ارزیابی تنوع ژنتیکی صفات فنولوژی و اجزای عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.)، در منطقه دشتستان با روش‌های آماری چندمتغیره

داود کیانی[1،*]، غلامرضا قدرتی[2] و سعدالله منصوری[3]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر

۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول

۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶)

چکیده

کنجد به‌دلیل مقاومت بالا به خشکی گیاهی مطلوب برای شرایط محیطی نامناسب است. آزمایش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط آب و هوایی مختلف نقش اساسی در انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها قبل از آزادسازی تجاری یک رقم و شناسایی صفات گیاهی دارد که باید در طول آزمایش‌های به‌نژادی برای آن محیط مورد پایش قرار گیرند. در مطالعه حاضر ۱۰ لاین امیدبخش حاصل از آزمایش‌های مقدماتی عملکرد به همراه ٦ رقم محلی از مناطق گرم، جهت ارزیابی سازگاری به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در اقلیم دشتستان در استان بوشهر بررسی شدند. در طول فصل رشد صفات فنولوژی، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس مرکب اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های مختلف برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه فرعی، ارتفاع اولین کپسول، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در گیاه، طول کپسول، طول ناحیه کپسول دهنده، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه نشان داد. بر اساس مقایسه میانگین صفات و تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ (Local Dashtestan)، ۲ (SES97-103)، ۷ (SES97-110) و ۱۵ (Local Jiroft) با عملکرد بالاتر شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۵ (SES97-105) و ١٤ (SES97-124) با ۱۰٤/۵ روز و ژنوتیپ شماره ٤ (Local Darab1) با ۱۱۱ روز کمترین و بیشترین تعداد روز تا رسیدگی را نشان دادند. صفت ارتفاع اولین کپسول بیشترین همبستگی فنوتیپی (۰/۵٦) و ژنتیکی (۰/۷۸) مثبت و معنی‌دار را با عملکرد نشان داد. صفات روز تا انتهای گل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی ژنتیکی منفی را با عملکرد نشان دادند. تجزیه خوشه‌ای، ١٦ ژنوتیپ کنجد را به چهار گروه مجزا از هم تفکیک کرد. بر اساس تجزیه رگرسیون صفت ارتفاع اولین کپسول به‌عنوان حساس‌ترین صفت در پیش‌بینی عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد در اقلیم دشتستان شناسایی شد که به نظر می‌رسد در طول برنامه‌های به‌نژادی باید مدنظر به‌نژادگران قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، دانه‌های روغنی، عملکرد دانه، لاین امیدبخش

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: **d.kiani@areeo.ac.ir**

مقدمه

محصولات دانه‌روغنی نقش مهمی در کشاورزی و اقتصاد صنعتی ایفا می‌کنند. کنجد (*Sesamum indicum L.*) گیاهی یک‌ساله، متعلق به خانواده Pedelaceae و از محصولات مهم دانه روغنی است که به‌دلیل ارزش غذایی و درمانی بالایی که دارد به‌طور گسترده در مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدل جنوبی کشت می‌شود (Bhalodiya *et al.*, 2019). کنجد حاوی ٤١/٣ تا ٦٢/٧ درصد روغن (Uzun *et al.*, 2008) ٨ تا ٢٥ درصد پروتئین (Borchani *et al.*, 2010) و ٢٠ تا ٢٥ درصد کربوهیدرات است (Baraki *et al.*, 2020). ایران با توجه به شرایط اقلیمی از مراکز مهم تنوع برای کنجد به‌شمار رفته (Clegg, 1997) و همچنین دارای رتبه ٢٦ از نظر تولید این محصول در جهان می‌باشد (FAO, 2019). امروزه مصرف‌کنندگان بیشتر محصولات با ارزش غذایی بالا را ترجیح می‌دهند. در نتیجه، تقاضای برای دانه کنجد بیشتر است، زیرا دارای چندین ویژگی تغذیه‌ای مهم مانند غنای بالای ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبر، چربی سالم و پروتئین است (Myint *et al.*, 2020).

عوامل ژنتیکی و محیطی بر عملکرد و ترکیبات اسیدهای چرب کنجد تأثیر می‌گذارند (Fischer and Edmeades, 2010). ارزیابی میزان سازگاری و پایداری تولید ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی دارای اهمیت است. به‌دلیل واکنش مختلف ژنوتیپ‌های یک گیاه نسبت به تغییرات محیطی، عملکرد آن‌ها از محیطی به محیط دیگر نوسان دارد. به‌طور معمول هر ژنوتیپ در یک محیط خاص حداکثر پتانسیل تولید محصول را دارد، اما با ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌توان ژنوتیپی را شناسایی کرد که در یک محیط از عملکرد قابل قبولی برخوردار باشد؛ بنابراین، یکی از اهداف اصلی اصلاح‌نباتات، بهبود ژنتیکی و توسعه رقم متناسب با اقلیم است (Diepenbrock, 2000). ارزیابی و انتخاب ژرم‌پلاسم کنجد برای ارقام پرمحصول بر اساس تخمین وراثت ژنتیکی صفات مربوط به عملکرد شامل تعداد بیشتر کپسول، شاخه فرعی بیشتر، زیست‌توده گیاه و غیره است. به‌منظور افزایش تنوع، دورگ‌گیری بین ژرم‌پلاسم‌های موجود انجام و انتخاب از بین آن‌ها صورت می‌گیرد. شناسایی لاین‌های پر محصول از طریق دورگ‌گیری، تولید لاین‌های خالص و سپس ارزیابی مقدماتی و سازگاری، از برنامه‌های مهم در به‌نژادی و تولید ارقام جدید کنجد است (Myint *et al.*, 2020).

در بررسی پایداری و سازگاری گیاهان، روش‌های آماری مختلفی وجود دارد که این روش‌ها را می‌توان به دو دسته چندمتغیره و تک‌متغیره دسته‌بندی کرد (Delic *et al.*, 2009). کروسا (Crossa, 1990)، بیان کرد که تحلیل خوشه‌ای یک فن آرایش عددی است که گروهی از افراد و طبقه‌بندی سلسله مراتبی را توضیح می‌دهد و برای دسته‌بندی افراد به گروه‌ها مجزا با هدف مورد مطالعه مهم است. جینژیونگ و همکاران (Jinxiong *et al.*, 1995)، ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2008)، باراکی و همکاران (Baraki *et al.*, 2015) و زینل‌زاده تبریزی و همکارن (Zeinalzadeh-Tarizai *et al.*, 2021)، از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در کنجد برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های بر اساس ویژگی‌های زراعی آن‌ها استفاده کردند و این نویسندگان به محققان پیشنهاد کردند که PCA را برای کاهش کارآمد صفات چندگانه از محیط‌های مختلف به کار ببرند.

