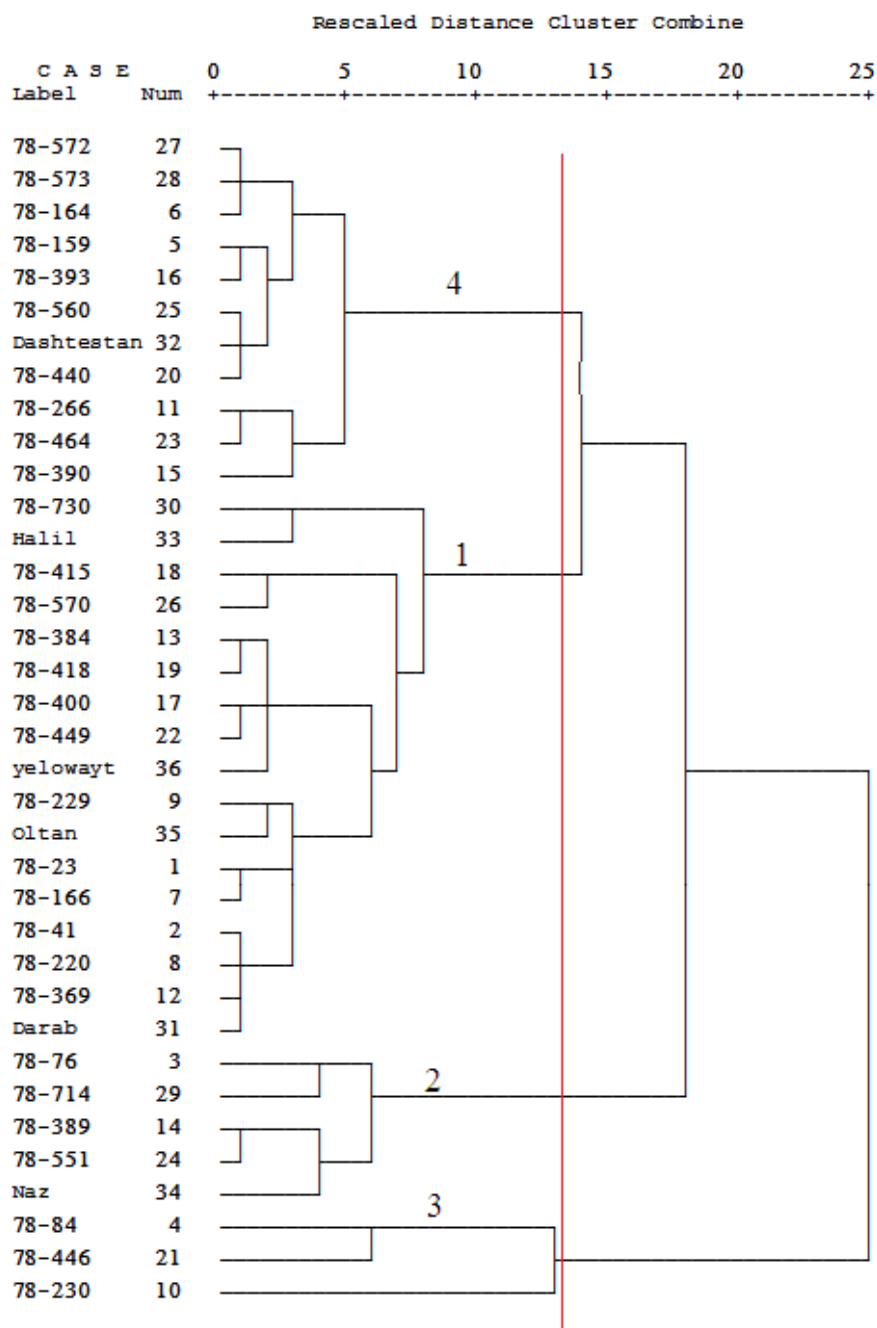
نقطه برش براساس تجزیه واریانس صورت گرفت و در نهایت چهار گروه براساس دندوگرام حاصله انتخاب شدند (شکل ۲). برای مشخص شدن اندازه هر یک از صفات مورد بررسی در هر یک از گروه‌ها، میانگین هر گروه برای هر صفت و مقدار اختلاف آن از

