نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۵- شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱

# ارزیابی رابطه بین عملکرد و صفات زراعی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از تحلیل عاملی

# Evaluation of Relationship Between Yield and Agronomic Traits in Some Sesame Genotypes Using Factor Analysis

زینب شعبانی[۱] ، حمیدرضا نوریزدان[۲*]، ساسان راستگو[۲]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه خلیج فارس ،
۲. استادیاران دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه خلیج فارس (نگارنده مسئول*)

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۶/۱۷ - شناسانهٔ برنمود رقمی:** 10.22092/aj.2023.361085.1630

## چکیده

شعبانی، ز.، نور یزدان، ح.، راستگو، س.، . ارزیابی رابطه بین عملکرد و صفات زراعی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از تحلیل عاملی
**نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵ - شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱ صفحه: ۱۰۹-۸۸**

**به منظور بررسی روابط بین عملکرد و صفات زراعی و نیز مطالعه روابط بین صفات در ۱۲ ژنوتیپ کنجد، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد وجود داشت. بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته متعلق به رقم محلی آبادان (۴۵/۵۴ گرم) بود. رقم محلی آبادان بیشترین تعداد دانه در کپسول (۶۸/۴) را نیز دارا بود. براساس نتایج حاصل از ضرایب همبستگی، بین وزن هزاردانه با تعداد کپسول در بوته، بین تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه و عملکرد دانه و تعداد کپسول در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($P<0.01$). با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی سه مؤلفه اول حدود ۷۶ درصد کل تغییرات را توجیه کردند. این مؤلفه‌ها به ترتیب تاکید بر عملکرد، فنولوژی و ارتفاع گیاه داشتند. با انجام تجزیه عاملی صفات سه عامل مستقل در مجموع ۷۷ درصد از کل تنوع موجود بین صفات را توجیه کردند. عامل اول در ارتباط با صفات مورفولوژیک و پتانسیل عملکرد، عامل دوم مرتبط با صفات فنولوژیک و عامل سوم مرتبط با ارتفاع و تعداد شاخه‌های فرعی بود. این نتایج نشانگر اهمیت صفات مورفولوژیک مرتبط با عملکرد دانه و فنولوژی گیاه در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب در کنجد بودند.**

**واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنوع فنوتیپی، کنجد.**

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Email:hrnooryazdan@pgu.ac.ir

**مقدمه**

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله و خودگشن از خانواده کنجدیان[1] با سابقه زراعی طولانی است که بیشتر به عنوان محصول روغنی در مناطق گرمسیری کشت و در مقابل تنش خشکی مقاوم است (Tripathi *et al*., 2014). این محصول در ایران در سطحی معادل ۳۷,۵۳۶ هکتار با میانگین عملکرد ۷۱۰ کیلوگرم در هکتار کشت می‌شود (Statistical Yearbook, 2021-2022). کنجد در ایران به عنوان محصولی تابستانه و بیشتر در نواحی جنوب کشور کشت می‌شود. این گیاه زراعی از محصولات مهم کشاورزی استان بوشهر محسوب می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در استان بوشهر از ۱,۶۰۰ تا ۲,۵۰۰ هکتار گزارش شده است (Afroozi *et al*., 2021). دانه کنجد در صنایع مختلف از قبیل صنایع غذایی، داروسازی، تهیه مواد آرایشی و بهداشتی، تهیه مواد حشره‌کش و ضد باکتریایی (بدلیل وجود سزامولین[2]) کاربرد دارد و کنجاله آن برای تغذیه دام حائز اهمیت است.

آگاهی از روابط بین صفات زراعی با عملکرد از اهمیت زیادی در تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی برخوردار است. انتخاب ارقام مطلوب و تعیین روابط علت و معلولی بین صفات، به به‌نژادگر امکان گزینش مناسب‌ترین صفات گیاهی را به منظور افزایش عملکرد می‌دهد (Singh & Singh, 2021). اطلاعات مربوط به تنوع ژنتیکی، رابطه بین جمعیت‌ها و انتخاب موثر ژنوتیپ‌های مطلوب مهم هستند زیرا به انتخاب مواد ژنتیکی مناسب در برنامه‌های به‌نژادی کمک می‌کنند. میزان تنوع فنوتیپی بر روی صفات اقتصادی و پاسخ به انتخاب تاثیرگذار است (Gadri *et al*., 2020).

تنوع ژنتیکی در ارقام محصولات زراعی توسط نشانگرهای مولکولی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی معین می‌شود. در اصلاح نباتات برای تعیین ساختار ژنتیکی جمعیت، ارتباط بین اطلاعات فنوتیپی و ژنتیکی و تشریح روابط بین صفات از ویژگی‌های زراعی مورفولوژیکی استفاده می‌شود (Mohamed & Bedawy, 2019). موفقیت یک برنامه به‌نژادی بستگی به دو عامل وجود تنوع ژنتیکی و انتخاب مؤثر ژنوتیپ‌های مطلوب دارد. بنابراین استفاده از ارقام اصلاح شده موجب افزایش تولید و کیفیت محصولات زراعی می‌شود (Lzak & Caligari, 2013). بررسی تنوع ژنتیکی صفات کمّی با توجه به پارامترهایی مانند واریانس فنوتیپی، وراثت‌پذیری صفات و میزان پیشرفت ژنتیکی ضروری است (Patil & Lokesha, 2018). افزایش عملکرد دانه مهمترین هدف به‌نژادی است. تلاش برای افزایش عملکرد، در واقع اصلاح برای ترکیبی از صفات مطلوب است. اصلاح برای یک صفت ممکن است بر صفات دیگر تأثیر منفی بگذارد. نتایج نشان می‌دهدکه ژنوتیپ‌ها در تعاملات محیطی تفاوت‌های چشمگیری دارند. این امر نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها به‌طور متفاوتی در محیط رفتار می‌کنند (Ibrahim *et al*., 2015).

اگرچه افزایش عملکرد از عمده‌ترین اهداف

---

۱. Pedaliaceae

۲sesamolin

به‌نژادی است، ولی به دلیل نحوهٔ کنترل ژنتیکی پیچیده و تأثیرپذیری این صفت از اثرات محیطی، گزینش ارقام بر اساس اندازه‌گیری مستقیم عملکرد از سودمندی کمی برخوردار است (Naghdipour *et al*., 2018). در مطالعهٔ همبستگی بین اجزای عملکرد و عملکرد دانه ۱۲ ژنوتیپ کنجد و تعیین رابطه بین ارتفاع ساقه، تعداد کپسول در بوته، تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه و شاخص برداشت، نشان داده شد که همبستگی مثبت بین ارتفاع و عملکرد دانه وجود داشت و عمده آن به علت اثر غیرمستقیم ارتفاع بر تعداد کپسول در بوته بود (Mostafavi *et al*., 2017). به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد در آزمایش کشت مخلوط سه توده کنجد، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده از قبیل عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد کپسول در ساقه اصلی و شاخه‌ها، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط توده‌های سبزوار با کاشمر و کشت خالص توده کلات به دست آمد (Zarghani *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر به‌منظور مطالعهٔ امکان سازگاری ارقام کنجد و مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد، ۱۰ رقم کنجد مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اثر رقم بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد و بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشت (Gitti *et al*., 2013). در آزمایشی ۹۰ ژنوتیپ کنجد به‌منظور تعیین صفات برتر و معیار انتخاب در بهبود عملکرد موردبررسی قرار گرفتند. تجزیه همبستگی نشان داد که عملکرد زیست‌توده، تعداد کپسول و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (Khairnar & Monpara, 2013). همچنین تعداد ۱۳ رقم کنجد در سه منطقه و سه سال زراعی به منظور ارزیابی رابطهٔ بین عملکرد و صفات زراعی مطالعه شد (Baraki *et al*., 2015). عملکرد، همبستگی منفی با تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی داشت. اهمیت روش‌های تحلیل عاملی و تجزیه خوشه‌ای در توانایی آن‌ها برای بررسی چندین متغیر به طور هم‌زمان و ارائه درکی در مورد رابطه بین آن‌ها نهفته است. این روش‌ها می‌توانند به شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر عملکرد و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مشابه بر اساس ویژگی‌هایشان کمک کنند. علاوه بر این، این روش‌ها همچنین قادرند درک جامع‌تری از روابط پیچیده بین صفات مختلف و اثرات آن‌ها بر عملکرد ارائه دهند (Baraki *et al*., 2020). تجزیه و تحلیل عاملی موجب شناسایی صفات گیاهی برای تمایز بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌شود (Mam *et al*., 2022).