یکی از اهداف اصلی به‌نژادی محصولات، بهبود ژنتیکی و توسعه ارقام سازگار با اقلیم است (Fischer and Edmeades, 2010). دست‌کاری صفات فنولوژی مانند تعداد روز تا گلدهی می‌تواند ما را به دستیابی به ارقام سازگار در محیط‌های مختلف هدایت کند (Diepenbrock, 2000). در یک مطالعه تعداد ١٤ ژنوتیپ کنجد اختلاف معنی‌داری را برای عملکرد و اجزای عملکرد نشان دادند و نتیجه‌گیری شد که عملکرد دانه در کنجد یک ویژگی خاص است که به‌شدت تحت تأثیر اجزاء آن قرار می‌گیرد، از این‌رو آگاهی از نقش و تأثیر این اجزاء در عملکرد و درک شناخت روابط بین آن‌ها برای به‌گزینی ضروری است (Nezami *et al.*, 2014). در گزارشی ارتفاع بوته، تعداد

کپسول در بوته و عملکرد دانه بیشترین وراثت‌پذیری را در کنجد نشان دادند، بنابراین انتخاب بر اساس این صفات امکان دست‌یابی به لاین‌های پر محصول را فراهم می‌آورد (Mansouri and Ahmadi, 1998). در پژوهشی همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و تعداد شاخه جانبی مشاهده شد (Tahmasebi *et al.*, 2022). براساس مطالعه‌ای تنوع ژنتیکی برای اجزای عملکرد در لاین‌های مختلف کنجد عملکرد دانه در واحد سطح بین ۱۲۹۷ تا ۳۲۳۹ کیلوگرم در هکتار، محتوی روغن دانه بین ۳۹/۳۵ تا ۵۷/۱۹ درصد، ارتفاع بوته بین ۱۱۶۷۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، تعداد کپسول در بوته بین ٦٤ تا ۱۲۹ عدد و تعداد روز تا رسیدگی بین ۱۳۹ تا ۱۷۲/۷ روز متغیر بود (Salehi and Saeidi, 2011). استان بوشهر رتبه پنجم سطح زیر کشت کنجد در کشور را دارد و همچنین با تولید ۲٤۰۰ تن رتبه پنجم میزان تولید کنجد در کشور را دارا است. برای معرفی ارقام جدید، لاین‌های مختلف باید در محیط‌های مختلف ارزیابی شوند و ژنوتیپ‌های برتر و صفات برتر در هر منطقه برای افزایش عملکرد شناسایی گردد. هدف از مطالعه حاضر بررسی و مقایسه تعداد ١٦ ژنوتیپ گیاه کنجد در دو سال زراعی از نظر خصوصیات عملکرد دانه و اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی در منطقه دشتستان استان بوشهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش: ایـــن پـــژوهش در ایستگاه تحقیقـــاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر واقع در برازجان با ارتفاع ۱۱۰ متـر از سطح دریا با مختصات طول جغرافیـایی ۵۱ درجـه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض ۲۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجـرا گردید. کشت ژنوتیپ‌ها در ۱۵ تیرماه هر سال انجام شد.

مواد گیاهی آزمایشی و روش اجرا: در مطالعه حاضر ۱۰ لاین امیدبخش حاصل از آزمایش‌های مقدماتی عملکرد به‌همراه ٦ رقم محلی از مناطق گرم (جدول ۱)، جهت ارزیابی سازگاری به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی در اقلیم دشتستان در استان بوشهر بررسی شدند. آرایش کاشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۵ بوته بر مترمربع تنظیم گردید. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول چهار متر بود. آبیاری بر اساس مراحل رشدی گیاه و شرایط منطقه با استفاده از روش نوار تیپ انجام شد.

جمع‌آوری داده‌ها: در طول فصل رشد صفات فنولوژیکی شامل، تعداد روز تا شروع گلـدهی، تعداد روز تا کپسول‌دهی، تعداد روز تا پایان گلـدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک یادداشت‌برداری شدند و همچنین ۵ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و برای یادداشت برداری چهارده صفات به شرح زیر برچسب‌گذاری شدند.

۱- ارتفاع بوته در زمان رسیدگی (سانتی‌متر): این صفت از ۵ گیاه انتخابی به‌طور تصادفی از هر کرت با کمک نوار متر از سطح زمین تا بالای گیاه اندازه‌گیری شد؛ ۲- ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر): از هر کرت با کمک نوار متر از سطح زمین تا اولین شاخه فرعی گیاه اندازه‌گیری شد؛ ۳- ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر): از هر کرت با کمک نوار متر از سطح زمین تا اولین کپسول در ساقه اصلی گیاه اندازه‌گیری شد؛ ٤- تعداد شاخه فرعی: این صفت از ۵ گیاه انتخابی به‌طور تصادفی از هر کرت شمارش شد؛ ۵- تعداد کپسول در گیاه: تعداد کل کپسول‌ها از پنج گیاه انتخابی به‌طور تصادفی در زمان بلوغ شمارش شد؛ ٦- طول کپسول (سانتی‌متر): از میانگین ۲۵ کپسول از ۵ گیاه انتخابی به‌طور تصادفی از هر کرت با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد؛ ۷- طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر): ارتفاع از اولین کپسول تا نوک گیاه، با استفاده از نوار متر اندازه‌گیری شد؛ ۸- تعداد دانه در کپسول: از میانگین ۲۵ کپسول از ۵ گیاه انتخابی به‌طور تصادفی از هر کرت شمارش شد؛ ۹- وزن هزار دانه (گرم): وزن ۱۰۰۰ بذر به‌صورت گرم با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد؛۱۰- عملکرد (کیلوگرم در هکتار): به‌صورت کیلوگرم در هکتار و از مساحت ٦ مترمربع هر کرت اندازه‌گیری شد؛ ۱۱- روز تا شروع گلدهی: به‌صورت تعداد روز تا ظهور گلدهی برای ۱۰ درصد از گیاهان هر کرت شمارش شد؛ ۱۲- روز تا ظهور کپسول‌دهی: به‌صورت تعداد روز تا ظهور کپسول برای ۱۰ درصد از گیاهان هر کرت محاسبه شد؛ ۱۳- روز تا پایان گلدهی: به‌صورت تعداد روز تا اتمام گلدهی در هر کرت محاسبه شد؛ ١٤- روز تا رسیدگی

فیزیولوژیک: به‌صورت تعداد روز تا شروع تغییر رنگ بذرها در کپسول محاسبه شد.