تجزیه و تحلیل

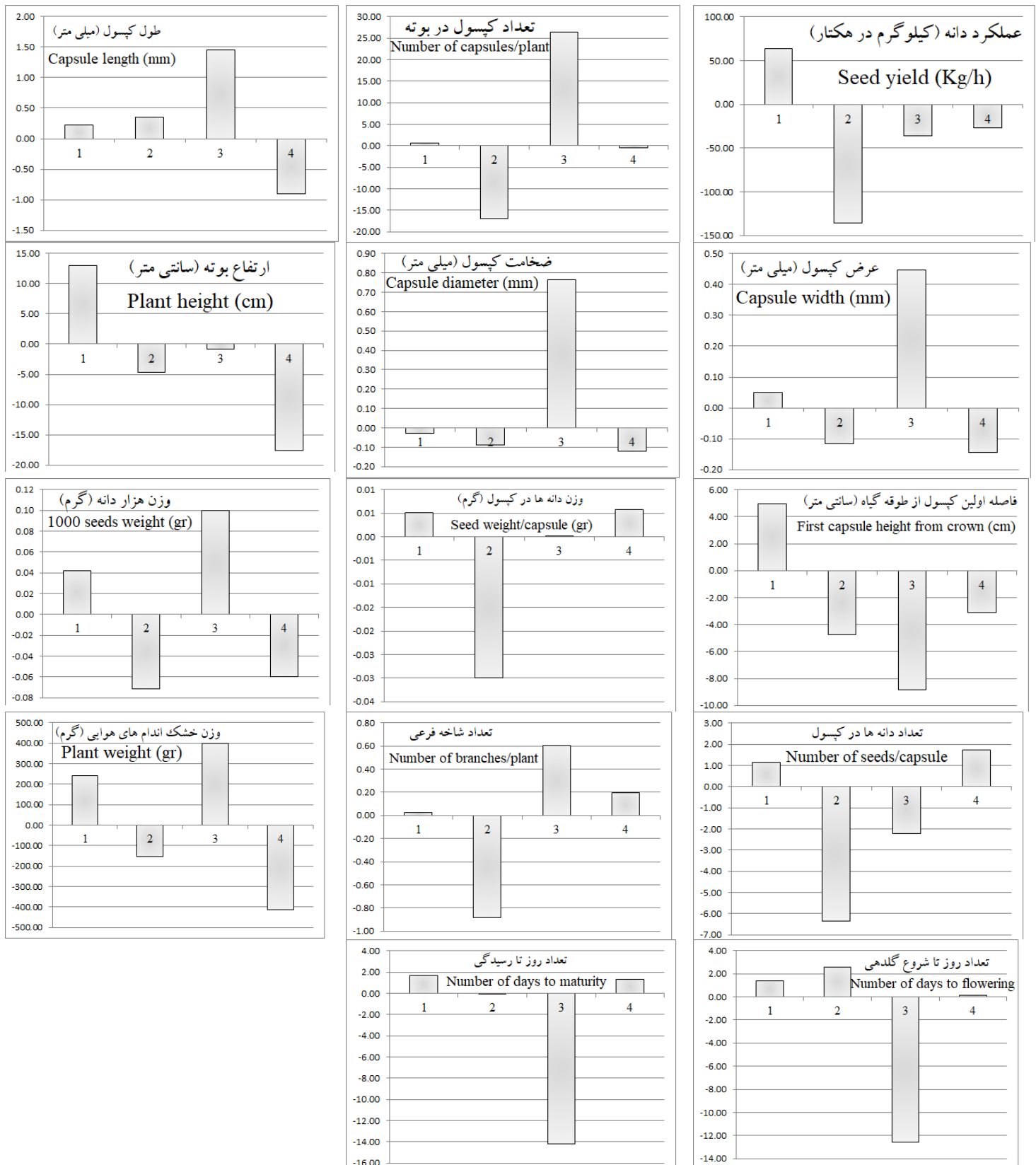
تجزیه خوشه‌ای براساس کلیه صفات با استفاده از اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی و با استفاده از روش وارد (Masoudi & Ahmadi, 2019) و با استاندارد سازی داده‌ها (Z-score) انجام شد و انتخاب

به‌عنوان والدین تلاقی‌ها مد نظر قرار گیرند. خوشه یک شامل ۱۷ ژنوتیپ می‌شد. این خوشه از نظر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، فاصله اولین کپسول از طوقه گیاه و تعداد روز تا رسیدگی بیشترین مقدار را در بین خوشه‌ها به خود اختصاص داده بود (شکل ۳).

