

Investigating how seed yield is influenced by different agronomic traits in local sesame lines through the utilization of path analysis and principal components analysis

Bahram Masoudi^{1*}, Mohammad Abbasali¹, Ahmad Aien², Saber Saif Amiri³

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

*Email: bmMasoudi@gmail.com

Introduction

The importance of sesame 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, the increase in genetic diversity allows the selection of better genotypes, and a more effective selection process will lead to a more successful breeding program. The utilization of local sesame cultivars is crucial in breeding programs because of their potential to create superior genotypes. The better the relationships between yield and other related traits are known, the better and more effective they can be used as selection indicators for improvement purposes. 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.

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. In general, it was concluded that the cultivars in the first group include late-flowering cultivars with high height and high yield, the cultivars of the second group include late-flowering and low-capsule cultivars with low yield, the cultivars of the third group include early-

flowering and early-maturing cultivars with long capsules, the cultivars of the fourth group included cultivars with small capsules but with 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: Relationships between traits, selection indices, yield improvement, biplot, geographic distribution

بررسی رابطه بین عملکرد دانه و چندین صفت زراعی لاین‌های بومی کنجد با استفاده از روش تجزیه علیت و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

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

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

مشارکت نویسندگان

بهرام مسعودی: نظارت و مدیریت، پردازش داده‌ها، تحلیل آماری، استخراج و تهیه متن اولیه و نهایی (۲۵٪)

محمد عباسعلی: جمع‌آوری داده‌ها (۲۵٪)

احمد آئین: جمع‌آوری داده‌ها (۲۵٪)

صابر سیف امیری: جمع‌آوری داده‌ها (۲۵٪)

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 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 هستند. 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 دارا بودند و پیشنهاد می‌شود که به عنوان شاخص‌های انتخاب برای پیشرفت عملکرد دانه به کار روند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۵ مؤلفه مجموعاً ۷۷/۹۲ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. از لحاظ عملکرد به ترتیب 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 مورفولوژیکی گروه‌بندی شدند. ارقام بومی که از لحاظ عملکرد دارای برتری بودند همگی در کلاستر شماره یک قرار گرفتند که از آنها می‌توان برای پروژه‌های دورگ‌گیری استفاده نمود.

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

مقدمه

کنجد یک محصول حیاتی است که به دلیل مزایای سلامتی و پایداری روغن آن و همچنین سازگاری آن با آب و هوای خشک شناخته شده است. کشت کنجد نه تنها از امنیت غذایی حمایت می‌کند، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز روغن آن ارزش بالایی دارد. تقریباً ۷۰ درصد تولید کنجد در آسیا انجام می‌شود و کشور ما واردات قابل توجهی از هند و پاکستان دارد (Davoodi Zanjani et al., 2020). کنجد نسبت به شرایط آب و هوایی 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 عقیمی‌گرده 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., 2013). بیشتر کنجد در 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., 2013; Langham et al., 2008).

عملکرد نسبتاً پایین کنجد در ایران (۶۹۰ کیلوگرم در هکتار) یکی از دلایل مهمی است که ضرورت اصلاح این گیاه را دوچندان نموده است (Furat and Uzun, 2010). استفاده از ارقام اصلاح شده می‌تواند موجب افزایش تولید و کیفیت محصولات زراعی از جمله افزایش کمی و کیفی روغن در گیاه کنجد گردد. میزان موفقیت در یک برنامه به‌نژادی و برنامه‌های انتخاب بستگی به دو عامل وجود تنوع ژنتیکی و انتخاب موثر ژنوتیپ‌های مطلوب دارد (Falconer and Mackey, 1996). از دست دادن ژن‌های مفید به ویژه در زمینه‌های کشاورزی نگران‌کننده است. بسیاری از گونه‌های گیاهی با چند رقم پرمحصول جایگزین شده‌اند که منجر به از دست رفتن قابل توجه تنوع ژنتیکی شده است. این کاهش گزینه‌های برنامه‌های اصلاحی را با هدف بهبود مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها یا سازگاری با تغییرات آب و هوایی محدود می‌کند. گونه‌های محلی برای انعطاف‌پذیری

سیستم‌های کشاورزی ضروری هستند و اغلب با شرایط منطقه سازگاری بهتری دارند و در برابر آفات و بیماری‌ها مقاومت کنند (Winstead and Jacobson, 2024). ارقام محلی کنجد به دلیل امکان استفاده از آنها در توسعه ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاحی مهم هستند. در ایران تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ‌های کنجد مشاهده شده است که نشان می‌دهد کشور ما یک کانون بالقوه تنوع برای این محصول است و تنوع ژنتیکی بالایی در ژنوتیپ‌های محلی آن نسبت به ژنوتیپ‌های وارداتی مشاهده می‌شود (Tabatabaei, 2011). وجود این تنوع برای بهبود صفاتی مانند تحمل به خشکی و بیماری‌هایی مانند فیلودی کنجد و حفظ عملکرد محصول تحت شرایط محیطی مختلف اهمیت اکولوژیکی و کشاورزی این ارقام را برجسته می‌کند (Gharib, 2016; Salehi et al., 2017). استفاده از خویشاوندان وحشی و بومی کنجد برای هیبریداسیون می‌تواند صفات مفیدی مانند تحمل به خشکی و مقاومت در برابر بیماری را به ارقام اصلاحی انتقال داده و انعطاف‌پذیری ارقام جدید را در برابر شرایط آب و هوایی افزایش دهد (Yadav et al., 2022; Ranganatha et al., 2013).