تجزیه‌های آماری: تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای دو سال زراعی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بعد از آزمون نرمال بودن داده‌ها و انجام آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن خطای آزمایشی صورت گرفت. مقایسه میانگین بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. تجزیه همبستگی پیرسون و همبستگی ژنتیکی برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. اجزای واریانس ژنتیکی با استفاده از امیدریاضی میانگین مربعات محاسبه گردید. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از ماتریس فاصله اقلیدوسی و روش خوشه‌بندی UPGMA با استفاده از نرم‌افزار NTYSIS صورت گرفت. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمایش دوبعدی و گرافیکی ژنوتیپ در صفات نیز از نرم‌افزار GGEbiplot (نسخه ٦/٣) استفاده گردید. برای تجزیه رگرسیون از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۸) استفاده شد.

نتایج و بحث

بعد از آزمون نرمال بودن داده‌ها و تحقق پیش‌فرض نرمال بودن داده‌ها، آزمون بارتلت برای همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد. نتایج نشان داد که فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین واریانس‌های خطا رد نشد. پس از تحقق پیش‌فرض‌های مذکور، تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن اثر سال و ثابت بودن اثر ژنوتیپ‌ها انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، بین ژنوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه فرعی، ارتفاع اولین کپسول، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در گیاه، طول ناحیه کپسول دهنده، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد. همچنین برای دو صفت طول کپسول و وزن هزاردانه بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (جدول ۲). عسکری و همکاران (Askari *et al.*, 2016) و بخشی و همکاران (Bakhshi *et al.*, 2021)، در پژوهش‌های مشابه، اختلاف معنی‌دار آماری را برای صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های کنجد مشاهده کردند. عبدی پور و همکاران (Abdipour *et al.*, 2018)، تنوع ژنتیکی را برای تعداد شاخه فرعی، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، طول ناحیه کپسول دهنده، ارتفاع اولین کپسول و عملکرد دانه در میان ژرم‌پلاسم‌های کنجد گزارش کردند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در سال برای سه صفت ارتفاع اولین کپسول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه معنی‌دار نشد.

اثر متقابل ژنوتیپ در سال برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه فرعی، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در گیاه، طول کپسول، طول ناحیه کپسول دهنده و تعداد دانه در کپسول معنی‌دار گردید.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1. Pedigree of evaluated genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code	ژنوتیپ Genotype	شجره Pedigree
1	L1 (Check)	Local Dezful
2	SES97-103	(P.M * 11 Hendi)
3	SES97-104	(KBK * HN) * PM
4	L2 (Check)	Local Darab1
5	SES97-105	(2822*ch)(bN*Is)*(k-1*ch)(D14*NbN)
6	L3 (Check)	Local Behbahan
7	SES97-110	(D.14*IS)(2822*ch)*(K-1*MDZ)(IS*NbN)
8	SES97-113	(D.14*IS)(2822*ch)*(K-1*MDZ)(IS*NbN)
9	L4 (Check)	Local Sistan
10	SES97-115	(2822*ch)(bN*Is)*(k-1*ch)(D14*NbN)
11	SES97-120	(D.14*IS)(2822*ch)*(K-1*MDZ)(IS*NbN)
12	L5(Check)	Local Dashtestan
13	SES97-123	Safiabadi
14	SES97-124	Select plant from local Sistani
15	L6 (Check)	Local Jiroft
16	SES97-125	Shevin

برای سه جز واریانس فنوتیپی در همه صفات کمترین واریانس برای واریانس ژنتیکی مشاهده شد (جدول ٤). برای صفت ارتفاع اولین شاخه فرعی واریانس ژنتیکی در محیطی بیشترین سهم را داشت و برای دیگر صفات سهم واریانس محیطی بیشترین مقدار بود. در تمامی صفات ضریب تغییرات فنوتیپی بیشتر از ضریب تغییرات ژنتیکی بود و علت آن به دلیل سهم بالای واریانس محیطی به نسبت واریانس ژنتیکی در واریانس فنوتیپی بود. دلیل مقادیر واریانس ژنتیکی کم برای صفات ممکن است، انتخاب صفات برتر برای کنجد در دوره برنامه به‌نژادی باشد و این امر موجب کاهش واریانس ژنتیکی شده است. صفت تعداد شاخه فرعی بیشترین ضریب تغییرات ژنتیکی را نشان داد و این امر ممکن است، به دلیل ماهیت چند شاخه یا تک شاخه بودن ژنوتیپ‌های کنجد باشد (جدول ٤). بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ٥) ژنوتیپ شماره ۱۲ با عملکرد ۱۷۹۱/۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان عملکرد را در میان تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد و ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۷ و ۱۵ به ترتیب با ۱۵۵٤/۷، ۱٤٦٤/۸ و ۱٤٦۳/۲٥ کیلوگرم عملکرد دانه بالایی را نشان دادند. کمترین میزان عملکرد نیز برای ژنوتیپ شماره ۹ با ۱۰۹۳/۱ کیلوگرم مشاهده شد. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۲، ۱۳، ۱٤ و ۱٥ بیشترین ارتفاع گیاه و ژنوتیپ ۱، ٤، ٦، ۸ و ۹ کمترین ارتفاع گیاه را نشان دادند. در سال اول ژنوتیپ شماره ۳ با ٦/ ۱٥۱ سانتی‌متر و در سال دوم ژنوتیپ شماره ۱٤۳/٦ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را نشان دادند (جدول ٦). ژنوتیپ شماره ۱ و ۹ با ارتفاع کم (۱۲٥/۰٦ و ۱۲۷/٦۳ به ترتیب) عملکرد پایینی را نیز نشان داد و این در حالی بود که ژنوتیپ شماره ٤، ٦ و ۸ با ارتفاع کم (۱۲٦/۱۱، ۱۲٥/۷٦ و ۱۲۳/۰٥) عملکرد بالایی را نشان دادند. گزارش شده است که ارتفاع بوته دارای وراثت‌پذیری بالایی است و عوامل محیطی کمتر بر آن تأثیرگذار است (Mansouri and Ahmadi, 1998). در مطالعه حاضر در حالی‌که اثر متقابل ژنوتیپ در سال برای عملکرد دانه معنی‌دار نشد، اما این اثر برای صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور میانگین برای دو سال طول دوره رسیدگی بین ۱۰٤/٥ روز برای دو ژنوتیپ ٥ و ۱٤ تا ۱۱۱ برای دو ژنوتیپ ٤ متغیر بود (جدول ۳).

تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های کنجد همبستگی‌های معنی‌داری را نشان داد (جدول ۷). عملکرد دانه بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ژنتیکی و فنوتیپی را با صفات ارتفاع اولین کپسول نشان داد. همچنین با تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، تعداد روز تا شروع گلدهی و تعداد روز تا شروع کپسول‌دهی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. از طرفی عملکرد بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار را با صفات روز تا پایان گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد. تجزیه همبستگی نشان داد همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه با روز تا شروع گلدهی و روز تا شروع کپسول‌دهی وجود دارد؛ بنابراین هر چه گلدهی و کپسول‌دهی به تأخیر بیافتد عملکرد دانه افزایش نشان خواهد داد. دو صفت روز تا شروع گلدهی و روز تا شروع کپسول‌دهی بیشترین همبستگی را با تعداد دانه در کپسول نشان دادند و از طرفی همبستگی آن‌ها با تعداد کپسول در بوته منفی بود. از این‌رو با تأخیر در شروع گلدهی و شروع کپسول‌دهی تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد، اما از طرفی با افزایش تعداد دانه در هر کپسول سبب افزایش عملکرد خواهد شد. دو صفت روز تا پایان گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی منفی با تمامی صفاتی نشان دادند که همبستگی مثبت با عملکرد داشتند، از این‌رو با کاهش این دو صفت عملکرد نیز افزایش نشان داد. بخشی و همکاران (Bakhshi *et al.*, 2021)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با ارتفاع اولین کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، تعداد روز تا شروع گلدهی نشان دادند. عسکری و همکاران (Askari *et al.*, 2016) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه در کنجد مشاهده کردند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول در بوته، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه مشاهده شد (Zeinalzadeh-Tabrizi and Mansouri, 2020). آویلا و مونتیلا (Avila and Montilla,1997)، همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد و طول کپسول گزارش کردند. در مطالعه حاضر نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول کپسول و عملکرد دانه مشاهده شد. با افزایش طول کپسول می‌توان به‌طور غیرمستقیم تعداد دانه در کپسول را افزایش داده و به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر دست یافت.

جدول ۲- میانگین مربعات صفات کمی ارزیابی شده برای ژنوتیپ‌های کنجد

Table 2. Mean square of evaluated quantitative traits for sesame genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	صفات$ Traits									
		PH	HFB	HFC	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC	TSW	Y
سال Year (Y)	1	3278.81**	10109.79**	1722.54**	11.81**	60.37 ns	1.54**	248.29 ns	12266.60**	3.66**	1205117.26**
بلوک (سال) Block (Y)	4	26.57ns	49.96*	28.67 ns	0.22 ns	50.52 ns	0.012 ns	6.52 ns	51.37 ns	0.10 ns	49395.04 ns
ژنوتیپ Genotype (G)	15	202.46**	274.95**	115.23*	4.10**	748.92**	0.035 ns	204.82*	76.19*	0.11 ns	148039.36 **
ژنوتیپ × سال G × Y	15	269.21**	268.87**	71.84ns	3.39**	727.29**	0.062**	276.90**	83.63*	0.08 ns	98021.87 ns
خطا Error	60	77.68	18.24	53.62	0.47	283.21	0.023	99.22	38.16	0.079	59455.19
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.67	10.34	12	19.57	19.94	5.94	14.01	12	8.42	17.22

ns، * و**: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **:Non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively.

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFB: ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NSB: تعداد شاخه فرعی؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ CL: طول کپسول(سانتی‌متر)؛ LCBZ: طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر)؛ NGC: تعداد دانه در کپسول؛ TSW: وزن هزار دانه (گرم) و Y: عملکرد (کلوگرم درهکتار)

PH: Plant height (cm); HFB: Height of the first branch (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NSB: Number of sub-branches; NCP: Number of capsules per plant; CL: Capsule length (cm); LCBZ: Length of capsule bearing zone (cm); NGC: Number of grains per capsule; TSW: One Thousand seed weight (g); Y: Yield (kg/ha)

جدول ۳- میانگین صفات فنولوژی ژنوتیپ‌های کنجد

Table 3. Phonological traits means for sesame genotypes

ژنوتیپ Genotype	سال اول First year				سال دوم Second year			
	DSF	DSFC	DEF	DM	DSF	DSFC	DEF	DM
1	43	50	81	112	46	52	77	109
2	46	53	91	113	50	57	80	104
3	41	48	88	109	47	53	79	102
4	42	50	89	114	49	56	82	107
5	41	48	85	108	49	56	77	101
6	41	48	82	110	46	54	77	107
7	45	50	94	113	49	55	83	103
8	40	48	84	108	41	48	76	102
9	35	41	81	109	37	43	79	109
10	44	49	86	110	47	53	79	104
11	39	46	86	108	43	50	79	103
12	40	46	81	107	41	48	77	105
13	39	46	88	111	41	47	74	99
14	35	41	85	107	41	47	80	102
15	41	48	83	110	48	54	82	110
16	41	48	88	110	46	54	82	110

DSF: روز تا شروع گلدهی؛ DSFC: روز تا ظهور کپسول دهی؛ DEF: روز تا پایان گلدهی؛ DM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

DSF: Days to start flowering; DSFC: Days to start the first capsule emergence; DEF: Days to the end of flowering; DM: Days to maturity

جدول ٤- ارزیابی وراثت‌پذیری عمومی برای صفات اندازه‌گیری شده

Table 4. Estimation of broad sense heritability for studied traits

پارامترها Parameters	PH	HFB	HFC	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC	TSW	Y
واریانس محیطی σ^2_e	77.68	18.24	53.62	0.47	283.21	0.023	99.22	38.16	0.079	59455.19
واریانس ژنتیکی σ^2_g	0*	0.18	1.35	0.02	0.67	0	0	0	0.0009	1563.04
واریانس ژنتیکی × محیطی σ^2_{ge}	63.84	83.54	6.073	0.97	148.02	0.013	59.22	15.15	0.0003	12855.56
واریانس فنوتیپی σ^2_p	137.07	101.97	61.04	1.46	431.91	0.035	156.19	53.08	0.08	73873.79
وراثت پذیری عمومی h^2_b	nd	0.0018	0.022	0.015	0.0015	nd	nd	nd	0.011	0.021
ضریب تغییرات فنوتیپی PCV%	8.8	24.4	12.8	34.3	24.6	7.2	17.57	14.1	8.4	19.2
ضریب تغییرات ژنتیکی (درصد) GCV%	nd	1.0	1.9	4.2	0.97	nd	nd	nd	0.91	2.79

*: ارزش تخمینی منفی برای تنوع ژنوتیپ صفر در نظر گرفته شد.