میانگین جامعه اصلی در همان صفت محاسبه شد (شکل ۳). بدین ترتیب، هرجا که میانگین صفت در یک گروه از میانگین کل جامعه در آن صفت بالاتر باشند، آن گروه ارزش بیشتری از نظر انتخاب والدین دارد. در نهایت دو گروهی که بیشترین فاصله را از هم داشته باشند، ژنوتیپ‌های آن گروه‌ها می‌توانند برای دستیابی به هتروزیس بیشتر



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌های محلی کنجد مورد بررسی
Figure 2- Dendrogram resulting from the cluster analysis of studied local sesame lines



شکل ۳- انحراف هر خوشه از میانگین کل برای صفات مختلف در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Figure 3- Deviation of each cluster from the total mean for different traits in the groups resulting from cluster analysis

عوامل جغرافیایی ممکن است همچنان در چشم‌انداز ژنتیکی کلی، به‌ویژه از نظر سازگاری‌های محیطی نقش داشته باشند. ژنوتیپ‌ها به پنج گروه طبقه‌بندی شدند که تأیید می‌کند که تجزیه خوشه‌ای به‌طور مؤثری تنوع ژنتیکی را براساس تنوع صفت منعکس می‌کند (Masoudi & Ahmadi, 2019).

یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب والدین متنوع برای اصلاح باید بر فاصله ژنتیکی متمرکز شود تا منشأ جغرافیایی، زیرا ممکن است اثرات هتروزیس در برنامه‌های هیبریداسیون را افزایش دهد (Ashfaq, Rani, Padmaja, Yadav, & Betha, 2023). برخی از محققان استدلال می‌کنند که منشأ جغرافیایی هنوز می‌تواند در انتخاب اولیه ژنوتیپ‌ها نقش داشته باشد، زیرا مناطق خاصی ممکن است صفات خاصی را که برای شرایط محلی مفید هستند، تطبیق داده باشند. بااین‌حال، شواهد حاصل از تجزیه و تحلیل‌های خوشه‌ای نشان می‌دهد که تنوع ژنتیکی از مرزهای جغرافیایی فراتر می‌رود و پیچیدگی اصلاح کنگد را برجسته می‌کند.

نتیجه‌گیری

کنجد دارای تنوع ژنتیکی قابل توجهی در صفات مختلف زراعی از جمله عملکرد دانه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته است. این تنوع برای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب در برنامه‌های اصلاحی ضروری است. شناسایی اینکه کدام صفات بیشتر بر عملکرد تأثیرگذار هستند به اصلاحگران اجازه می‌دهد تا بر روی آن‌هایی تمرکز کنند که بهره‌وری کلی انتخاب را افزایش دهند. اصلاحگران نبات با تمرکز بر صفات خاصی که به‌طور قابل توجهی بر عملکرد تأثیر می‌گذارند مانند تعداد کپسول در هر بوته و ارتفاع بوته می‌توانند راهبردهای هدفمندی را اجرا کنند که احتمال دستیابی به واریته‌های پرمحصول را افزایش می‌دهد. این رویکرد، خطر انتخاب ژنوتیپ‌هایی را که تحت شرایط محیطی مختلف عملکرد خوبی ندارند، به حداقل می‌رساند. در تحقیقات مختلف، هر دو روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر براساس صفات خاص مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌تواند صفات کلیدی را برجسته کند که به تنوع عملکرد کمک می‌کنند، درحالی‌که تجزیه خوشه‌ای می‌تواند ژنوتیپ‌ها را در گروه‌هایی دسته‌بندی کند که ویژگی‌های مطلوبی مانند عملکرد بالا یا مقاومت به بیماری را نشان می‌دهند (Akinyode, 2023). در تحقیق حاضر نیز ارقام بومی که از لحاظ عملکرد دانه دارای برتری بودند (ارقام ۷۸-۷۳۰، ۷۸-۲۲۹ و ۷۸-۵۷۰) و توسط تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شناسایی شده بودند، همگی در خوشه شماره یک قرار گرفتند و بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نتایج حاصل از این روش‌ها