به منظور درک روابط بین صفات و تعیین عامل‌های توجیه‌کننده صفات، ۲۰ رقم کنجد بررسی شدند (Jahanfar *et al*., 2014). در نتایج تجزیه عاملی، چهار عامل با مقادیر ویژه بالا، درمجموع ۷۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند. عامل اول با صفات ارتفاع بوته، عرض برگ، طول کپسول، قطر ساقه و تعداد دانه در غلاف همبستگی بالایی داشت و تحت عنوان

خصوصیت مورفولوژی نام‌گذاری شد. عامل دوم در رابطه با صفات عملکرد دانه، قطر کپسول، تعداد کپسول، در بوته و وزن غلاف دارای ضرایب بزرگی بود و به نام عامل عملکرد و خصوصیات غلاف نام‌گذاری شد. عامل سوم با صفت تعداد شاخه جانبی همبستگی بالایی داشت و به همین اسم نام‌گذاری شد و عامل چهارم نیز با صفات طول برگ و وزن هزاردانه همبستگی بالایی داشت و به نام وزن هزار دانه نام‌گذاری شد.

این پژوهش با هدف تعیین ارتباط صفات مورد بررسی با عملکرد دانه ، ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از صفات زراعی و ریخت‌شناسی (مورفولوژی) و شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی آینده انجام شد.

## مواد و روشها

در این آزمایش ۱۲ ژنوتیپ کنجد شامل ارقام تجاری، محلی و لاین (جدول ۱) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه خلیج فارس بوشهر واقع در هشت کیلومتری جنوب شرقی شهر برازجان، به منظور بررسی روابط بین عملکرد و صفات زراعی ارزیابی شدند. بافت خاک منطقه دارای ۱۰/۵ درصد رس، ۴۷ درصد سیلت و ۴۲ درصد شن بود. اقلیم کشاورزی منطقه دارای تابستان‌های بسیار گرم و خشک و طولانی است. جدول ۲ مشخصات هواشناسی منطقه را نشان می‌دهد. فاصله بوته‌ها از یکدیگر روی خطوط کشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کشت ۶۰ سانتیمتر انتخاب شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و لولر در نیمه اول تیرماه ۱۳۹۷ انجام شد. کود شیمیایی به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم استفاده شد. بر اساس تاریخ کشت کنجد در منطقه، عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ تیرماه به صورت دستی، خطی و به روش هیرم‌کاری انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول چهار متر بود. آبیاری به روش تحت فشار و با سیستم قطره‌ای، دو روز در میان و براساس میزان آب مورد نیاز کنجد در منطقه انجام شد. برای محاسبه میزان آب، از روش پنمن- مانتیث[۳]، استفاده شد (Allen *et al.*, 1998). عملیات داشت مانند تنک کردن در زمان ۲-۴ برگی، وجین کردن علف‌های هرز در زمان ۴-۶ برگی و کوددهی سرک قبل از گل‌دهی انجام شد. صفات مورد بررسی شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (تعداد روز از کاشت تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها حداقل دارای یک گل باشند)، ارتفاع بوته (طول ساقه اصلی برحسب سانتیمتر) ، تعداد انشعاب ساقه اصلی (تعداد شاخه فرعی)، تعداد شاخه‌های فرعی بارور، تعداد کپسول در بوته (مجموع کپسول در ساقه‌های اصلی و فرعی)، تعداد روز تا رسیدگی (تعداد روز از کاشت تا زمانی که ۷۵ درصد بوته‌ها، به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برسند)، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه در بوته، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بودند. برای اندازه‌گیری صفات ذکر شده پنج بوته

۳Penman-manteith

به صورت تصادفی از دو خط وسط با رعایت عوامل حاشیه‌ای برداشت و میانگین صفات یادداشت شدند. از توصیف‌کننده‌های کنجد برای نحوه انجام اندازه‌گیری‌ها استفاده شد (IBPGR, 1981؛Miao *et al*., 2021). برای محاسبه ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی از معادله‌های ذیل استفاده شد:

$$\text{ضریب تغییرات فنوتیپی} = \frac{\sqrt{\text{واریانس فنوتیپی}}}{\text{میانگین}}(100)$$

$$\text{ضریب تغییرات ژنوتیپی} = \frac{\sqrt{\text{واریانس ژنتیکی}}}{\text{میانگین}}(100)$$

در این تحقیق از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها برای تحلیل بهتر اطلاعات، کاهش ابعاد داده‌ها و تفسیر بهتر و آسان‌تر داده‌ها و تعیین عوامل پنهان موثر بر عملکرد استفاده شد. تجزیه به عامل‌ها بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، انجام و عوامل به‌دست آمده به روش وریماکس[۴] دوران داده شدند تا تفسیرپذیری عامل‌ها افزایش یابد.

پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش شاپیرو و ویلک (Shapiro & Wilk, 1965) با نسخه ۲,۹ نرم‌افزار SAS ( SAS Institute, 2010)، تجزیه و تحلیل داده‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه به عامل‌ها و تجزیهٔ خوشه‌ای انجام و میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شدند. تجزیه خوشه‌ای با نرم‌افزار(Syatat 2014) با روش وارد[۵] انجام شد. در این نرم‌افزار می‌توان با استفاده از شاخص‌های ریشه انحراف استاندارد میانگین (RMSSTD، $T^2$) کاذب و F کاذب برای تعیین بهترین تعداد خوشه استفاده کرد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. تمامی صفات مورد مطالعه از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف داشتند. این امر بیانگر وجود تنوع کافی در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه و امکان بهره‌برداری از آن‌ها به صورت انتخاب می‌باشد. در مطالعه بر روی ۷۰ ژنوتیپ بومی کنجد نیز همه صفات اندازه‌گیری شده شامل صفات فنولوژیکی، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، ارتفاع بوته، وزن ۲۰۰ دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد در واحد سطح اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (Nasiri & Saidi,2013 ). در مطالعه سازگاری ارقام کنجد در خوزستان، از بین ده صفت مورد بررسی، صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد شاخه و تعداد کپسول در بوته اختلاف معنی‌دار داشتند ( Gitti *et al*.,2013). در مطالعه تنوع ژنتیکی بین ۳۳ ژنوتیپ کنجد، اختلاف معنی‌دار از نظر صفات مورفولوژیک بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد که از آن تلقی بر وجود تنوع قابل استفاده برای بهبود ژنتیکی این گیاه شد (de Sousa Araújo *et al*., 2019). به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه آزمایشی بر روی ۲۵ ژنوتیپ کنجد و با استفاده از صفات مورفولوژیک انجام شد (Javadi *et al*., 2013) . نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد

٤1. Varimax
٥Ward

جدول ۱: مشخصات ژنوتیپ‌های کنجد مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Characteristics of sesame genotypes used in the experiment

| شماره Number | ارقام Varieties | منبع تهیه بذرها Source of seeds | شماره Number | ارقام Varieties | منبع تهیه بذرها Source of seeds |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | رامهرمز Ramhormoz | بومی (رقم محلی) Local (Landrace) | 7 | دشتستان ۵ Dashtestan 5 | مرکز تحقیقات شهرستان دشتستان (لاین) Dashtestan Research center(Line) |
| 2 | محلی دزفول Local Dezful | مرکز تحقیقات شهرستان دزفول (رقم محلی) Dezful Research Center(Landrace) | 8 | اصفهان Isfahan | شرکت پاکان بذر اصفهان (رقم تجاری) Isfahan Pakan Bazr Company (cultivar) |
| 3 | آبادان Abadan | بومی (رقم محلی) Local(Landrace) | 9 | محلی بهبهان Local Behbahan | مرکز تحقیقات شهرستان دزفول (رقم محلی) Dezful Research Center(Landrace) |
| 4 | دشتستان ۲ Dashtestan 2 | مرکز تحقیقات شهرستان دشتستان (لاین) Dashtestan Research Center(Line) | 10 | اردکان یزد Ardakan Yazd | شرکت پاکان بذر اصفهان (رقم تجاری) Isfahan Pakan Bazr Company (cultivar) |
| 5 | آب پخش Abphakhsh | بومی (رقم محلی) Local(Landrace) | 11 | اراک Arak | شرکت پاکان بذر اصفهان (رقم تجاری) Isfahan Pakan Bazr Company (cultivar) |
| 6 | برازجان Borazjan | مرکز تحقیقات شهرستان دشتستان (رقم محلی) Dashtestan Research Center(Landrace) | 12 | SG5 | مرکز تحقیقات شهرستان دزفول (لاین) Dezful Research Center (Line) |