*: Negative estimated value of genotype variation is considered as zero

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFB: ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NSB: تعداد شاخه فرعی؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ CL: طول کپسول(سانتی‌متر)؛ LCBZ: طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر)؛ NGC: تعداد دانه در کپسول؛ TSW: وزن هزار دانه (گرم) و Y: عملکرد (کلوگرم درهکتار)

PH: Plant height (cm); HFB: Height of the first branch (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NSB: Number of sub-branches; NCP: Number of capsules per plant; CL: Capsule length (cm); LCBZ: Length of capsule bearing zone (cm); NGC: Number of grains per capsule; TSW: One Thousand seed weight (g); Y: Yield (kg/ha)

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کمی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار

Table 5. Mean comparison of quantitative traits using LSD test

ژنوتیپ Genotype	PH	HFB	HFC	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC	TSW	Y
1	125.06	43.47	63.51	3.54	57.23	2.60	61.55	55.61	3.6	1299.9
2	131.52	45.69	68.54	4.44	83.33	2.61	62.98	52.77	3.39	1554.7
3	139.37	45.76	59.34	4.24	99.40	2.53	80.02	53.61	3.22	1417.2
4	126.11	38.05	60.69	4.54	79.36	2.51	65.41	59.38	3.315	1443.9
5	132.01	45.06	62.63	3.87	84.09	2.67	69.37	47.82	3.26	1362.0
6	125.76	43.54	57.91	3.71	72.74	2.54	67.84	54.35	3.50	1535.5
7	140.97	45.20	65.62	3.81	80.20	2.62	75.34	54.46	3.45	1464.8
8	123.05	24.99	53.26	1.87	87.80	2.37	69.79	51.37	3.37	1462.4
9	127.63	38.81	52.49	3.70	78.15	2.55	75.13	50.49	3.20	1093.10
10	131.94	47.56	58.12	3.44	85.98	2.69	73.81	51.97	3.22	1311.40
11	130.48	43.15	62.29	3.16	75.17	2.59	68.19	45.95	3.34	1466.03
12	134.72	41.47	67.36	4.68	102.36	2.58	67.36	49.08	3.43	1791.90
13	134	42.91	60.13	2.64	86.33	2.55	73.86	46.22	3.49	1356.93
14	141.66	41.18	59.305	3.21	99.12	2.49	82.36	49.07	3.19	1194.61
15	138.33	47.77	62.42	3.61	88.9	2.54	75.90	49.79	3.28	1463.25
16	130.20	25.83	61.59	1.93	89.62	2.63	68.61	51.03	3.20	1420.86
LSD 1%	13.53	6.56	11.24	0.44	25.84	0.23	2.4	9.48	0.43	374.51

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFB: ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NSB: تعداد شاخه فرعی؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ CL: طول کپسول(سانتی‌متر)؛ LCBZ: طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر)؛ NGC: تعداد دانه در کپسول؛ TSW: وزن هزار دانه (گرم) و Y: عملکرد (کلوگرم درهکتار)

PH: Plant height (cm); HFB: Height of the first branch (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NSB: Number of sub-branches; NCP: Number of capsules per plant; CL: Capsule length (cm); LCBZ: Length of capsule bearing zone (cm); NGC: Number of grains per capsule; TSW: One thousand seed weight (g); Y: Yield (kg/ha)

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات کمی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سال‌های مختلف

Table 6. Mean comparison of quantitative traits in years using LSD test

ژنوتیپ Genotype	PH	HFB	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC	PH	HFB	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC
	سال اول First year							سال دوم Second year						
1	145	54.16	73.3	3.58	65.5	2.71	71.66	105.13	32.77	53.69	3.5	48.97	2.50	51.4
2	141.6	52.5	73.3	3.9	75.8	2.76	68.33	121.38	38.8	63.74	4.97	90.83	2.47	57.6
3	151.6	56.66	57.5	4	119.3	2.55	94.16	127.08	34.86	61.19	4.49	79.47	2.51	65.8
4	128.3	48.33	60.8	4.75	86.1	2.7	67.5	123.88	27.77	60.55	4.33	72.55	2.32	63.3
5	140.8	52.5	65.8	3.75	86.3	2.58	75	123.19	37.63	59.44	3.99	81.86	2.76	63.7
6	129.4	48.6	63.0	3.77	71.6	2.67	66.38	122.08	38.47	52.77	3.66	73.83	2.40	69.3
7	138.3	51.10	72.2	3.83	72.3	2.94	66.11	143.61	39.30	59.02	3.80	88.08	2.31	84.5
8	132.7	49.99	61.1	3.75	88.3	2.54	71.66	113.33	0	45.41	0	87.27	2.20	67.9
9	132.7	49.44	55.5	3.91	86	2.78	77.22	122.49	28.19	49.44	3.49	70.30	2.33	73.0
10	141.1	52.77	60.5	3.77	98.7	2.69	80.55	122.77	42.36	55.69	3.11	73.19	2.70	67.0
11	130.2	48.61	67.2	4.33	65.6	2.75	63.05	130.69	37.70	57.36	2	84.75	2.43	73.3
12	144.1	53.33	75.8	4.25	78.6	2.74	68.33	125.27	29.60	58.88	5.11	126.05	2.42	66.3
13	126.6	48.33	65.8	3.66	69.8	2.76	60.83	141.33	37.5	54.44	1.62	102.83	2.34	86.8
14	147.5	55.83	60	3.12	101.5	2.68	87.5	135.83	26.52	58.61	3.30	96.75	2.30	77.2
15	136.6	50.83	61.6	3.79	87.5	2.60	75	139.99	44.72	63.19	3.44	90.41	2.47	76.8
16	139.1	51.66	69.1	3.87	83.8	2.66	70	121.25	0	54.02	0	95.41	2.5	67.2
LSD 1%	20.49	7.86	16.47	1.23	38.11	0.30	22.67	7.366	7.0	7.49	1.17	16.62	0.22	9.58