خوشه دوم شامل چهار ژنوتیپ می‌شد. این خوشه از لحاظ عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در کپسول، وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول، تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به میانگین این صفات در سایر خوشه‌ها کمتر بود و از لحاظ صفت روز تا شروع گل‌دهی بیشترین مقدار را در بین خوشه‌ها به خود اختصاص داده بود. خوشه سوم شامل سه ژنوتیپ بود که از لحاظ تعداد کپسول در بوته، طول کپسول، عرض کپسول، ضخامت کپسول، وزن هزار دانه، تعداد شاخه فرعی و وزن خشک اندام هوایی بیشترین مقدار را نسبت به میانگین این صفات در سایر خوشه‌ها به خود اختصاص داده بود. همچنین این خوشه از نظر فاصله اولین کپسول از طوقه گیاه، تعداد روز تا شروع گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی کمترین مقدار را نسبت به میانگین این صفات در سایر خوشه‌ها به خود اختصاص داده بود. خوشه چهارم شامل ۱۱ ژنوتیپ بود که از لحاظ وزن دانه در کپسول و تعداد دانه در کپسول بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده بود و از لحاظ طول کپسول، عرض کپسول، ضخامت کپسول، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود.

تحقیقات محققان نشان داده است که تجزیه خوشه‌ای توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها را منعکس نمی‌کند. این یافته نشان می‌دهد که عوامل مؤثر بر تنوع ژنتیکی ممکن است فراتر از مجاورت جغرافیایی گسترش یابد، که احتمالاً شامل شرایط محیطی و شیوه‌های اصلاحی تاریخی می‌شود (Gupta et al., 2021). در تحقیق حاضر نیز نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها با توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها ارتباطی نداشتند و ارقام اکثراً براساس تفاوت‌های ریخت‌شناختی گروه‌بندی شدند. به‌عنوان مثال، سه لاین بومی بوشهر در گروه‌های چهار و یک قرار گرفتند، لاین‌های بومی فارس در همه گروه‌ها پراکنده شدند، اکثر لاین‌های بومی یزد در گروه چهارم و لاین‌های بومی هرمزگان در گروه‌های یک و سه قرار گرفتند. اکبر و همکاران (Akbar et al., 2011) نیز با تجزیه خوشه‌ای ۱۰۵ ژنوتیپ کنگد نتیجه‌گیری نمودند که دسته‌ها با توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها ارتباطی نداشتند. تجزیه و تحلیل جداگانه ۲۰ ژنوتیپ کنگد در شرایط تنش نیز از تجزیه خوشه‌ای برای تمایز بین انواع پرمحصول و کم‌بازده استفاده کرد. نتایج نشان داد که صفات ریخت‌شناختی به‌طور معنی‌داری بر گروه‌بندی تأثیر می‌گذارد که بیشتر از این ایده حمایت می‌کند که صفات مشابه منجر به خوشه‌بندی می‌شوند (Nikfekar, Kazemitabar, Ranjbar, Hashemi-Petroudi, & Mehraban Joubani, 2023). مطالعه دیگری که شامل ۹۱ ژنوتیپ کنگد بود نشان داد که گروه‌بندی تحت تأثیر توزیع جغرافیایی نیست، بلکه بیشتر تحت تأثیر تفاوت‌های ریخت‌شناختی قرار دارد و تفاوت‌های ریخت‌شناختی اغلب به‌دلیل فشارهای بوم‌شناختی ایجاد می‌شوند، اما

این پژوهش براساس نتایج حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۰۰۳-۰۳-۹۵۱۵۰ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر است. بدینوسیله از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر تأمین هزینه‌های اجرای این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشابهت‌های زیادی در تفکیک ارقام و ژنوتیپ‌ها دارند. هر دو تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای ابزارهای مؤثری برای ارزیابی تنوع ژنتیکی در جمعیت‌ها هستند. آن‌ها بینشی در مورد ساختار ژنتیکی ارائه می‌دهند و به شناسایی گروه‌های ژنتیکی متمایز کمک می‌کنند که ممکن است برای پروژه‌های دورگ‌گیری مفید باشند (Zewdu, Mekonnen, & Geleta, 2024).