مطالعه ازلحاظ صفات به جز ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با توجه به معنی‌دار بودن آزمون F صفات، میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۴ مقایسه شدند. بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه برحسب گرم متعلق به ژنوتیپ‌های بهبهان (۳/۴)، آبادان (۳/۳۶)، دشتستان ۲، (۳/۳) و کمترین مقدار این صفت متعلق به ارقام اصفهان (۲/۶ گرم) و اردکان یزد (۲/۹ گرم) بود. هم‌چنین بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول، ارتفاع، تعداد انشعاب ساقه اصلی و تعداد شاخه‌های فرعی بارور به‌ترتیب در ژنوتیپ های آبادان، دشتستان ۵، دشتستان ۲ و محلی برازجان و آبادان مشاهده شد. کم‌ترین ارتفاع بوته را لاین SG5 و محلی رامهرمز داشتند (جدول ۴). ارتفاع بوته در کنجد صفت مهمی است و ارتفاع بوته‌ها باید طوری باشد که بوته دچار ورس نشود و هم‌چنین برای برداشت مکانیزه مناسب باشند (Ram, 2005). ضرایب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی برای صفت ارتفاع به ترتیب برابر ۷/۲ و ۱۰/۴ درصد بودند. صفات مرتبط با فنولوژی (تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی)، در کنجد برای زودرسی مهم هستند. ارقام محلی آب‌پخش، اردکان یزد، برازجان و دشتستان ۵ دیررس‌تر از بقیه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند.

در این پژوهش از نظر عملکرد دانه در بوته به عنوان مهمترین صفت اقتصادی در کنجد، اختلاف آماری در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول۳). میانگین این صفت ۲۱/۰۸ با دامنهٔ ۳۷/۴۷ گرم بود. رقم محلی آبادان بیشترین مقدار این صفت را نشان داد (۴۵/۵۴ گرم) (جدول ۵). ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی به ترتیب ۵۵/۲ و ۵۵/۰۸ درصد بودند (جدول۵). صفت تعداد کپسول در بوته به عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد در کنجد می باشد. از نظر تعداد انشعاب شاخه اصلی ژنوتیپ های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشتند.

جدول۲: پارامترهای مهم هواشناسی منطقهٔ کشت در سال ۱۳۹۷

Table 2. Important meteorological parameters for the cultivation area in 2018

| ماه Month | دما (سانتی‌گراد) Temperature (Celsius) | | رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%) | میزان بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm) | تعداد ساعت آفتابی Number of hours of sunshine | مقدار تبخیر Evaporation rate |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کمینه Minimum | بیشینه Maximum | | | | |
| تیر July | 27 | 52 | 24 | 0 | 11.7 | 14.1 |
| مرداد August | 28 | 51 | 28 | 0 | 10.4 | 13 |
| شهریور September | 28 | 47 | 41 | 0 | 9.9 | 11.2 |
| مهر October | 19 | 43 | 43 | 0 | 10 | 8.7 |
| آبان November | 14 | 34 | 52 | 0 | 6.4 | 5 |
| آذر December | 8 | 29 | 66 | 17 | 7.3 | 2.4 |

ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای این صفت اختلاف بسیار اندکی داشتند (جدول ۵). در بین صفات بررسی شده، صفت تعداد انشعاب شاخه بارور دارای ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی بالایی بودند ( به ترتیب ۶۰/۰۸ و ۶۰/۲ درصد) (جدول ۵). این امر می‌تواند بیانگر دامنهٔ گستردهٔ تغییرات برای این صفت نسبت به میانگین آن باشد (Singh *et al*., 2014). صفت تعداد دانه در کپسول از اجزاء عملکرد محسوب می‌شود.

تجزیه و تحلیل همبستگی با محاسبهٔ ماتریس ضرایب همبستگی بین صفات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۶). عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، ارتفاع بوته، تعداد انشعاب ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی بارور و وزن هزاردانه، همبستگی مثبت و معنیداری داشت. تعداد دانه در کپسول با صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد انشعاب ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی بارور و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. ارتفاع بوته با صفات تعداد انشعاب ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی بارور و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. تعداد انشعاب ساقه اصلی با صفات تعداد شاخه‌های فرعی بارور و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. تعداد شاخه‌های فرعی بارور با صفات وزن هزاردانه و شاخص برداشت همبستگی مثبت و با صفت تعداد روز تا رسیدگی همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. بین وزن هزار دانه با صفت تعداد روز تا رسیدگی همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت بین صفات عملکرد دانه در بوته و تعداد کپسول در بوته (۰/۹۲)، بین عملکرد دانه در بوته و تعداد شاخه‌های فرعی بارور (۰/۷۲)،

## جدول ۳: نتایج جدول تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه

Table 3. The results of analysis of variance for the studied traits

| منابع تغییرات Sources of variations | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean squares | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن هزاردانه 1000- seed weight | تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant | تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule | عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant | ارتفاع بوته Plant height | تعداد انشعاب Number of branches | تعداد روز تا ۵۰٪ گل دهی Number of days to 50% flowering | تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity | شاخص برداشت Harvest index | تعداد شاخه های فرعی بارور Number of fertile branches |
| تکرار Block | 2 | 0.01 | 6.28 | 0.07 | 0.46 | 0.16 | 2.01 | 2.02 | 0.19 | 0.005* | 0.012 |
| تیمار Treatment | 11 | 0.13** | 5395.31** | 356.76** | 404.93** | 538.25** | 36.45** | 5.5** | 6.27** | 0.017** | 16.66** |
| خطا Error | 22 | 0.013 | 4.36 | 1.86 | 0.5624 | 1.34 | 0.64 | 0.72 | 1.19 | 0.0007 | 0.021 |
| ضریب تغییرات Coefficient of variation | | 3.73 | 1.76 | 2.56 | 3.55 | 0.91 | 10.82 | 1.99 | 1.03 | 8.51 | 3.61 |

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و معنی دار در سطح ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively

جدول ۴: مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ۱۲ ژنوتیپ کنجد مورد مطالعه