علاوه بر دستیابی به ارقام متحمل به ریزش در کنجد، یکی از اصلی‌ترین اهداف اصلاحی در کنجد افزایش عملکرد بوده که با انتخاب بوته‌های دارای شاخه فرعی بیشتر و با تعداد کپسول در بوته بیشتر و افزایش تعداد برچه در کپسول می‌توان 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 شاخص‌های انتخاب زمانی می‌تواند اثر بخش باشد که درک کاملی از رابطه بین عملکرد و اجزای آن وجود داشته باشد (Mohammadia et al., 2003). ماهیت رابطه بین عملکرد و اجزای آن مشخص می‌کند که چه ویژگی‌های مناسبی باید در اصلاح نبات مورد استفاده قرار گیرند. مطالعات همبستگی در درک روابط بین ویژگی‌های عملکردی مختلف و سایر ویژگی‌ها ضروری است و محققان را قادر می‌سازد تا میزان ارتباط نزدیک متغیرهای مختلف را اندازه‌گیری کنند و بینش‌هایی را در مورد اثرات مستقیم و غیرمستقیم ارائه دهند. ضرایب مسیر امکان تجزیه و تحلیل دقیق ضرایب همبستگی را با تفکیک آنها به اثرات مستقیم و غیرمستقیم فراهم می‌کند. این تجزیه برای تعیین سهم هر صفت در عملکرد کلی بسیار مهم است. یکی دیگر از روش‌های تحلیلی مورد استفاده، تجزیه به مولفه‌های اصلی است. این تکنیک چندین متغیر همبسته را به مجموعه‌ای از متغیرهای غیر همبسته که به عنوان مولفه اصلی شناخته می‌شوند، تجزیه می‌کند. برخلاف تجزیه به عامل‌ها، تجزیه به مولفه‌های اصلی شامل چرخش عاملی نمی‌شود، و آن را به یک رویکرد ساده برای شناسایی شاخص‌های مستقل از یک مجموعه داده تبدیل می‌کند. مؤلفه‌های اصلی می‌توانند جنبه‌های مختلف داده‌ها را برجسته کنند و به محققان این امکان را می‌دهند تا بر روی صفات خاص بدون دخالت همبستگی‌ها تمرکز کنند (Manly, 2004).

تحقیقات نشان داده است که در کنجد صفت عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول در گیاه، وزن هزار دانه، ارتفاع گیاه (Kante et al., 2024; wang et al., 2024)، تعداد دانه در کپسول (Kante et al., 2022; Kalaiyarasi et al., 2019)، طول کپسول (Kante et al., 2022) همبستگی مثبت و معنی داری دارد. ینگ زونگ و یشو (Yingzhong and Yishou, 2002)، با بررسی ۳۰ رقم کنجد با توجه به ۹ 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 کنجد به منظور همبستگی بین عملکرد و ۶ خصوصیت تشکیل

دهنده عملکرد به وسیله کومارسون و همکاران (Kumaresan and Nadarajan, 2003) مورد بررسی قرار گرفتند. به غیر از تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی 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 غیر مستقیم مثبت از طریق تعداد کپسول در گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد دانه در کپسول بود. تعداد کپسول در یک بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را روی عملکرد دانه داشت. محققین دیگر نیز به اثر مستقیم و مثبت تعداد کپسول در یک بوته روی عملکرد دانه تک بوته اشاره کرده‌اند (Kavitha and Ramalingam, 2000; Arulmozhi et al., 2001; Deepasankar and Anandakumar, 2003).

در یک مطالعه هفتاد ژنوتیپ کنگد از نظر ۱۴ صفت بررسی و توسط تجزیه به مولفه‌های اصلی چهار مولفه 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 جوانه زنی، تعداد روز تا پایان گلدهی، تعداد شاخه‌های ثانویه، طول کپسول دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه چهارم نیز صفات تعداد شاخه‌های اولیه، طول کپسول و محتوی روغن دارای بالاترین ضرایب بودند (Mukhthambica et al., 2023). مطالعه دیگری ۹۶ لاین کنگد را از نظر ۱۵ صفت مورد بررسی قرار داد و پنج مولفه 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، وزن هزار دانه دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه پنجم تعداد روز تا رسیدگی و طول میانگرمه دارای بالاترین ضرایب بودند (Hamanth 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 به منظور استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی است که در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت به مدت دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۷) کشت شدند.

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۶ ژنوتیپ کنگد (دریافت شده از بانک ژن ملی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت (به ترتیب نماینده منطقه معتدل، گرم شمال و گرم جنوب) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال کشت شدند. نام و منشاء هر کدام از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. منطقه کرج به دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزء مناطق آب و هوایی 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. بر اساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی‌متر در سال است. مغان دارای آب و هوا گرم و مرطوب است و از سطح دریا به‌طور متوسط ۴۵ متر 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.