سپاسگزاری

References

- Adebisi, M. A. (2004). Variation, stability and correlation studies in seed quality and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). Ph.D. Thesis, University of Agriculture, Abeokuta. 123 pp.
- Ahmed, J., Qadir, G., Ansar, M., Wattoo, F. M., Javed, T., Ali, B., & Rahimi, M. (2023). Shattering and yield expression of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes influenced by paclobutrazol concentration under rainfed conditions of Pothwar. *BMC Plant Biology*, 23(1), 137. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04145-7>
- Akbar, F., Rabbani, M. A., Shinwari, Z. K., & Khan, S. J. (2011). Genetic divergence in sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces based on qualitative and quantitative traits. *Pakistan Journal of Botany*, 43(6), 2737-2744.
- Akinyode, E. T. (2023). Principal component and cluster analysis as a tool in assessment of genetic diversity of tomato genotypes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nigerian Journal of Horticultural Science*, 27(4), 74-80.
- Arulmozhi, N., Santha, S., & Mohammed, S. E. N. (2001). Correlation and path co-efficient analysis in sesame. *Journal of Ecology*, 13(3), 229-232.
- Ashfaq, M., Rani, K. J., Padmaja, D., Yadav, P., & Betha, U. K. (2023). Assessment of genetic diversity in sesame genotypes based on morphological characters. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 1104-1111. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i113260>
- Ashri, A. (1998). Sesame breeding. *Plant Breeding Reviews*, 16, 179-228.
- Aye, K. M., Sreewongchai, T., Phumichai, C., Mathayattaworn, W., Kumdee, O., Ratanapongsai, Y., & Kaedphol, R. (2024). Assessment of genetic diversity, correlation and path coefficients analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Science & Technology Asia*, 29(2), 225-236. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/252391>
- Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M., Gebremedhin, Z., Abadi, A., Negash, W., Atsbeha, A., & Araya, G. (2020). Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, 6(10), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05295>
- Baydar, H. A. S. A. N. (2005). Breeding for the improvement of the ideal plant type of sesame. *Plant Breeding*, 124(3), 263-267. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2005.01080.x>
- Bitaraf, N., Khodambashi, N., & Houshmand, S. (2010). Correlation and path analysis of grain yield and its components for lentil under Shahrekord climate. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1(1), 51-56. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1i1.6345>
- Davoodi Zanjani, N., Ghasemi Afshar, P., & Adeli Milani, M. (2020). Evaluation of the composition and oxidative stability of cold-pressed sesame oils in the market of Zanzan province, Iran (2019). *Journal of Human Environment and Health Promotion*, 6(4), 159-166.
- Durge, B. D., Geethanjali, S., & Sasikala, R. (2022). Assessment of genetic variability for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.) based on multivariate analysis. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 13(3), 974-982.
- Emamgholizadeh, S., Parsaeian, M., & Baradaran, M. (2015). Seed yield prediction of sesame using artificial neural network. *European Journal of Agronomy*, 68, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.010>
- Ezhilarasi, T., Mahalingam, A., & Manivannan, N. (2024). 1. Assessment of genetic diversity in Indian sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm. *Ecology, Environment & Conservation*, 30(4), 344-348. <https://doi.org/10.53550/eec.2024.v30i03s.059>
- Falconer, D. S., & Mackey, T. F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics. Longman Group Ltd. Harlow, UK, p. 187-246.
- Fazal, A., Mustafa, H. S. B., Hasan, E., Anwar, M., Tahir, M. H. N., & Sadaqat, H. A. (2015). Interrelationship and path coefficient analysis among yield and yield related traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Nature and Science*, 13(5), 27-32.
- Ferreira, E. I., Pereira, M. D., Macedo, A. R. D., & Soares, E. R. (2017). Effect of fertilization on the physiological maturation of sesame seeds. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(2), 202-210.