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFB: ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)؛ NSB: تعداد شاخه فرعی؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ CL: طول کپسول(سانتی‌متر)؛ LCBZ: طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر) و NGC: تعداد دانه در کپسول

PH: Plant height (cm); HFB: Height of the first branch (cm); NSB: Number of sub-branches; NCP: Number of capsule per plant; CL: Capsule length (cm); LCBZ: Length of capsule bearing zone (cm); NGC: Number of grains per capsule

جدول ۷- ضریب همبستگی ژنوتیپی (بالای قطر) و فنوتیپی (پایین قطر) بین صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 7. Genotypic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation coefficient between traits of sesame genotypes

صفات Traits	PH	HFB	HFC	NSB	NCP	CL	LCBZ	NGC	TSW	Y	DSF	DSFC	DEF	DM
PH	1	0.69**	0.66**	0.24 ns	0.37**	0.36*	0.8**	0.46**	0.37ns	0.6*	0.35*	0.28*	-0.25ns	-0.45**
HFB	0.63**	1	0.8**	0.69**	-0.12ns	0.74**	0.29**	0.69**	0.73**	0.46*	0.51**	0.45**	-0.53**	-0.46**
HFC	0.43**	0.52**	1	0.64**	-0.15*	0.87**	0.08**	0.65**	0.88**	0.78**	0.67**	0.66**	-0.43*	-0.45**
NSB	0.12ns	0.54**	0.37**	1	-0.14ns	0.37*	-0.19ns	0.36**	0.39 ns	0.39*	0.33 ns	0.29 ns	-0.22ns	-0.11ns
NCP	0.42**	0	-0.23*	0.004	1	-0.29*	0.62**	-0.26ns	-0.32*	0.5*	-0.11ns	-0.16ns	0.18ns	-0.18ns
CL	0.20*	0.47**	0.44**	0.25*	-0.22*	1	-0.22ns	0.77**	0.69**	0.39*	0.54**	0.49**	-0.58**	-0.57**
LCBZ	0.72**	0.26**	-0.30**	-0.15ns	0.63**	-0.12ns	1	0.09ns	-0.22ns	0.18ns	-0.06ns	-0.16ns	0.01ns	-0.24ns
NGP	0.33**	0.58**	0.46**	0.32**	-0.14ns	0.59**	-0.007ns	1	0.34**	0.54**	0.62**	0.6**	-0.68**	-0.57**
TSW	0.073ns	0.35**	0.26**	0.15ns	-0.24*	0.55**	-0.12ns	0.53**	1	0.8**	0.61**	0.59**	-0.92**	-0.72**
Y	0.25*	0.22*	0.56**	0.25*	0.25*	0.25*	-0.16ns	0.35**	0.32**	1	0.54**	0.57**	-0.48**	-0.5**
DSF	0.25*	0.48**	0.40**	0.28**	-0.06ns	0.38**	-0.03ns	0.54**	0.36**	0.32**	1	0.98**	-0.13ns	-0.18ns
DSFC	0.20*	0.42**	0.40**	0.24*	-0.09ns	0.35**	-0.09ns	0.53**	0.35**	0.33**	0.98**	1	-0.13ns	-0.15ns
DEF	-0.18ns	-0.50**	-0.26*	-0.18ns	0.10ns	-0.41**	0.004ns	-0.60**	-0.54**	-0.28**	-0.12ns	-0.12ns	1	0.73**
DM	-0.32**	-0.43**	-0.27**	-0.09ns	-0.10ns	-0.40**	-0.14ns	-0.50**	-0.42**	-0.29**	-0.17ns	-0.14ns	0.72**	1

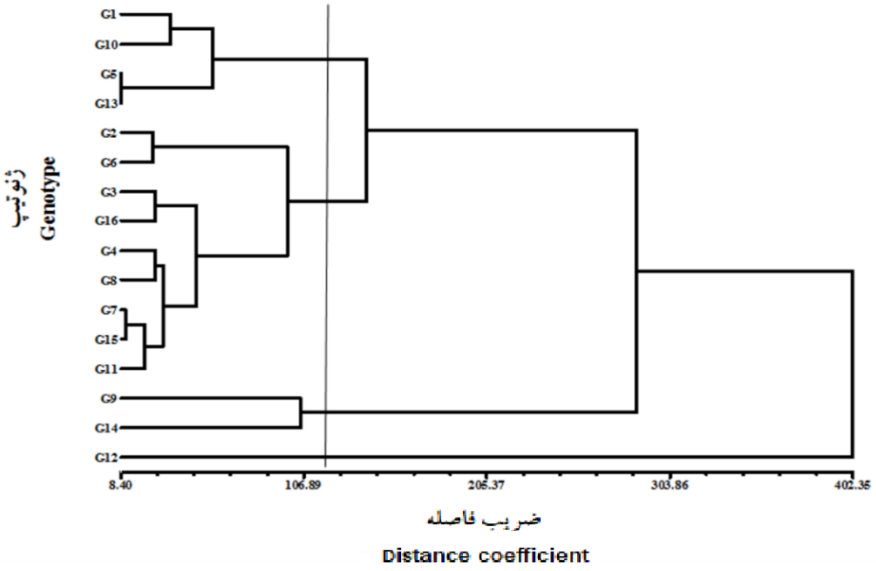
ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively.

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFB: ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NSB: تعداد شاخه فرعی؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ CL: طول کپسول(سانتی‌متر)؛ LCBZ: طول ناحیه کپسول دهنده (سانتی‌متر)؛ NGC: تعداد دانه در کپسول؛ TSW: وزن هزار دانه (گرم) و Y: عملکرد (کلوگرم در هکتار)؛ DSF: روز تا شروع گلدهی؛ DSFC: روز تا ظهور کپسول دهی؛ DEF: روز تا پایان گلدهی؛ DM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