Table 4. The mean comparison of the measured traits for 12 Sesame varieties

| صفات Characteristics / ارقام Varieties | ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm) | تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule | تعداد روز تا ۵۰ درصد گل دهی Number of days to 50% flowering | تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity | تعداد شاخه های فرعی بارور Number of fertile branches | وزن هزاردانه (گرم) 1000- seed weight (gr) | تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant | عملکرد دانه در بوته (گرم) Seed yield per plant (gr) | شاخص برداشت Harvest index | تعداد انشعاب Number of branches |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رامهرمز Ramhormoz | 106.86$^{g}$ | 63.0$^{b}$ | 43.0$^{bc}$ | 104.0$^{b}$ | 3.75$^{f}$ | 3.27$^{abc}$ | 91.2$^{g}$ | 19.13$^{e}$ | 0.26$^{e}$ | 9.8$^{bc}$ |
| محلی دزفول Local Dezful | 114.43$^{f}$ | 56.61$^{d}$ | 42.0$^{cd}$ | 104.0$^{b}$ | 4.03$^{e}$ | 3.00$^{de}$ | 89.5$^{g}$ | 15.20$^{f}$ | 0.19$^{f}$ | 8.6$^{c}$ |
| آبادان Abadan | 133.2$^{d}$ | 68.46$^{a}$ | 42.0$^{cd}$ | 104.0$^{b}$ | 6.9$^{ab}$ | 3.36$^{ab}$ | 197.56$^{a}$ | 45.54$^{a}$ | 0.28$^{de}$ | 9.3$^{bc}$ |
| دشتستان ۲ Dashtestan 2 | 131.6$^{d}$ | 45.8$^{g}$ | 41.6$^{de}$ | 104.0$^{b}$ | 6.7$^{b}$ | 3.30$^{ab}$ | 89.8$^{g}$ | 13.65$^{g}$ | 0.46$^{a}$ | 11.9$^{a}$ |
| آب پخش Abphakhsh | 137.2$^{c}$ | 56.32$^{d}$ | 45.3$^{a}$ | 108.0$^{a}$ | 4.23$^{de}$ | 3.16$^{bcd}$ | 102.2$^{f}$ | 18.23$^{e}$ | 0.38$^{b}$ | 9.6$^{bc}$ |
| محلی برازجان Local Borazjan | 142.76$^{b}$ | 60.55$^{c}$ | 44.0$^{ab}$ | 106.0$^{ab}$ | 7.10$^{a}$ | 3.20$^{abcd}$ | 189.2$^{b}$ | 36.77$^{b}$ | 0.31$^{cde}$ | 10.5$^{b}$ |
| دشتستان ۵ Dashtestan 5 | 146.56$^{a}$ | 60.9$^{bc}$ | 41.00$^{d}$ | 106.0$^{ab}$ | 4.40$^{d}$ | 3.16$^{bcd}$ | 119.4$^{e}$ | 23.05$^{d}$ | 0.26$^{e}$ | 8.3$^{c}$ |
| اصفهان Isfahan | 133.56$^{d}$ | 34. 9$^{h}$ | 44.0$^{ab}$ | 106.0$^{ab}$ | 1.16$^{h}$ | 2.63$^{f}$ | 91.3$^{g}$ | 8.4$^{i}$ | 0.35$^{bc}$ | 3.06$^{de}$ |
| محلی بهبهان Local Behbahan | 125.23$^{e}$ | 56.59$^{d}$ | 41.03$^{d}$ | 104.0$^{b}$ | 6.4$^{c}$ | 3.40$^{a}$ | 162.13$^{c}$ | 31.53$^{c}$ | 0.43$^{a}$ | 9.13$^{bc}$ |
| اردکان یزد Ardakan Yazd | 125.0$^{e}$ | 50.6$^{f}$ | 43.0$^{bc}$ | 107.3$^{a}$ | 0.85$^{i}$ | 2.90$^{e}$ | 76.96$^{i}$ | 10.34$^{h}$ | 0.32$^{cd}$ | 2.8$^{de}$ |
| اراک Arak | 116.3$^{f}$ | 32.28$^{i}$ | 43.0$^{bc}$ | 105.0$^{b}$ | 1.53$^{g}$ | 3.06$^{cde}$ | 81.6$^{h}$ | 8.07$^{i}$ | 0.27$^{e}$ | 1.93$^{e}$ |
| SG5 | 105.4$^{g}$ | 53.6$^{e}$ | 41.3$^{d}$ | 104.0$^{b}$ | 1.6$^{g}$ | 3.2$^{abcd}$ | 130.2$^{d}$ | 23.96$^{d}$ | 0.31$^{cde}$ | 3.7$^{d}$ |

*: در هر ستون میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

*: In each column, the means with similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level

جدول۵: آمار توصیفی و پارامترهای ژنتیکی مربوط به صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ های کنجد

Table 5. Descriptive statistics and genetic parameters related to the studied traits in sesame genotypes

| صفت Trait | دامنه Range | بیشترین Maximum | کمترین Minimum | میانگین Average | ضریب تنوع ژنوتیپی (درصد) Genotypic variance (%) | ضریب تنوع فنوتیپی Phenotypic variance (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن هزاردانه (گرم) 1000- seed weight (gr) | 0.77 | 3.4 | 2.63 | 3.14 | 6.29 | 7.30 |
| تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant | 120.6 | 197.56 | 76.96 | 118.44 | 35.79 | 35.80 |
| تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule | 36.18 | 68.46 | 32.28 | 53.32 | 20.40 | 20.60 |
| عملکرد دانه در بوته (گرم) Seed yield per plant (gr) | 37.47 | 45.54 | 8.07 | 21.08 | 55.08 | 55.20 |
| ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm) | 41.16 | 146.56 | 105.4 | 126.43 | 7.27 | 10.40 |
| تعداد انشعاب ساقه اصلی Number of branches in main stem | 9.97 | 11.9 | 1.93 | 7.41 | 48.21 | 49.42 |
| تعداد روز تا ۵۰٪ گل دهی Number of days to 50% flowering | 4.33 | 45.33 | 41 | 42.61 | 2.96 | 3.60 |
| تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity | 4 | 108 | 104 | 105.19 | 1.24 | 1.60 |
| شاخص برداشت Harvest index | 0.27 | 0.46 | 0.19 | 0.32 | 23.03 | 24.50 |
| تعداد شاخه های فرعی بارور Number of fertile branches | 5.94 | 7.1 | 1.16 | 4.06 | 60.08 | 60.20 |

تعداد انشعاب ساقه اصلی و تعداد شاخه‌های فرعی بارور (۰/۸۷) و بین تعداد شاخه‌های فرعی بارور و تعداد کپسول در بوته (۰/۶۸) مشاهده شد (جدول ۶). بدیهی است با افزایش تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته عملکرد بیش‌تر می‌شود. همچنین با افزایش تعداد شاخه فرعی بارور، تعداد کپسول در بوته نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با گزارشی که صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول همبستگی بالایی با عملکرد نشان داده شد، مشابه است (Afzali Mohammadabadi *et al.*, 2009). در این آزمایش بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته همبستگی بالا و بسیار معنی‌داری (۰/۴۸) مشاهده شد. در مطالعه هشتاد لاین کنجد حاصل از سه جمعیت، همبستگی مثبت و قابل‌توجهی بین با عملکرد و وزن هزاردانه وجود داشت. به عبارت دیگر وزن هزار دانه، به عنوان یکی از

اجزای عملکرد، تاثیر مستقیم بر روی این صفت داشت (Mohamed & Bedawy, 2019).

برای کاهش ابعاد داده‌ها و تفسیر بهتر و آسان‌تر داده‌ها و تعیین عوامل پنهان موثر بر عملکرد، تجزیه به عامل‌ها با چرخش وریماکس انجام و سه عامل استخراج شد که واریانس هرکدام از دو عامل و واریانس نسبی تجمعی مجموع عامل‌ها در جدول ۷ آورده شدند. در این جدول میزان واریانس هر عامل (برحسب درصد) که اهمیت آن را در تفسیر تغییرات کلی داده‌ها نشان می‌دهد و میزان اشتراک صفت که نشان‌دهنده بخشی از واریانس آن صفت است که با عامل‌های مشترک ارتباط دارد ارائه شده است. سه عامل استخراجی که دارای مقادیر ویژه بالاتر از یک بودند درمجموع ۷۷ درصد از کل تنوع موجود بین داده‌ها را توجیه کردند. سهم هر عامل به‌ترتیب برابر ۴۷ ، ۱۹ و ۱۱ درصد بود. عامل اول دارای بار عاملی بزرگ و مثبت برای صفات شاخه‌های فرعی بارور، عملکرد دانه، تعداد انشعاب ساقه اصلی و وزن هزاردانه بود. عامل اول را می‌توان عامل پتانسیل عملکرد و صفات مورفولوژیک نام‌گذاری کرد. عامل دوم دارای بار عاملی بزرگ و مثبت برای تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی بود که می‌توان آن را عامل فنولوژیک نام‌گذاری کرد. عامل سوم تأکید بر ارتفاع و تعداد شاخه‌های بوته داشت. به طورکلی از نتایج حاصل می‌توان استنباط کرد که صفات مرتبط با عملکرد و فنولوژیک می‌توانند شاخص‌های مهمی برای ارزیابی و انتخاب ارقام کنجد باشند. با در نظر گرفتن همبستگی صفات مختلف با عملکرد و ویژگی هریک از عامل‌ها در برنامه اصلاحی جهت افزایش عملکرد دانه لازم است بالا بودن عامل اول و پایین بودن عامل دوم در نظر گرفته شود. بالا بودن همبستگی بین عملکرد با صفات وزن هزار دانه، تعداد کپسول، تعداد شاخه‌های فرعی بارور و نقش این صفات در عامل‌های اول نشان می‌دهد که لازم است برای افزایش عملکرد به آن‌ها توجه شود. در پژوهشی بر روی ۳۴۵ رقم کنجد، تحلیل عاملی تعداد ۹ متغیر مورد مطالعه را به سه عامل پنهان موثر بر عملکرد تبدیل کرد (Yol *et al*., 2010). عامل اول (۲۲/۷۳درصد) تأثیر بسیاری روی تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی داشت. عامل دوم (۱۸/۸۲درصد) به نسبت زیادی تحت تأثیر طول ساقه تا اولین کپسول و ارتفاع گیاه قرارگرفته بود. عامل سوم (۱۸/۷۳درصد) دارای بار عاملی بر روی تعداد کپسول هر گیاه، تعداد شاخه‌ها، عملکرد دانه و وزن هزار دانه بود. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت اجزای مؤثر بر عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. همچنین گزارش شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد کپسول در بوته وجود دارد که نشان‌دهنده اهمیت این جزء عملکرد در بهبود عملکرد است (Nizami *et al*., 2013) .

انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در ۱۲ ژنوتیپ مورد ارزیابی بر اساس صفات مورد مطالعه و ماتریس همبستگی صفات نشان داد که ۷۶ درصد از تغییرات کل توسط سه مؤلفه اصلی برآورد شدند . طبق جدول ۸، مؤلفه اول که ۴۳ درصد از کل تغییرات را تبیین نمود دارای

ضریب بالا برای عملکرد و اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه و نیز تعداد انشعاب ساقه بارور بود. این مؤلفه عامل عملکرد نامگذاری شد. مؤلفه دوم که حدود ۲۰ درصد از کل تغییرات را توجیه نمود دارای ضرایب بالای مثبت برای عوامل فنولوژی و ارتفاع گیاه بود. در نتیجه می‌توان گفت گزینش بر مبنای مؤلفه اول منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا خواهد شد و گزینش بر اساس مؤلفه دوم منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با ویژگی طول دوره رسیدگی می‌شود. در مطالعه تنوع ژنتیکی ۶۴ ژنوتیپ کنجد از تجزیه به مؤلفه های اصلی استفاده و مشخص شد چهار مؤلفه اول حدود ۷۶ درصد واریانس کل را توجیه کردند(Menzir, 2012) . تاکید مؤلفه اول بر عملکرد دانه بود. مؤلفه دوم بر صفات فنولوژیک و ارتفاع تاکید داشت. این دو مؤلفه بیش از ۵۰ درصد تنوع را توجیه کردند. تعداد ۵۵ ژنوتیپ کنجد را با استفاده از ۱۶ صفت مورفولوژیکی مطالعه و از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به عنوان رویکردی جهت ساده‌سازی تفسیر اطلاعات حاصل از داده‌های چند متغیره استفاده شد (Durg *et al*., 2022). بر این اساس شش مؤلفه استخراج شد. تاکید مهمترین مؤلفه‌ها (اول و دوم)، به ترتیب بر ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی و طول و عرض برگ و مؤلفه دوم بر وزن دانه در جهت مثبت و تعداد روز تا رسیدگی در جهت منفی بود. در بررسی صفات کمّی در تعدادی از لاین‌های پیشرفته کنجد، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی چهار مؤلفه مشخص شد که حدود ۷۶ درصد تغییرات را توجیه کرد (Ramezani & Mansouri, 2016). مؤلفه اول تعداد شاخه فرعی و وزن هزار دانه، مؤلفه دوم درصد سبز شدن و عملکرد بیشترین ضریب را دارا بودند. با توجه به متفاوت بودن ژنوتیپ‌های آزمایش‌های مختلف، نتایج بدست آمده دور از انتظار نیست. مقایسه نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه عاملی، تأکید بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و فنولوژیک در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر داشت. یکسان بودن نتایج هر دو روش، نشان دهنده قابل اعتماد بودن روش‌های تحلیل تنوع ژنتیکی در این آزمایش است (Sharifi *et al*., 2018).

به منظور تعیین قرابت بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها در ارتباط با صفات اندازه‌گیری شده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد[۶] استفاده و بر پایهٔ سه شاخص RMSSTD ، $T^2$کاذب وF کاذب چهارگروه متمایز از یکدیگر، تشخیص داده شد (شکل ۱). بر اساس شاخص RMSSTD ، یک شکستگی در محل خوشه چهارم، $T^2$ کاذب کاهش واضح در خوشه سوم وF کاذب یک پیک در محل خوشه چهارم مشاهده شد. لازم به‌ذکر است که در شاخص $T^2$ کاذب، چنانچه در مرحله K خوشه کاهش مشاهده شود، تعداد خوشه مناسب K+1 خواهد بود (Sharifi, 2020). به منظور تائید گروه‌بندی، علاوه بر نمودار درختی مرسوم، نمودار تجزیه خوشه‌ای قطبی هم ارائه شد (شکل ۱). بر این اساس، گروه اول شامل رقم محلی آبادان و برازجان بودند. لاین SG5 و توده محلی

۶Ward

بهبهان گروه دوم را تشکیل دادند. ژنوتیپ‌های دشتستان۲، اراک، اردکان یزد، اصفهان، دزفول، رامهرمز در گروه سوم واقع شدند. در گروه چهارم نیز ارقام محلی آب‌پخش و دشتستان ۵ قرار گرفتند. از آن‌جا که ژنوتیپ‌های موجود در هر یک از خوشه‌ها دارای قرابت ژنتیکی بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های موجود در سایر خوشه‌ها هستند بنابراین در صورت نیاز به دورگ‌گیری می‌توان با توجه به ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های مختلف برای بهره‌گیری از پدیده‌های هتروزیس و تفکیک متجاوز استفاده کرد. نتایج تجزیه خوشه‌ای ارتباطی بین توزیع جغرافیایی و ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نشان نداد. خوشه‌بندی متفاوت ارقام محلی از مبدا یکسان ممکن است به‌دلیل سازگاری افتراقی برای اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی باشد (Senapati & Sarkar, 2005). در مطالعه‌ای، ژنوتیپ‌های وارداتی کنجد، با استفاده از تجزیه خوشه‌ای در پنج گروه طبقه‌بندی و بین توزیع جغرافیایی و ژنتیکی ارتباطی پیدا نشد (Masoudi & Ahmadi, 2019). در مطالعه تنوع ژنتیکی ۸۱ ژنوتیپ کنجد در اتیوپی نیز همین نتیجه بدست آمد. عملکرد دانه، شاخص برداشت، زیست توده گیاه و تعداد کپسول در بوته بیشترین سهم را در بروز تنوع داشتند (Abate *et al*., 2015). معمولاً پیشنهاد می‌شود در چنین مواردی تعیین فاصله‌های ژنتیکی با نشانگرهای مولکولی هم انجام شود. نتایج مشابهی در مطالعه ۲۰۵ ژنوتیپ کنجد با استفاده از صفات مورفولوژیک بدست آمد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در ۱۳ خوشه، فقط بر اساس صفات مورد مطالعه انجام شد (Iqbal *et al*., 2018). بنابراین انزوای جغرافیایی تنها عامل ایجاد تنوع ژنتیکی در کنجد نیست، بلکه نیروهایی مانند رانش ژنتیکی، انتخاب طبیعی و مصنوعی، تبادل مواد اصلاحی ممکن است نقش مهمی در تثبیت تنوع بین لاین‌های ژرم‌پلاسم داشته باشد. همچنین نتایج مشابهی با بررسی ۱۰۵ ژنوتیپ کنجد به دست آمد (Akbar *et al*., 2011). جدول ۹ مقایسه میانگین صفات مختلف در گروه های حاصل از تجزیه خوشه‌ای را نشان می‌دهد. میانگین صفات مرتبط با عملکرد و نیز تعداد کپسول در بوته در گروه اول بیشترین و در گروه سوم کمترین مقدار را دارا بود. از نظر ارتفاع بوته نیز گروه‌های دوم و سوم کمترین مقدار را دارا بودند. صفاتی که بیشترین تاکید بر ویژگی‌های هر خوشه دارند، می‌توانند جهت تصمیم‌گیری برای انتخاب والدین جهت دورگ‌گیری در مطالعات بعدی انتخاب شوند (Tesfaye *et al*., 2021).