- <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4745715>
19. Gedifew, S. (2024). Multivariate analyses of shattering and seed yield related morphological traits reveal high yielding sesame genotypes exhibit low degree of shattering. *Middle East Research Journal of Biological Sciences*, 4(3), 58-71. <https://doi.org/10.36348/merjbs.2024.v04i03.002>
20. Gharib-Eshghi, A. M. I. R., Mozafari, J. A. V. A. D., & Azizov, i. B. R. A. H. I. M. (2016). *Genetic Diversity Among Sesame Genotypes under Drought Stress Condition by Drought Implementation*. CABI Databases. 89-108.
21. Goudappagoudra, R., Lokesh, R., & Ranganatha, A. R. G. (2011). Trait association and path coefficient analysis for yield and yield attributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2(3), 448-452.
22. Gupta, D., Muralia, S., Khandelwal, V., & Nehra, A. (2021). Assessing diversity of sesame genotypes using cluster analysis and principal component analysis. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(01), 304-312. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1001.038>
23. Hemanth, S., Patil, L. C., Manoj, S. H., Naveen, A., Bhargavi, H. A., & Kotegoudra, H. (2024). Unravelling the genetic variability of seed yield and its components in sesame (*sesamum indicum* l.) through multivariate analysis. *Plant Archives*, 24(1), 237-242. <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2024.v24.no.1.034>
24. Islam, M. N., Sultana, S., Rashid, M. U., & Rahim, M. A. (2024). Determination of the potentiality of different sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes: Potentiality of different sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Agriculture*, 49(1), 52-67.
25. Kalaiyarasi, R., Rajasekar, R., Lokeshkumar, K., Priyadharshini, A., & Mohanraj, M. (2019). Correlation and path analysis for yield and yield traits in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(11), 1251-1257. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.147>
26. Kante, S., Wadikar, P. B., Sargar, P. R., & Patil, S. S. (2022). Correlation analysis for seed yield and its related attributes in genotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Plant and Environment*, 8(01), 87-90. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v8i01.11>
27. Kavitha, M., & Sethupathi-Ramalingam, R. (2000). Path analysis in segregating population of sesame. *Madras agricultural Journal*, 5(1-3), 158-159.
28. Khairnar, S. S., & Monpara, B. A. (2013). Identification of potential traits and selection criteria for yield improvement in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under rainfed conditions. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2(2), 1-8. (in Persian with English abstract)
29. Kumar, V., Sinha, S., Sinha, S., Singh, R. S., & Singh, S. N. (2022). Assessment of genetic variability, correlation and path analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 13(1), 208-215.
30. Kumaresan, D., & Nadarajan, N. (2003). Genetic divergence analysis in sesame (*sesamum indicum* L.). *Sesame and Office Newsletter*, 18, 15-19.
31. Langham, D. R., Riney, J., Smith, G., & Wiemers, T. (2008). Sesame grower guide. *Sesaco Corp*, 30(331), 3.
32. Manly, B. F. J. (2004). *Multivariate statistical methods, A primer*. Chapman and Hall, London. Third edition, 224 p. <https://doi.org/10.1201/b16974>
33. Masoudi, B., & Ahmadi, M. (2019). Evaluation of genetic diversity of agronomic and morphological traits of sesame genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), 78-91. <https://doi.org/10.29252/jcb.11.31.78>
34. Mei, H., Cui, C., Liu, Y., Du, Z., Wu, K., Jiang, X., Zheng, Y., & Zhang, H. (2023). QTL analysis of traits related to seed size and shape in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, 18(11), e0293155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293155>
35. Menzir, A. (2012). Phenotypic variability, divergence analysis and heritability of characters in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Nature and Science*, 10(10), 117-126.
36. Mohammadi, S. A., Prasanna, B. M., & Singh, N. N. (2003). Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. *Crop Science*, 43(5), 1690-1697. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1690>
37. Mukhthambica, K., Bisen, R., & Ramya, K. T. (2023). Principal component analysis for yield and yield related traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Biological Forum – An International Journal*, 15(3), 227-232.
38. Nadeem, A., Kashani, S., Ahmed, N., Buriro, M., Saeed, Z., Mohammad, F., & Ahmed, S. (2015). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the influence of planting geometry and irrigation regimes. *American Journal of Plant Sciences*, 6(07), 980. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.67104>
39. Navaneetha, J. S., Murugan, E., & Parameswari, C. (2019). Correlation and path analysis for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(3), 1262-1268. <https://doi.org/10.5958/0975-928x.2019.00161.3>
40. Nikfekar, R., Kazemitabar, S. K., Ranjbar, G., Hashemi-Petroudi, S. H., & Mehraban Joubani, P. (2023). Study of genetic diversity and evaluation of some sesame genotypes under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(3), 575-586. <https://doi.org/10.22077/escs.2022.4516.2037>