جدول ۱- نام و مبدا ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 1. Name and origin of the studied genotypes

شماره Genotype No.	نام ژنوتیپ Genotype name	مبدا Origin	شماره Genotype No.	نام ژنوتیپ Genotype name	مبدا 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 (Hajiabad)	28	TN78-573	یزد - Yazd
10	TN78-230	هرمزگان (حاجی آباد) - Hormozgan (Hajiabad)	29	TN78-714	زنجان - Zanzan
11	TN78-66	خراسان (سبزه وار) - Khorasan (Sabzevar)	30	TN78-730	آذربایجان غربی - West Azerbaijan
12	TN78-369	هرمزگان (بندرعباس) - Hormozgan (Bandar Abbas)	31	Darab1	داراب ۱ - Darab 1
13	TN78-384	فارس (داراب) - Fars (Darab)	32	Dashtestan	دشتستان - Dashtestan
14	TN78-389	فارس (ارسنجان) - Fars (Arsanjan)	33	Halil	هلیل - Halil
15	TN78-390	فارس (نی ریز) - Fars (Neyriz)	34	Naz	ناز - Naz
16	TN78-393	کرمان (کرمان) - Kerman (Kerman)	35	Oltan	اولتان - Oltan
17	TN78-400	فارس (آباده) - Fars (Abadeh)	36	Yellow	یلوایت - Yellow
18	TN78-415	فارس (زرقان) - Fars (Zarqan)			
19	TN78-418	فارس (زرقان) - Fars (Zarqan)			

زمین آزمایشی با انجام عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دو دیسک عمود برهم، تسطیح با لندلولر و کوددهی بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) به صورت ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع کود اوره به صورت تقسیط شده در دو مرحله، نیمی در مرحله آماده سازی زمین و مابقی به صورت 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 سولفات پتاسیم قبل از کاشت در هر سه منطقه استفاده گردید. جوی و پشته به فواصل ۶۰ سانتی متر تهیه شد. هر ژنوتیپ در سه خط یک و نیم متری با فاصله دو بوته روی هر خط ۸-۷ سانتی متر 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 ۸ روز یکبار، در جیرفت هر هفته و در مغان نیز هر ۱۰ روز یکبار صورت پذیرفت. اندازه‌گیری صفات با استفاده از ۵ 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 جوانه زنی تا شروع گلدهی، تعداد روز از جوانه زنی 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 ۵ بوته)، وزن دانه‌های یک کپسول (میانگین وزن دانه ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در ۵ بوته)، وزن هزار دانه، طول کپسول (میانگین طول ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در ۵ بوته)، عرض کپسول (میانگین عرض ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در ۵ بوته)، قطر کپسول (میانگین قطر ۱۰ کپسول از ناحیه وسط شاخه اصلی در ۵ بوته)، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه بودند. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و بر اساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد. نتایج مربوط به عملکرد دانه ارقام برای هر منطقه بطور 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 ضرایب همبستگی ساده بین صفات و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم افزار SPSS، تجزیه علیت برای عملکرد دانه توسط نرم افزار Path74 و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم افزار Stat Graphics بدست آمد.

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

نتایج و بحث

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

همبستگی:

ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات اندازه‌گیری شده روی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که بین تعداد کپسول در بوته با صفت تعداد شاخه فرعی همبستگی مثبت ($R^2=0.24$) و معنی داری وجود دارد (جدول ۳). محققین دیگر نیز بین تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه در بوته همبستگی مثبت و معنی دار گزارش کرده‌اند (Kalaiyarasi *et al.*, 2019; Yol *et al.*, 2010). تعداد کپسول در بوته به عنوان یک صفت اصلی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول به شمار می‌آید و با افزایش تعداد شاخه‌های ثانویه پتانسیل برای کپسول‌های بیشتر افزایش می‌یابد که برای بهبود عملکرد دانه بسیار مهم است (Durge *et al.*, 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 معنی داری مشاهده شد و همچنین همبستگی منفی و معنی داری بین طول کپسول و روز تا شروع رسیدگی ($R^2=0.21$) مشاهده شد. در کنجد، بیشتر بودن طول 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 استراتژی‌های تخصیص منابع مختلف یا زمینه‌های ژنتیکی، کپسول‌های کوتاه‌تری داشته باشند (Durge *et al.*, 2022).

صفت عرض کپسول همبستگی‌های مثبت و معنی داری 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 معنی داری با صفات طول کپسول ($R^2=0.31$) و عرض کپسول ($R^2=0.31$) داشت. همبستگی عرض کپسول در کنجد 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 به طور مثبت با طول کپسول و تعداد دانه در کپسول مرتبط است که عواملی حیاتی برای بهبود عملکرد دانه در برنامه‌های اصلاحی کنجد هستند (Kante *et al.*, 2022; Kalaiyarasi *et al.*, 2019).

ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی داری 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 معنی داری با روز تا شروع گلدهی ($R^2=0.19$) و عملکرد دانه ($R^2=0.35$) داشت. تحقیقات نشان داده که برخی از ژنوتیپ‌های کنجد ارتفاع بیشتری از خود نشان می‌دهند که می‌تواند بر تولید کلی آنها تأثیر بگذارد (Teklu *et al.*, 2022). به عنوان مثال در یک تحقیق ژنوتیپ‌های PI-154304 و PI-175907 نه تنها به ارتفاع قابل توجهی (بیش از ۱۰۰ سانتی متر) رسیدند، بلکه عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه بالاتری را نشان دادند (Ahmed *et al.*, 2023). مکانیسم‌های 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 زیست توده را افزایش دهد. این افزایش زیست توده

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 بایستی وزن دانه‌ها کمتر شود اما همانطور که مشاهده می‌شود چنین رابطه‌ای در این تحقیق مشاهده نشد. همچنین محققین دیگری نیز گزارش داده‌اند که با افزایش وزن دانه در کپسول، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد یعنی با افزایش تعداد دانه در کپسول وزن آن نیز افزایش می‌یابد (Kante, 2022, Emamgholizadeh *et al.*, 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 به طور قابل توجهی با صفات مورفولوژیکی 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).

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 ۵ و ۱ 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

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 واضح تر و دقیق تر نتایج بدست آمده از همبستگی ساده بین صفات، تجزیه علیت برای عملکرد دانه انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. برای عملکرد دانه با توجه به نتایج چنین بر می آید 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.

محققین دیگر نیز گزارش داده اند که ارتفاع اولین کپسول از طوقه گیاه و ارتفاع کلی گیاه بیشترین تأثیر مثبت مستقیم را بر عملکرد دانه دارند. این نشان می دهد که گیاهان بلندتر با کپسول های بالاتر احتمالاً دانه های بیشتری تولید می کنند، که نشان دهنده رابطه قوی بین مورفولوژی گیاه و موفقیت تولید مثل است (Bitaraf *et al.*, 2010). ارتفاع بوته به طور مداوم یک همبستگی مثبت با عملکرد دانه نشان می دهد و بر اهمیت آن در انتخاب های اصلاحی تأکید شده است (Kante *et al.*, 2022; Khairnar *et al.* and Monpara, 2013).

ارتفاعی که اولین کپسول در آن تشکیل می شود برای به حداکثر رساندن عملکرد دانه بسیار مهم است. قرار گرفتن کپسول در قسمت های بالاتر می تواند تلفات ناشی از خطر آسیب در حین برداشت را کاهش دهد و اجازه نفوذ نور و دسترسی بهتر به نور خورشید و کاهش رقابت برگ های پایین تر را می دهد (Kumar *et al.*, 2022; Gedifew, 2024). ارتفاع اولین کپسول با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارد که نشان می دهد کپسول های بالاتر ممکن است به عملکرد بهتر منجر شود (Navaneetha *et al.*, 2019; Ramazani, 2016). مطالعات نشان می دهد که شیوه های کاشت بهینه می تواند ارتفاع اولین کپسول را تغییر داده و منجر به عملکرد کلی بهتر شود (Nadeem *et al.*, 2015; Ferreira *et al.* 2017; Langham *et al.*, 2008).

گیاهان بلندتر تمایل به تولید زیست توده بیشتر داشته که می توانند شاخه ها و کپسول های بیشتری را پشتیبانی کنند (Navaneetha *et al.*, 2019; Sasipriya *et al.*, 2018). افزایش ارتفاع بوته باعث افزایش سطح برگ شده که می تواند منجر به بهبود ظرفیت فتوسنتزی و تولید دانه بیشتر شود (Sabag *et al.*, 2024; Ranganatha *et al.*, 2013).

تعداد دانه تولید شده در هر کپسول یکی از عوامل تعیین کننده عملکرد در کنجد است. افزایش تعداد دانه در هر کپسول به طور مستقیم تولید کل دانه را افزایش می دهد، زیرا تعداد دانه بیشتر در بوته منجر به عملکرد کلی بالاتر می شود. تغییرات در ژنوتیپ ها می تواند به طور قابل توجهی بر این صفت تأثیر بگذارد، به طوری که برخی از واریته ها دانه های بیشتری نسبت به بقیه تولید می کنند (Ahmed *et al.*, 2023; Yadav *et al.*, 2022). تحقیقات نشان می دهد که افزایش تعداد دانه در هر کپسول می تواند عملکرد کلی را به طور قابل توجهی افزایش دهد (Ranganatha *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2017).

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	.....
Residual effect - اثر باقیمانده	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

جالب توجه است که تعداد روز تا رسیدگی اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه نشان داد. تحقیقات نشان داده که دوره‌های رسیدگی طولانی تر می‌تواند منجر به افزایش حساسیت به شرایط نامساعد جوی، آفات و بیماری‌ها شود که در نهایت ممکن است کیفیت و کمیت محصول را کاهش دهد (Sabag et al., 2024; Islam et al., 2024). علاوه بر این، دوره‌های رشد طولانی مدت ممکن است منجر به استفاده ناکارآمد از منابع شود، به ویژه در محیط‌هایی که شرایط رشد بهینه به طور مداوم در دسترس نیست (Ranganatha et al., 2013). روزهای تا 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; Khairnar and Monpara, 2013).