## جدول ۶: همبستگی بین عملکرد و صفات موردمطالعه بین ژنوتیپ‌های کنجد

Table 6. Correlation coefficients between yield and other traits in sesame genotypes

| صفات Characteristics | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | $0.07^{ns}$ | 1 | | | | | | | | |
| 3 | $-0.17^{ns}$ | $0.63^{**}$ | 1 | | | | | | | |
| 4 | $-0.14^{ns}$ | $0.92^{**}$ | $0.59^{**}$ | 1 | | | | | | |
| 5 | $0.17^{ns}$ | $0.38^{*}$ | $0.14^{ns}$ | 0.35* | 1 | | | | | |
| 6 | $-0.11^{ns}$ | $0.50^{**}$ | $0.63^{**}$ | $0.38^{*}$ | $0.33^{*}$ | 1 | | | | |
| 7 | $-0.17^{ns}$ | $0.72^{**}$ | $0.58^{**}$ | $0.68^{**}$ | $0.45^{**}$ | $0.87^{**}$ | 1 | | | |
| 8 | $-0.35^{*}$ | $0.49^{**}$ | $0.55^{**}$ | $0.50^{**}$ | $-0.00^{ns}$ | $0.57^{**}$ | $0.68^{**}$ | 1 | | |
| 9 | $0.11^{ns}$ | $0.06^{ns}$ | $-0.21^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $0.26^{ns}$ | $0.19^{ns}$ | $0.26^{ns}$ | $0.20^{ns}$ | 1 | |
| 10 | $0.66^{**}$ | $-0.07^{ns}$ | $-0.13^{ns}$ | $-0.18^{ns}$ | $0.44^{**}$ | $-0.19^{ns}$ | $-0.26^{ns}$ | $-0.35^{*}$ | $0.12^{ns}$ | **1** |

ns ، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و معنی دار در سطح ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

۱. تعداد روز تا ۵۰٪ گل دهی، ۲. عملکرد دانه در بوته، ۳. تعداد دانه در کپسول، ۴. تعداد کپسول در بوته، ۵. ارتفاع بوته، ۶. تعداد انشعاب ساقه اصلی، ۷. تعداد شاخه های فرعی بارور، ۸. وزن هزاردانه، ۹. شاخص برداشت، ۱۰. تعداد روز تا رسیدگی

1. Number of days to 50% flowering, 2. Seed yield per plant (gr), 3. Number of seeds per capsule, 4. Number of capsules per plant, 5. Plant height, 6. Number of branches, 7. Number of fertile branches, 8. 1000- seed weight, 9. Harvest index, 10. Number of days to maturity

جدول **۷**: تجزیه به عامل ها بر اساس مؤل فه های اصلی با استفاده از چرخش وریماکس

Table 7. Factor analysis by principle components using varimax rotation

| صفات<br>Characteristics | میزان اشتراک<br>Communality | عامل اول<br>First factor | عامل دوم<br>Second factor | عامل سوم<br>Third factor |
|---|---|---|---|---|
| تعداد روز تا پنجاه درصد گل دهی<br>Number of days to 50% flowering | 0.97 | -0.21 | 0.96 | -0.15 |
| عملکرد دانه در بوته (گرم)<br>Seed yield per plant (gr) | 0.73 | 0.84 | 0.14 | -0.20 |
| تعداد دانه در کپسول<br>Number of seeds per capsule | 0.40 | 0.63 | 0.07 | -0.35 |
| تعداد کپسول در بوته<br>Number of capsules per plant | 0.50 | 0.70 | 0.09 | -0.14 |
| ارتفاع بوته (سانتیمتر)<br>Plant height (cm) | 0.29 | 0.53 | -0.03 | 0.50 |
| تعداد انشعاب ساقه اصلی<br>Number of branches in main stem | 0.64 | 0.80 | -0.02 | 0.37 |
| تعداد شاخه های فرعی بارور<br>Number of fertile branches | 0.77 | 0.88 | -0.02 | 0.40 |
| وزن هزار دانه (گرم)<br>1000- seed weight (gr) | 0.54 | 0.72 | 0.15 | 0.25 |
| شاخص برداشت<br>Harvest index | 0.80 | 0.88 | 0.17 | 0.15 |
| تعداد روز تا رسیدگی<br>Number of days to maturity | 0.96 | -0.24 | 0.95 | 0.05 |
| مقادیر ویژه<br>Eigenvalues | - | 4.63 | 1.99 | 1.01 |
| درصد واریانس<br>Variance explained (%) | - | 47 | 19 | 11 |
| درصد واریانس تجمعی<br>Cumulative variance (%) | - | 47 | 66 | 77 |

جدول۸: نتایج تجزیه به مؤلفه های اصلی

Table 8. Results of principal components analysis

| مولفه‌های اصلی Principal components | مقادیر ویژه Eigenvalues | مقادیر تجمعی Cumulative values | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.39 | 0.43 | -0.12 | 0.93 | 0.62 | 0.99 | 0.38 | 0.42 | 0.70 | 0.51 | 0.04 | -0.15 |
| 2 | 2.08 | 0.64 | 0.27 | 0.02 | -0.15 | 0.03 | 0.91 | 0.16 | 0.19 | -0.23 | 0.29 | 0.55 |
| 3 | 1.20 | 0.76 | -0.00 | -0.12 | 0.75 | -0.04 | 0.55 | 0.58 | 0.28 | 0.29 | -0.20 | 0.06 |

(X1) تعداد روز تا پنجاه درصد گل دهی Number of days to 50% flowering، (X2) عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant ، (X3) تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule، (X4) تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant، (X5) ارتفاع بوته Plant height ، (X6) تعداد انشعاب Number of branches، (X7) تعداد شاخه های فرعی بارور Number of fertile branches، (X8) وزن هزاردانه 1000- seed weight، (X9) شاخص برداشت Harvest index، (X10) تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity

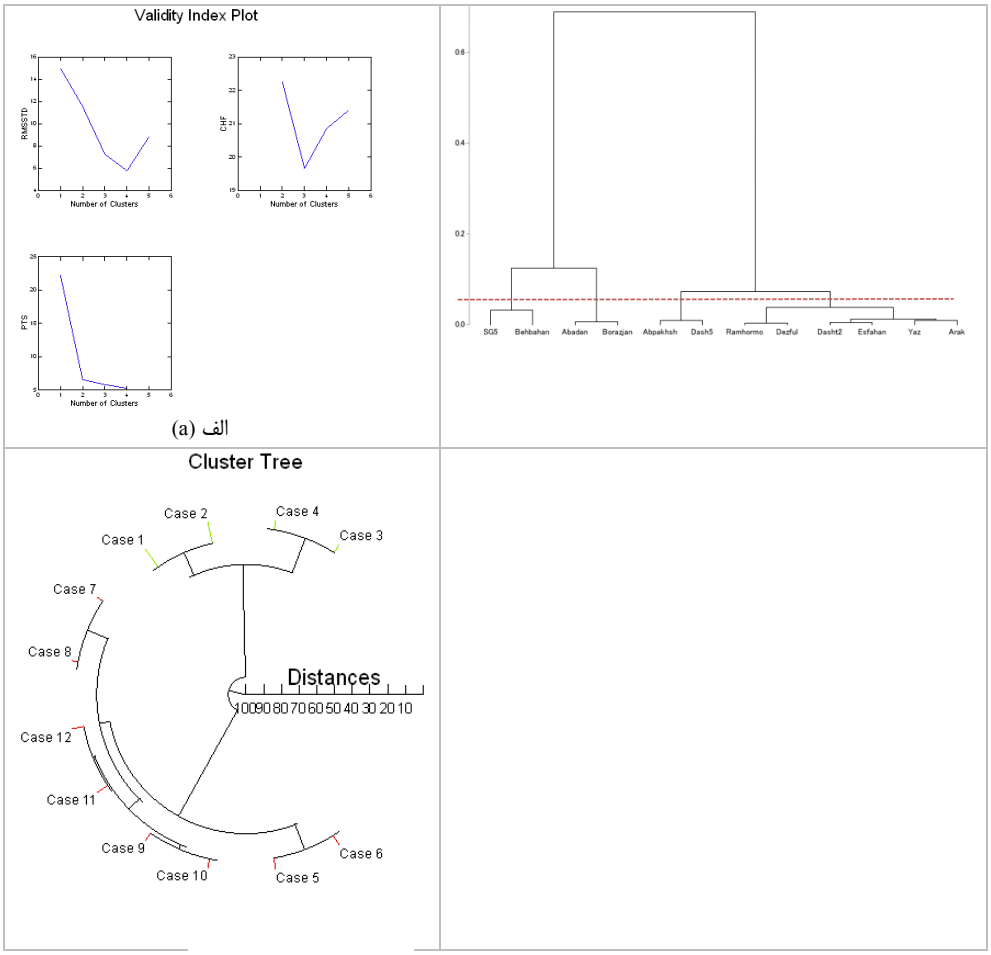
جدول ۹: میانگین صفات در گروه های مختلف تجزیه خوشه‌ای