41. Ramazani, S. H. R. (2016). Surveying the relations among traits affecting seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 19, 303-309. <https://doi.org/10.1007/s12892-016-0053-0>
42. Ranganatha, A. R. G., Jyotishi, A., Deshmukh, M. R., Bisen, R., Panday, A. K., & Gupta, K. N. (2010). Improved technology for maximizing production of sesame. Indian Council of Agricultural Research, Jabalpur, IND.1-17.
43. Sabag, I., Pnini, S., Morota, G., & Peleg, Z. (2024). Refining flowering date enhances sesame yield independently of day-length. *BMC Plant Biology*, 24(1), 711. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05431-8>
44. Salehi, M., Esmailzadeh Hosseini, S. A., Salehi, E., & Bertaccini, A. (2017). Genetic diversity and vector transmission of phytoplasmas associated with sesame phyllody in Iran. *Folia Microbiologica*, 62, 99-109. <https://doi.org/10.1007/s12223-016-0476-5>
45. Sankar, P. D., & Kumar, C. A. (2003). Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agricultural Scientist Digestion*, 23, 17-19.
46. Sasipriya, S. (2018). Correlation and path analysis for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9(4), 1594-1599.
47. Sonaniya, R., Bisen, R., & Sonaniya, P. (2023). Assessment of Exotic Sesame (*Sesamum indicum*) Accessions through Principal Component Analysis. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 282-290. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i113170>
48. Sumathi, P., Muralidharan, V., & Manivannan, N. (2007). Trait association and path coefficient analysis for yield and yield attributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Madras Agriculture Journal*, 94, 174-178. <https://doi.org/10.29321/maj.10.100660>
49. Tabatabaei, I., Pazouki, L., Bihamta, M. R., Mansoori, S., Javaran, M. J., & Niinemets, U. (2011). Genetic variation among iranian sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions vis-a-vis exotic genotypes on the basis of morpho-physiological traits and rapd markers. *Australian Journal of Crop Science*, 5(11), 1396-1407.
50. Teklu, D. H., Shimelis, H., & Abady, S. (2022). Genetic improvement in sesame (*Sesamum indicum* L.): Progress and outlook: A review. *Agronomy*, 12(9), 2144. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092144>
51. Wang, C., Niu, J., Miao, H., Li, C., Duan, Y., Ju, M., Cao, H., Wei, L., Wang, H., & Zhang, H. (2024). Genetic variation, correlation, and association mapping of seed yield and its component traits in sesame. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(2), 603-619. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01644-2>
52. Winstead, D. J., & Jacobson, M. G. (2024). Storable, neglected, and underutilized species of Southern Africa for greater agricultural resilience. *Plant-Environment Interactions*, 5(4), e70004. <https://doi.org/10.1002/pei3.70004>
53. Yadav, R., Kalia, S., Rangan, P., Pradheep, K., Rao, G. P., Kaur, V., & Siddique, K. H. (2022). Current research trends and prospects for yield and quality improvement in sesame, an important oilseed crop. *Frontiers in Plant Science*, 13, 863521. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.863521>
54. Yingzhong, Z., & Yishou, W. (2002). Genotypic correlations and path coefficient analysis in sesame. *Sesame and Sofflower Newsletter*, 17, 10-12.
55. Yol, E., Karaman, E., Furat, S., & Uzun, B. (2010). Assessment of selection criteria in sesame by using correlation coefficients, path and factor analyses. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), 598-602.
56. Zewdu, D., Mekonnen, F., & Geleta, N. (2024). Cluster and principal component analysis for yield and yield related traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *AGBIR*, 40(2) 962-967.