در این تحقیق اثرات باقی مانده برای تجزیه علیت عملکرد دانه بالا بود (۰/۵۵) که نشان دهنده این مطلب می‌باشد که صفات مهم دیگری نیز بر عملکرد دانه تک بوته تاثیر گزار هستند که در تجزیه علیت وارد نشده‌اند و گنجاندن این صفات می‌تواند به درک جامع تری از عوامل تعیین کننده عملکرد دانه منجر شود. این نتیجه با نتایج محققین دیگر مطابق است (Sumathi et al., 2007; Goudappagoudra et al., 2011).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها نشان داد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۵ مؤلفه که دارای ریشه مشخصه بزرگتر از یک بود مجموعاً ۷۷/۹۲ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه می‌کنند (جدول ۵).

به طور 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 به طور جمعی به عملکرد و عملکرد کلی گیاه کنجد کمک می‌کنند. به عنوان مثال عملکرد دانه در بوته اغلب تحت تأثیر تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در هر کپسول است که نشان دهنده 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 مولفه اصلی گروه بندی شوند و بخش قابل توجهی از واریانس مجموعه داده‌ها را توضیح دهد (Gupta et al., 2021). در یک مطالعه اولین مولفه 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 باهم متفاوت هستند اما می‌توانند بیان کننده یک مولفه منفرد باشند (Sasipriya et al., 2022). نتایج این مؤلفه تقریباً مشابه مؤلفه اول اکبر و همکاران (Akbar et al., 2011) و منظر (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 بوده زیرا با افزایش طول و عرض و ضخامت ما شاهد تعداد دانه‌های بیشتر و با اندازه بزرگتر خواهیم بود و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش خواهد یافت. ابعاد کپسول شامل طول، عرض و ضخامت کپسول برای تعیین اندازه و شکل بذر حیاتی هستند که مستقیماً 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 محققین 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 به دلیل وابستگی‌های متقابل بیولوژیکی آنها همبستگی قوی نشان دهند. به عنوان مثال زود گلدهی می‌تواند بر سرعت رشد و توسعه کپسول‌ها تأثیر بگذارد، بنابراین این دو صفت را در یک مولفه وارد می‌شوند (Mukhthambica et al., 2023; Durge et al., 2022). در چندین مطالعه تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع بوته در یک مولفه قرار گرفتند و تأثیر جمعی آنها بر عملکرد دانه برجسته شده است (Hemanth et al., 2024; Sonaniya et al., 2023). ارتباط مثبتی بین زود گلدهی و عملکرد بیشتر دانه توسط محققین دیگر گزارش شده است (Ezhilarasi et al., 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 مولفه اصلی با علائم متفاوت از هم قرار گیرند که این به دلیل روابط متقابل پیچیده بین صفات می‌تواند باشد. این پدیده به این دلیل اتفاق

می‌افند 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 نشان دهنده این مطلب می‌تواند باشد که در عین حال که این صفات به طور مثبت به عملکرد کمک می‌کنند، ممکن است زمان بندی آنها بر پویایی رشد کلی تأثیر معکوس بگذارد (Ezhilarasi et al., 2024).

معمولاً در برنامه‌های اصلاحی بیشتر توجه محققین 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 غیر مستقیم استفاده نمود و انتظار می‌رود که آن مؤلفه نیز با این روش اصلاح شود.

شکل ۱ محل قرار گیری 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 غیر همسو می‌باشد. به عنوان 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

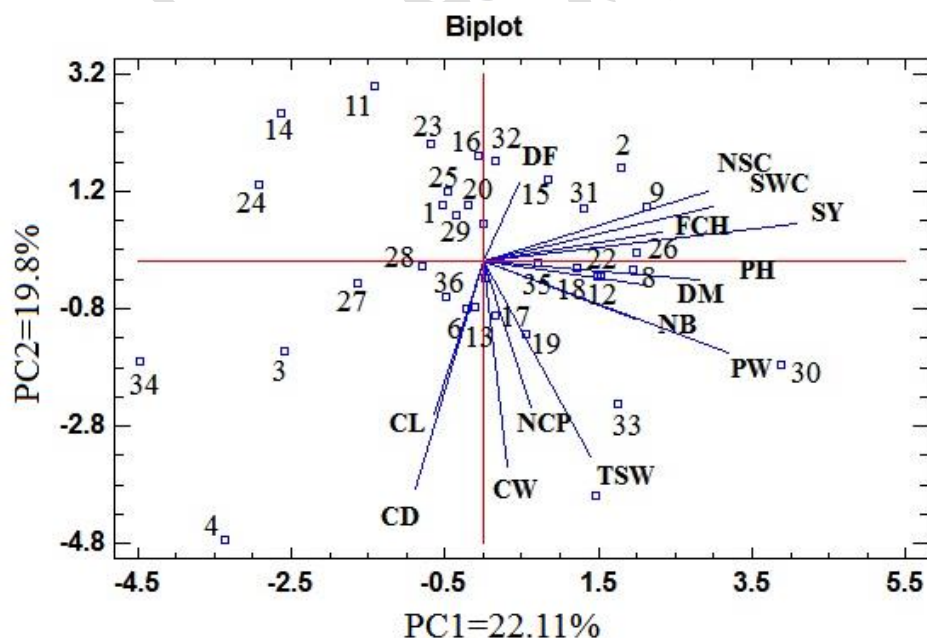
جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها برای کلیه صفات مورد اندازه‌گیری در لاین‌های بومی مورد بررسی