Table 9. Mean values of traits for different cluster groups

| گروه | تعداد روز تا پنجاه درصد گل‌دهی Number of days to 50% flowering | عملکرد دانه در بوته (گرم) Seed yield per plant (gr) | تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule | تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant | ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm) | تعداد انشعاب Number of branches | تعداد شاخه‌های فرعی بارور Number of fertile branches | وزن هزاردانه (گرم) 1000- seed weight (gr) | شاخص برداشت Harvest index | تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 43.00[a] | 41.15[a] | 64.51[a] | 193.38[a] | 137.98[a] | 9.91[a] | 7[a] | 3.28[a] | 0.29[a] | 105[ab] |
| 2 | 41.16[a] | 26.75[b] | 55.09[a] | 146.16[b] | 115.31[b] | 6.41[a] | 4[a] | 3.3[a] | 0.37[a] | 104[b] |
| 3 | 42.77[a] | 12.64[c] | 47.22[a] | 86.75[d] | 121.12[ab] | 6.37[a] | 3.0[a] | 3.03[a] | 0.31[a] | 105[ab] |
| 4 | 43.165[a] | 19.65[bc] | 58.65[a] | 110.87[c] | 141.88[a] | 8.98[a] | 4.31[a] | 3.17[a] | 0.32[a] | 107[a] |

*: در هر ستون میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری باهم ندارند

*: In each column, means with similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level




الف (a)

شکل **۱:** دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ های کنجد بر اساس صفات مورد مطالعه

Figure 1. Dendrogram obtained from cluster analysis of sesame genotypes based on the studied traits

## نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تمامی صفات با یکدیگر اختلاف داشتند. نتایج حاصل از بررسی تحلیل عاملی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نشانگر اهمیت صفات اجزای عملکرد و فنولوژی در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب در کنجد بود. با در نظر گرفتن همبستگی صفات مختلف با عملکرد و ویژگی هریک از عامل‌ها در برنامه اصلاحی جهت افزایش عملکرد دانه لازم است ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و زودرس انتخاب شوند. با توجه به نتایج حاصل، رقم محلی برازجان با دارا بودن عملکرد بالا و تعداد شاخه فرعی بارور زیاد در شرایط مشابه بهترین گزینه برای کشت می‌باشد. از صفات ذکر شده می‌توان به عنوان شاخص برای انتخاب استفاده کرد. برای تعیین مؤلفه‌های موثر بر عملکرد دانه از طریق گزینش غیرمستقیم از روش‌های تحلیل عاملی استفاده شد. با در نظر گرفتن همبستگی صفات مختلف با عملکرد و ویژگی هریک از عامل‌ها در برنامه اصلاحی، گزینش بر مبنای عامل عملکرد منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌شود. کاهش عامل دوم، موجب انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس می‌شود.

**References:**

Abate, M., Mekbib, F., Ayana, A., and Nigussie, M. 2015. Genetic variability and association of traits in mid-altitude sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm of Ethiopia. *American Journal of Experimental Agriculture*, *9*(3), pp.1-14.

Afroozi, S., Esfandyaripoor, E., Hatami, F., Ebadzadeh, H., Taghani, R., and Ahmadi, K. 2021. Agricultural statistics. Ministry of Agriculture Jihad. 92 pp. (In Persian with English summary).

Akbar, F., Rabbani, M. A., Shinwari, Z. K., and 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.

Afzali Mohammadabadi, M., Rezaei, A. A., Saidi, Q. A., and Naseh Ghafouri, A. 2009. Evaluation of performance and its components in sesame cultivars. Iranian First National Oilseeds Conference, 105-107. (In Persian with English summary).

Allen, R.G., Pereira, .S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, *300*(9), p.D05109.

Baraki, F., Tsehaye, Y., and Abay, F. 2015. Grain yield based cluster analysis and correlation of agronomic traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 5 (9), 2244-3186.

Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M., Gebremedhin, Z., Abadi, A., Negash, W., Atsbeha, A., and Araya, G. 2020. Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, *6*(10).

De Sousa Araújo, E., Arriel, N.H.C., dos Santos, R.C., and de Lima, L.M. 2019. Assessment of genetic variability in sesame accessions using SSR markers and morpho-agronomic traits. *Australian Journal of Crop Science*, *13*(1), pp.45-54.

Durge, B.D., Geethanjali, S., and 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), pp.974-982.

Gadri, Y., Williams, L.E., and Peleg, Z. 2020. Tradeoffs between yield components promote crop stability in sesame. *Plant Science*, *295*, p.110105.

Gitti, F., Maleki, A., and power, G. 2013. The possibility of compatibility of sesame cultivars and their performance comparison in North Khuzestan. National Conference of Applied Researches in Agricultural Sciences, 7-1. (In Persian with English summary).

Jahanfar, V., Mostafavi, K.H., and Bi-Hamta, M. R. 2014. Studying the relationship between yield and yield components in sesame using decomposition into factors. The first national conference on passive defense in the fields of agriculture, natural resources and environment with a sustainable development approach, Tehran, Center for Sustainable Development Solutions, 4 pages**.** (In Persian with English summary).

IBPGR. 1981. DESCRIPTORS for SESAME. IBPGR Secretariat. Rome.

Ibrahim, A. R., Adamou, M., Moussa, D., and Moussa, B. 2015. Dissecting genotype by environment interactions in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes form Niger. International *Journal of Agriculture*, *Forestry and Fisheries*, 3 (5), 202-205.

Iqbal, A., Pati, P.K., Akhtar, R., Begum, T., and Dasgupta, T. 2018. Diversity in sesame accessions. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 11(5), pp.725-731.

Javadi, S.S., Valizadeh, M., Imani, A., and Gharib Eshghi, A. 2013. Evaluation of relationship between grain yield and yield components in sesame genotypes. *International Journal of Farming and Allied Science*, 2 (16), 549-552.

Khairnar, S. S., and 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.

Lzak, B., and .Caligari, P. 2013. Selection Methods in Plant Breeding. Springer

Netherlands. 347 pp.

Miao, H., Langham, D.R., and Zhang, H. 2021. Botanical Descriptions of Sesame. *The Sesame Genome*, pp.19-57.

Mam, C.E., Ngonkeu, E.L.M., Toukam, G.M.S., Mongoue, A.F., Tekeu, H., Tsimi, P.M., Boyomo, B., Damdjo, A.T., Kamko, J.D., Arlette, F.O.K.O., and Chamedjeu, R.R. 2022. Factor analysis of morphological characters in wheat (*Triticum aestivum* L.) lines evaluated in low altitude conditions of the bimodal humid forest zone of Cameroon. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *14*(3), pp.47-58.

Menzir, A. 2012. Phenotypic variability, divergence analysis and heritability of characters in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Nature and Science*, *10*(10), 117-126.

Mohamed, N.E., and Bedawy, I.M.A., 2019. Comparative and multivariate analysis of genetic diversity of three sesame populations based on phenotypic traits. *Egyptian Journal of Plant Breeding*, *23*(2), pp.369-386.

Masoudi, B., and Ahmadi, M. 2019. Evaluation of genetic diversity of agronomic and morphological traits of sesame genotypes. *Journal of Crop Breeding*. 11 (31), 78-91.