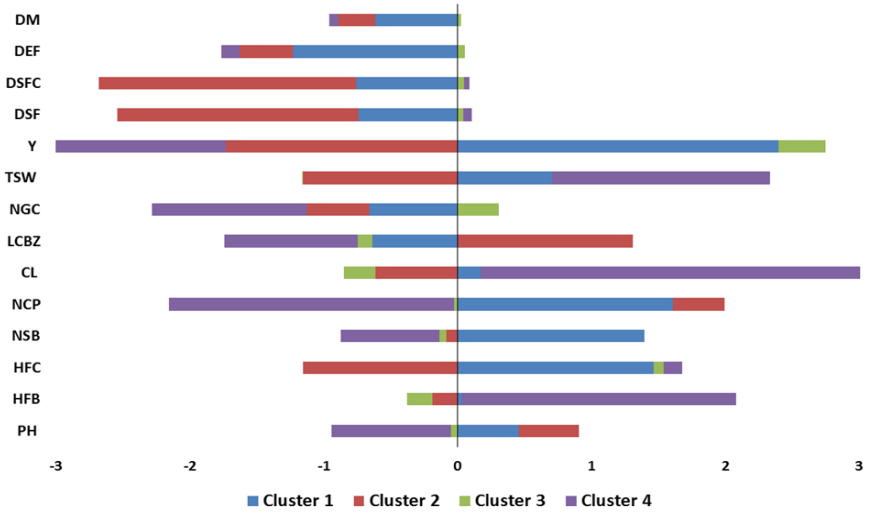
PH: Plant height (cm); HFB: Height of the first branch (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NSB: Number of sub-branches; NCP: Number of capsules per plant; CL: Capsule length (cm); LCBZ: Length of capsule bearing zone (cm); NGC: Number of grains per capsule; TSW: One thousand seed weight (g); Y: Yield (kg/ha); DSF: Days to start flowering; DSFC: Days to start first capsule emergence; DEF: Days to end flowering; DM: Days to maturity

تجزیه خوشه‌ای به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کنجد مورد مطالعه بر اساس صفات اندازه‌گیری شده انجام شد (شکل ۱). دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ۱۶ ژنوتیپ کنجد به چهار گروه مجزا از هم تفکیک شدند. در گروه یک حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ ۱۲، در گروه دو ژنوتیپ ۹ و ۱٤، در گروه سه ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۵، ۷، ۸، ٤، ۱٦، ۳، ٦ و ۲ و دیگر ژنوتیپ‌ها شامل ۱۳، ۵، ۱۰ و ۱ در گروه چهار قرار گرفتند (شکل ۱). گروه یک برای صفات عملکرد، تعداد کپسول در گیاه، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع اولین کپسول بیشترین مقدار عدد استاندارد شده این صفات را نشان دادند. گروه دو کمترین و بیشترین عدد استاندارد شده را به‌ترتیب برای عملکرد و طول ناحیه کپسول دهنده، نشان داد. گروه سه از نظر صفت عملکرد رتبه دوم را برای عدد استاندارد شده این صفت داشت و همچنین این گروه برای صفت تعداد دانه در کپسول بیشترین عدد استاندارد شده را بین گروه‌ها نشان داد. صفت تعداد دانه در کپسول همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان داد. گروه چهار عملکرد پایینی را نشان داد و برای صفات وزن هزاردانه، طول کپسول و ارتفاع اولین شاخه بیشترین عدد استاندارد شده و تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و ارتفاع گیاه کمترین عدد استاندارد شده را نشان داد. نتایج نشان داد گروه دو با عملکرد دانه کمتر در مقایسه با دیگر گروه‌ها، گلدهی زود هنگام و پایان گلدهی دیر هنگام‌تری دارد. در واقع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ژنوتیپ‌ها در این گروه دوره رشد زایشی بیشتری داشته و این منجر به وزن هزاردانه کمتری شده است و بر عملکرد دانه تأثیر گذاشته است (شکل ۲). در مطالعه بخشی و همکاران (Bakhshi *et al.*, 2021)، در منطقه سیستان ژنوتیپ‌های کنجد به سه گروه تقسیم شدند و ژنوتیپ‌ها با طول دوره رشد زایشی بیشتر پایین‌ترین میزان عملکرد را نشان دادند. تجزیه GGEbiplot کمک می‌کند تا مشخص شود چه ژنوتیپی برای چه صفتی شرایط مناسب‌تری دارد (Ghaffari *et al.*, 2021) بر اساس تجزیه GGEbiplot (شکل ۳) ژنوتیپ‌های ۱ و ٤ و ٦ برای صفات وزن هزاردانه، روز تا رسیدگی و تعداد دانه در کپسول بیشترین مقدار را نشان دادند. ژنوتیپ‌ها ۲، ۷، ۱۲، ۱۵، ۵ و ۱۰ بهترین شرایط را برای صفت عملکرد دانه نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۹ و ۱٤ با کمترین عملکرد بیشترین مقدار را برای طول ناحیه کپسول دهنده نشان دادند. ژنوتیپ شماره ۱ بیشترین مقدار وزن هزار دانه را نشان داد و این در حالی است که برای طول دوره زایشی از شروع تا پایان گلدهی کوتاه‌ترین زمان را داشت (۳۱ درصد کل دوره رشد) و ژنوتیپ‌های ۹ و ۱٤ با کمترین وزن هزاردانه طولانی‌ترین دوره رشد زایشی (٤۰ و ٤۲ درصد کل دوره رشد به ترتیب) را نشان دادند. ژنوتیپ ۱ کمترین تعداد کپسول در بوته را نشان داد و ژنوتیپ‌های ۹ و ۱٤ کمترین وزن هزاردانه و به دلیل همبستگی این صفات با عملکرد این ژنوتیپ‌ها کمترین عملکرد را نشان دادند.



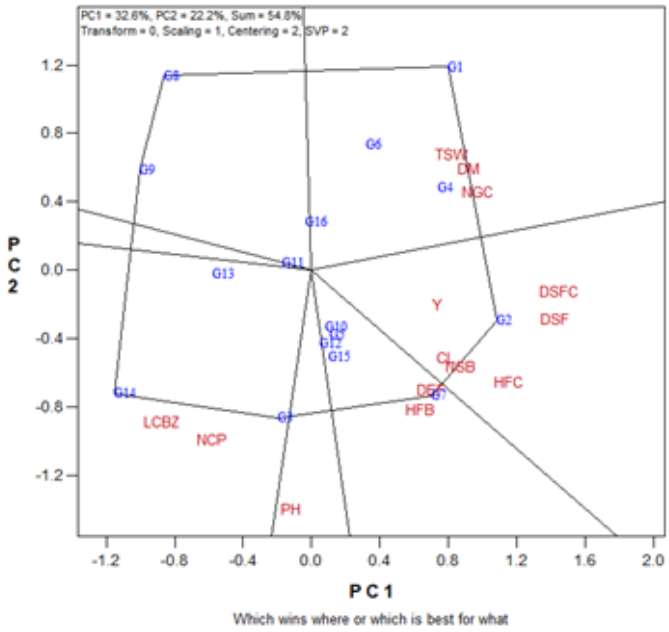
شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Figure 1. Cluster analysis for evaluated genotypes