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

هستند. با توجه به این شکل ما قادر هستیم ژنوتیپ‌های مختلف را با توجه به صفات مختلف انتخاب کنیم. 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 می‌کنیم و ژنوتیپ‌هایی که بالاترین تصویر را روی خط اول داشته باشند و در سمت قرار گیری 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 قرار گیری صفت مورد نظر نسبت به خط عمود باشند دارای کمترین مقدار در رابطه با آن صفت خواهند بود. به عنوان مثال برای صفت عملکرد دانه با توجه به شکل در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های شماره ۳۰، ۹ و ۲۶ (بترتیب عملکرد بالا در شکل حاصل از مؤلفه اول و دوم انتخاب نمود. به همین صورت ژنوتیپ‌های شماره ۳۴، ۴ و ۳ (بترتیب ناز، ۷۸-۸۴ و ۷۸-۷۶) دارای بیشترین تصویرها اما در جهت عکس برای صفت عملکرد بوده و در نتیجه عملکرد دانه پائینی در شکل حاصل از مؤلفه اول و دوم دارند.

با مجتمع کردن چندین صفت همبسته به مؤلفه‌های اصلی کمتر، محققان می‌توانند 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 بر اساس امتیاز مؤلفه‌ها به جای ارزیابی هر صفت به صورت جداگانه تسهیل می‌کند (Mukhthambica et al., 2023; Ahmed et al., 2023). این روش نه تنها به درک تنوع ژنتیکی کمک می‌کند، بلکه کارایی انتخاب را در برنامه‌های اصلاح گنجد افزایش می‌دهد.



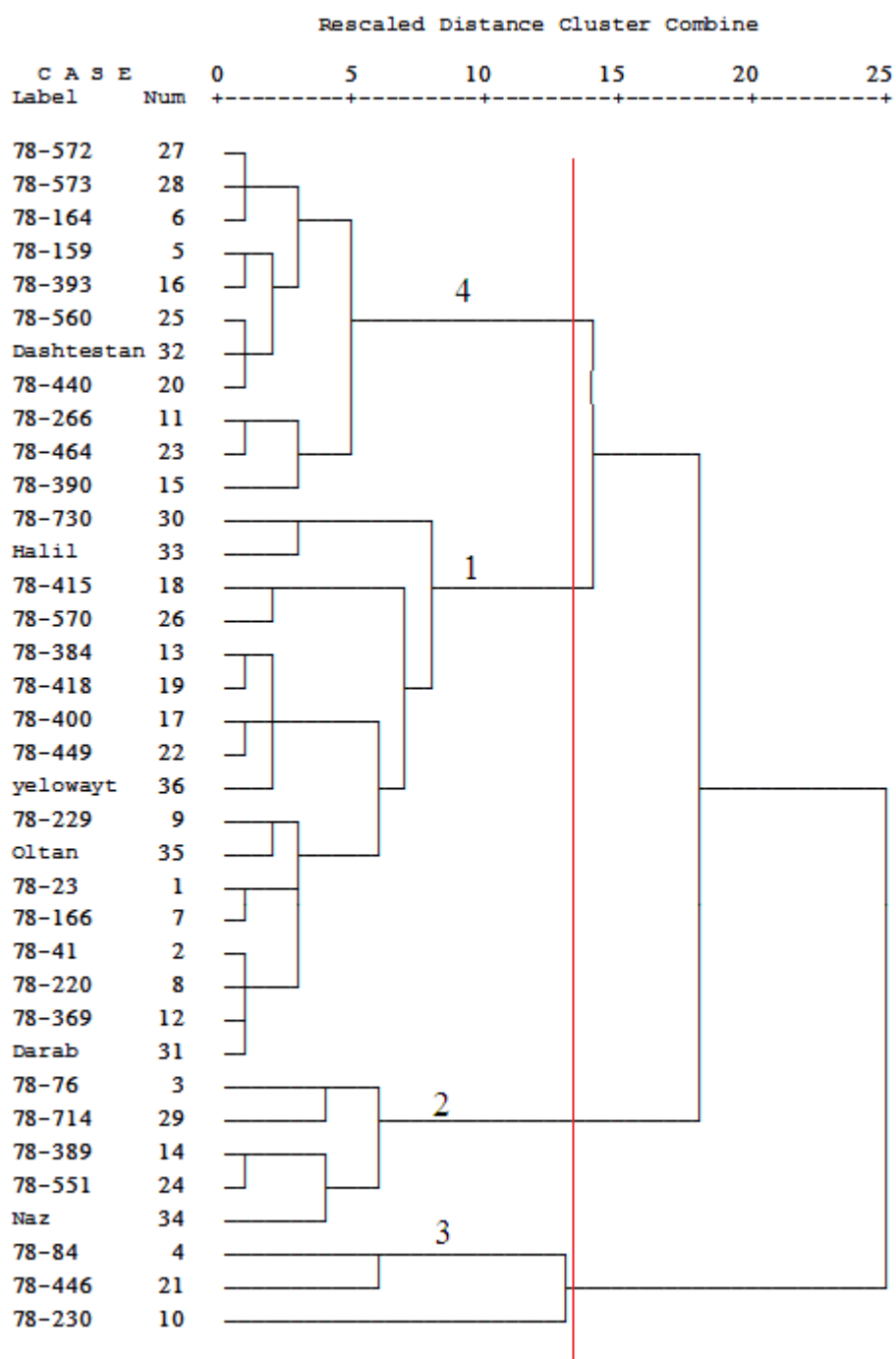
شکل ۱- بای پلات عامل اول و دوم حاصل از تجزیه به مؤلفه‌ها برای لاین‌های محلی مورد بررسی و محل لاین‌های قرار گرفته در آن