Mostafavi, M., Nasiri Mahalati, M., and Kochaki, A. 2017. Regression analysis and path analysis of relationships between seed yield and the most important components of sesame yield. Two Quarterly *Journal of Plant Production Technology* 10 (2), 156-145

Naghdipour, A., Khodarahmi, M., Porshahbazi, A., and Ismailzadeh, M. 2018. Decomposition into factors for grain yield and other characteristics of durum wheat. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 7(1), 84-96.

Nasiri, F., and Saidi, Q. 2013. Evaluation of genetic diversity in breeding lines obtained from local sesame stands (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Agricultural Research Journal*, 10 (4), 659-666.

Nizami, A., Fazli Kakhki, F., Zarkani, H., Shabahang, J., and Gandamzadeh, M. 2013. Preliminary investigation of the yield and yield components of some ecotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.) common in Khorasan province.

*Iranian Agricultural Research Journal*, 12 (2), 189-195.

Patil, M.K., and Lokesha, R. 2018. Estimation of genetic variability, heritability, genetic advance, correlations and path analysis in advanced mutant breeding lines of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Natural Products* , *4*, pp.1-5.

Ram, J. 2005. Genetic resource, chromosome engineering and crop improvement. Taylor and Francis Publication, 231 pp.

Ramezani, S. H., and Mansouri, S. 2016. Investigating relationships between quantitative traits in advanced sesame lines. *Journal of Crop breeding*, 9 (23), 58-66. (In Persian with English summary).

SAS Institute. 2010. Base SAS 9.2. Procedures Guide. Statistical Procedures, 3 Edition SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

Senapati, B.K., and Sarkar, G., 2005. Genetic divergence in tall indica rice (*Oryza sativa* L.) under rainfed saline soil of Sundarban. *Oryza*, *42*(1), pp.70-72.

Sharifi, P. 2020. Application of Multivariate Analysis Methods in Agricultural Sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University Press, Rasht, IR (In Persian).

Sharifi, P., Astereki, H., and Pouresmael, M. 2018. Evaluation of variations in chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield and yield components by multivariate technique. *Annals of Agrarian Science*, *16*(2), pp.136-142.

Shapiro, S.S., and Milk, M.B. 1965. An Analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometry*, 52:591-611.

Singh, D.P., and Singh, A. 2021. Plant Breeding and Cultivar Development. Elsevier Science. 662 pp.

Singh, T.P., Raiger, H.L. Kumari Singh, J., and Deshmukh, P.S. 2014. Evaluation of Chickpea genotypes for variability in seed protein content and yield components under restricted soil moisture condition. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19: 273-280.

Systat. 2014. Systat 13 Statistical Software. University of Illinois Press, Chicago, USA

Statistical Yearbook of the Ministry of Agriculture for the Iranian year 1400 (2021-2022). 95 pp

Tesfaye, T., Tesfaye, K., Keneni, G., and Alemu, T. 2021. Morphological characteristics and genetic diversity of Ethiopian sesame genotypes. *African Crop Science Journal*, *29*(1), pp.59-76.

Tripathi, A., Bisen, R., Ahirwal, R. P., Paroha, S., Sahu, R., and Ranganatha, A.R. 2014. Study on genetic in sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm based on morphological and quality traits. The Bioscan, 8(4), 1387–1391. Retrieved from www.thebioscan.in/Journal Supplement/84Sup08 R BISEN_2467.

Yol, E., Karaman, E., Furat, S., and 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.

Zarghani, H., Mohammadian, M., Rizvani-Moghadam, P., and Yang, A. 2013. Evaluation of yield and yield components in mixtures of three types of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Iranian Agricultural Research*, 11 (2), 268-274.

# Evaluation of Relationship Between Yield and Agronomic Traits in Some Sesame Genotypes Using Factor Analysis

Zeynab Shabani,Z[1], Hamidreza Nooryazdan, [2*], Sasan Rastgoo[2]

1. Former MSc studentr of the Faculty of Agricultural Engineering, Persian Gulf University, Respectively
2. assistants professor of the Faculty of Agricultural Engineering, Persian Gulf University, Respectively (Corresponding author)

Received: January 2023 Accepted: September 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.361085.1630

## Extended Abstract

Shabani,Z., Nooryazdan, H., Rastgoo.S, Evaluation of Relationship Between Yield and Agronomic Traits in Some Sesame Genotypes Using Factor Analysis.
**Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 3, 2022 14-16:** 88-109(in Persian)

**Introduction:**

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an annual oil crop that belongs to the Pedaliaceae family. It is widely cultivated in tropical regions and has high resistance to drought stress (Tripathi *et al*., 2014). Sesame is grown in Iran on an area of about 38,000 hectares with an average yield of 710 kg per hectare (Statistical Yearbook, 2021-2022). Understanding the relationship between crop traits and yield is crucial for agronomic research. Selecting the desired cultivars and determining the causal and effect relationships between traits can help the breeder to select the most suitable plant traits to increase yield (Singh & Singh, 2021).

**Materials &Methods:**

In this experiment, 12 sesame genotypes including commercial, local cultivars and lines were evaluated. The experiment was conducted in the research farm of the Faculty of Agriculture of Persian Gulf University, Bushehr, located eight kilometers southeast of Barazjan city. The agricultural climate of the region is very

**Email address of the corresponding author:** Email:hrnooryazdan@pgu.ac.ir

hot, dry and has long summers. The experiment was carried out in a randomized block design with three replications. Principal Components Analysis and Factors Analysis were used to reduce the data dimensions and to facilitate and improve the interpretation of data and identification of hidden factors affecting yield.

**Results:**

All studied traits were statistically different. The highest values of 1000 seed weight belonged to Behbahan (3.4 gr), Abadan (3.36 gr) and Dashtestan 2 (3.3 gr) landraces. The highest number of seeds per capsule, plant height, number of branches and number of fertile branches were observed in Abadan, Dashtestan 5, Dashtestan 2 and (Barazjan and Abadan) genotypes, respectively. Abpakhsh, Ardakan Yazd, Barazjan and Dashtestan 5 landraces had longer days to maturity than the others. This trait had high heritability and low genetic advances. Factor Analysis with varimax rotation was performed to reduce the data dimensions, improve and simplify their interpretation and identify the hidden factors. Three factors were extracted. Based on the amount of influential traits in each factor, the first, and second factors were named yield potential and morphological-phenological factors, respectively. In general, it can be concluded from the results that the yield and phonological traits can be important indicators for evaluation and selection of sesame cultivars. According to the Principal Components Analysis and based on the correlation matrix ,76% of the total variations were estimated by three main components. Therefore, it can be said that the selection based on the first component will lead to the genotypes with high yield, and the selection based on the second component will lead to the genotypes with late maturity characteristics. In order to determine the grouping of genotypes, cluster analysis was used and based on the three indices RMSSTD, False $T^2$ and False F, four distinct groups were recognized. The results of cluster analysis did not show any relationship between the geographic and genetic distribution of genotypes.

**Conclusion:**

The results showed that the studied genotypes were different. Because selection of genotypes with high yield is considered important in plant breeding programs, genetic parameters were calculated. To increase grain yield in each breeding

program, it is necessary to select genotypes that have high yield and early maturity, considering the correlation coefficient of different traits between yield and other characteristics of each factor. According to the results, Borazjan land variety is the best genotype for cultivation in similar conditions, as it had the highest yield and the number of fertile branches. Factor analysis methods were used to identify the components that affect seed yield through indirect selection. Based on the correlation among different traits and characteristics of each factor, selection based on the first factor would lead to choosing genotypes with high yield. Reducing the second factor would result in selecting early-maturity genotypes. The results of factor analysis indicated the importance of yield and phenology traits in the selection of desirable genotypes in sesame.

**Keywords:** Cluster Analysis, Phenotypic Variation, Sesame

**References:**

Singh, D.P., and Singh, A. 2021. Plant Breeding and Cultivar Development. Elsevier Science. 662 pp.

Statistical Yearbook of the Ministry of Agriculture for the Iranian year 1400 (2021-2022). 95 pp

Tripathi, A., Bisen, R., Ahirwal, R. P., Paroha, S., Sahu, R., and Ranganatha, A.R. 2014. Study on genetic in sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm based on morphological and quality traits. The Bioscan, 8(4), 1387–1391. Retrieved from www.thebioscan.in/Journal Supplement/84Sup08 R BISEN_2467.