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

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای براساس کلیه صفات با استفاده از اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی و با استفاده از روش وارد (Masoudi and Ahmadi, 2019) و با استاندارد سازی داده‌ها (Z-score) انجام شد و انتخاب نقطه برش بر اساس تجزیه واریانس صورت گرفت و نهایتاً چهار گروه بر اساس 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 میانگین جامعه اصلی در همان صفت محاسبه شد (شکل ۳). بدین ترتیب هر جا که میانگین صفت در یک گروه از میانگین کل جامعه در آن صفت بالاتر باشند، آن گروه ارزش بیشتری از نظر انتخاب والدین دارد. نهایتاً دو گروهی که بیشترین فاصله را از هم داشته باشند، ژنوتیپ‌های آن گروه‌ها می‌توانند برای دستیابی به هتروزیس بیشتر به عنوان والدین تلاقی‌ها مدنظر قرار گیرند. کلاستر یک شامل ۱۷ ژنوتیپ می‌شد. این کلاستر از نظر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، فاصله اولین کپسول از طوقه گیاه و تعداد روز تا رسیدگی بیشترین مقدار را در بین کلاسترها به خود اختصاص داده بود (شکل ۳).

کلاستر دوم شامل چهار ژنوتیپ می‌شد. این کلاستر 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 کلاسترها کمتر بود و از لحاظ صفت روز تا شروع گلدهی بیشترین مقدار را در بین کلاسترها به خود اختصاص داده بود.



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

کلاستر سوم شامل سه ژنوتیپ بود که از لحاظ تعداد کپسول در بوته، طول کپسول، عرض کپسول، ضخامت کپسول، وزن هزار دانه، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک اندام هوایی بیشترین مقدار را نسبت به میانگین این صفات در سایر کلاسترها به خود اختصاص داده بود. همچنین این کلاستر 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 کلاسترها به خود اختصاص داده بود.

کلاستر 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، وزن خشک اندام هوایی کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود.



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

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

تحقیقات محققین نشان داده که تجزیه کلاستر 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 کلاستر نشان داد که دسته بندی ژنوتیپ‌ها با توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها ارتباطی نداشتند و ارقام اکثراً بر اساس تفاوت‌های مورفولوژیکی گروه بندی شدند. به عنوان 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 قرار گرفت و لاین‌های بومی هرمزگان در گروه‌های یک و سه قرار گرفتند. اکبر و همکاران (2011) نیز با تجزیه کلاستر ۱۰۵ ژنوتیپ کنجد نتیجه‌گیری نمودند که دسته‌ها با توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها ارتباطی نداشتند. تجزیه و تحلیل جداگانه ۲۰ ژنوتیپ کنجد در شرایط تنش نیز از تجزیه کلاستر برای تمایز بین انواع پرمحصول و کم بازده استفاده کرد. نتایج نشان داد که صفات مورفولوژیکی به‌طور معنی‌داری بر گروه‌بندی تأثیر می‌گذارد، که بیشتر از این ایده حمایت می‌کند که صفات مشابه منجر به خوشه‌بندی می‌شوند (Nikfekar et al., 2023). مطالعه دیگری که شامل ۹۱ ژنوتیپ کنجد بود نشان داد که گروه‌بندی تحت تأثیر توزیع جغرافیایی نیست، بلکه بیشتر تحت تأثیر تفاوت‌های مورفولوژیکی قرار دارد و تفاوت‌های مورفولوژیکی اغلب به دلیل فشارهای اکولوژیکی ایجاد می‌شوند اما عوامل جغرافیایی ممکن است همچنان در چشم‌انداز ژنتیکی کلی، به ویژه از نظر سازگاری‌های محیطی، نقش داشته باشند. ژنوتیپ‌ها به پنج گروه طبقه‌بندی شدند که تأیید می‌کند که تجزیه خوشه‌ای به طور موثری تنوع ژنتیکی را بر اساس تنوع صفت منعکس می‌کند (Masoudi and Ahmadi, 2019).

یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب والدین متنوع برای اصلاح باید بر فاصله ژنتیکی متمرکز شود تا منشاء جغرافیایی، زیرا ممکن است اثرات هتروتیکی در برنامه‌های هیبریداسیون را افزایش دهد (Ashfaq et al., 2023). برخی از محققان استدلال می‌کنند که منشا 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. با این حال، شواهد حاصل از تجزیه و تحلیل‌های خوشه‌ای نشان می‌دهد که تنوع ژنتیکی از مرزهای جغرافیایی فراتر می‌رود و پیچیدگی اصلاح کنجد 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 این که 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 به طور قابل توجهی بر عملکرد تأثیر می‌گذارند مانند تعداد کپسول در هر بوته و ارتفاع بوته می‌توانند استراتژی‌های 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 مولفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس صفات خاص مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌تواند صفات کلیدی را برجسته کند که به تنوع عملکرد کمک می‌کنند، در حالی که تجزیه کلاستر 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 مولفه‌های اصلی شناسایی شده بودند، همگی در کلاستر شماره یک قرار گرفتند و بنابراین می‌توان نتیجه گیری نمود که نتایج حاصل از این روش‌ها مشابتهای زیادی در تفکیک ارقام و ژنوتیپ‌ها دارند. هر دو تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر ابزارهای موثری 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 et al., 2024).

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۰۳-۰۳-۹۵۱۵۰-۰ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر است. بدین وسیله از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به خاطر تامین هزینه‌های اجرای این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Adebisi, M. A. (2004). Variation, stability and correlation studies in seed quality and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). Phd Thesis
2. 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.
3. Akinyode, E. T. (2023). Principal component and cluster analysis as a tool in assessment of genetic diversity of tomato genotypes (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Nigerian Journal of Horticultural Science*, 27(4).
4. 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.
5. 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*, 225-236.
6. Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M., ... & Araya, G. (2020). Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, 6(10).
7. 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.
8. 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 Zanjan Province, Iran (2019). *Journal of Human Environment and Health Promotion*, 6(4), 159-166.
9. 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.
10. Emamgholizadeh, S., Parsaeian, M., & Baradaran, M. (2015). Seed yield prediction of sesame using artificial neural network. *European Journal of Agronomy*, 68, 89-96.
11. Ezhilarasi, T., Mahalingam, A., & Manivannan, N. (2024). 1. Assessment of genetic diversity in Indian sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm. *Ecology, environment & conservation*, doi: 10.53550/eec.2024.v30i03s.059
12. 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.

13. Ferreira, E. I., Pereira, M. D., Macedo, A. R. D., & Soares, E. R. (2017). Effect of fertilization on the physiological maturation of sesame seeds1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(2), 202-210.
14. 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
15. 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.
16. Gupta, D., Muralia, S., Khandelwal, V., & Nehra, A. (2021). Assessing diversity of sesame genotypes using cluster analysis and principal component analysis. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 10(01), 304-312.
17. 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* Vol. 24, No. 1, 237-242
18. 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.
19. 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.
20. 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 (*Sesame indicum* L.). *International Journal of Plant and Environment*, 8(01), 87-90.
21. 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.
22. 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.
23. Langham, D. R., Riney, J., Smith, G., & Wiemers, T. (2008). Sesame grower guide. *Sesaco Corp*, 30(331), 3.
24. 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.
25. Mei, H., Cui, C., Liu, Y., Du, Z., Wu, K., Jiang, X., ... & Zhang, H. (2023). QTL analysis of traits related to seed size and shape in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos one*, 18(11), e0293155.
26. 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
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Pham, T. D., Thi Nguyen, T. D., Carlsson, A. S., & Bui, T. M. (2010). Morphological evaluation of Sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from different origins. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 498-504.
31. 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.
32. Ranganatha, A. R. G., Jyotishi, A., Deshmukh, M. R., Bisen, R., Panday, A. K., & Gupta, K. N. (2013). Improved technology for maximizing production of sesame. *Indian Council of Agricultural Research, Jabalpur, IND*.
33. 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.
34. 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.

35. 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.
36. Sonaniya, Rahul, Rajani Bisen, and Pallavi Sonaniya. 2023. "Assessment of Exotic Sesame (*Sesamum Indicum*) Accessions through Principal Component Analysis". *International Journal of Environment and Climate Change* 13 (11):282-90.
37. 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 rapid markers. *Australian Journal of Crop Science*, 5(11), 1396-1407.
38. Teklu, D. H., Shimelis, H., & Abady, S. (2022). Genetic improvement in sesame (*Sesamum indicum* L.): Progress and outlook: A review. *Agronomy*, 12(9), 2144.
39. Wang, C., Niu, J., Miao, H., Li, C., Duan, Y., Ju, M., ... & 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.
40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Zewdu, D., Mekonnen, F., & Geleta, N. Cluster and principal component analysis for yield and yield related traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *AGBIR* Vol.40 No.02.