شکل ۲- میانگین‌های استاندارد شده صفات مورد بررسی بین گروه‌های مختلف در تجزیه خوشه‌ای

Figure 2. Z-score mean comparison of evaluated traits among different groups of cluster analysis



شکل ۳- بای‌پلات (Which-won-where) حاصل از تجزیه GGEbiplot برای نمایش برتری هر ژنوتیپ برای صفات

Figure 3. ‘Which-won-where’ view of the GGEbiplot illustrating genotypes and their superior traits

برای شناسایی یک عامل مهم در پیش‌بینی عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از تجزیه رگرسیون چندگانه استفاده شد. مدل‌های مبتنی بر رگرسیون خطی چندگانه رایج‌ترین شکل تحلیل رگرسیون خطی هستند و بیش از سایر فنون پیش‌بینی در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Abdipour *et al.*, 2018). یکی از روش‌ها برای شناسایی و کاهش ورود متغیرهای مستقل به تجزیه رگرسیون استفاده از ضریب همبستگی ساده متغیرها با عملکرد است. با این‌حال، همبستگی ساده اطلاعاتی در مورد انواع اثرات مستقیم یا غیرمستقیم بین صفات ارائه نمی‌دهد؛ بنابراین، میزان همبستگی بین متغیرها ممکن است تحت تأثیر اثرات غیرمستقیم مثبت یا منفی متغیر(های) دیگر قرار گیرد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از بهترین و رایج‌ترین روش‌ها برای کاهش داده‌ها و روشی مفید برای انتخاب مهم‌ترین متغیرهای غیر همبسته است

(Samarasinghe, 2006). بر اساس تجزیه همبستگی صفات دارای همبستگی خوب با عملکرد (جدول ۷) و همچنین صفات با ضرایب بالا در دو مؤلفه اول و دوم در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (شکل ۳) صفات ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه فرعی، ارتفاع اولین کپسول، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول، روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع کپسول‌دهی، روز تا پایان گلدهی برای تجزیه رگرسیون انتخاب شدند. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام به روش پس‌رونده نشان داد با ورود متغیرهای ارتفاع بوته، ارتفاع اولین کپسول، تعداد کپسول در بوته، روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع کپسول دهی و روز تا پایان گلدهی معادله رگرسیونی خطی با ضریب تبیین ۰/٦٧ معنی‌دار شده و قابلیت پیش‌بینی عملکرد را دارد (جدول ۸). برای شناسایی حساس‌ترین عامل در پیش‌بینی عملکرد با این مدل رگرسیونی متغیرهای به‌طور جداگانه از مدل خارج شدند. تجزیه و تحلیل حساسیت متغیرها درک روشنی از تأثیر متغیرهای ورودی بر مقادیر پیش‌بینی‌شده فراهم می‌کند. نتایج نشان داد زمانی که صفت ارتفاع اولین کپسول از مدل خارج شد کمترین میزان ضریب تبیین ۰/٤٥ به‌دست آمد (جدول ۹). صفت ارتفاع اولین کپسول بیشترین همبستگی فنوتیپی (۰/٥٦) و ژنتیکی (۰/۷۸) مثبت و معنی‌دار را با عملکرد نشان داد. همچنین دومین صفت تأثیرگذار در مدل صفت تعداد کپسول در بوته با کاهش ضریب تبیین به ۰/٥٤ بود (جدول ۹). عبدی پور و همکاران (Abdipour *et al*., 2018) صفت تعداد کپسول در بوته را برای پیش‌بینی میزان روغن در کنجد معرفی کردند. با این‌حال، تعداد کپسول در بوته که یکی از سه جزء مهم عملکرد دانه به‌همراه تعداد دانه در هر کپسول و وزن دانه در کنجد است، در اکثر مطالعات مدل‌سازی، به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی برای پیش‌بینی عملکرد دانه شناسایی شده است (Chowdhury *et al*., 2010; Ibrahim and Khidir, 2012; Tripathy *et al*., 2016). از این‌رو بر اساس این نتایج می‌توان چنین اظهار نمود که ایجاد تغییرات و دست‌کاری‌های به‌نژادی در طول دوره رشد زایشی و گلدهی ژنوتیپ‌های کنجد امکان دست‌یابی به ژنوتیپ ایده‌ال برای صفت تعداد کپسول در بوته را خواهد داد و امکان ایجاد سازگارترین ژنوتیپ برای هر منطقه فراهم خواهد شد. نتایج حاصل از مدل پیش‌بینی عملکرد و تعیین حساسیت صفات در این مدل (جدول ۸ و ۹) و همچنین نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها و تجزیه و تحلیل GGEbiplot می‌تواند تأییدی بر این توضیحات باشد.

جدول ۸- تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیر مستقل)

Table 8. Stepwise regression analysis for sesame grain yield (dependent variable) and other traits (independent variables)

مدل Model	ضریب رگرسیون Regression coefficients	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تبیین Coefficient of determination	مقدار p p-value
ضریب ثابت Constant	718.862	1379.359		
PH	-9.261	11.423		
HFC	23.677	9.797		
NCP	7.473	4.089	0.67	0.033
DSF	-40.529	68.02		
DSFC	51.117	66.176		
DEF	-11.523	15.61		

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ DSF: روز تا شروع گلدهی؛ DSFC: روز تا ظهور کپسول دهی؛ DEF: روز تا پایان گلدهی

PH: Plant height (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NCP: Number of capsules per plant; DSF: Days To start flowering; DSFC: Days to start the first capsule emergence; DEF: Days to the end of flowering; DM: Days to maturity

جدول ۹- تجزیه حساسیت متغیرهای مدل رگرسیون برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد

Table 9. Sensitivity analysis of the regression model variables on grain yield of sesame genotypes

مدل Model	R^2
مدل با همه شش متغیر Model with all six variables	0.67
مدل به‌استثنای PH Model excluding PH	0.64
مدل به‌استثنای HFC Model excluding HFC	0.45
مدل به‌استثنای NCP Model excluding NCP	0.54
مدل به‌استثنای DSF Model excluding DSF	0.65
مدل به‌استثنای DSFC Model excluding DSFC	0.64
مدل به‌استثنای DEF Model excluding DEF	0.65

$ PH: ارتفاع (سانتی‌متر)؛ HFC: ارتفاع اولین کپسول (سانتی‌متر)؛ NCP: تعداد کپسول در گیاه؛ DSF: روز تا شروع گلدهی؛ DSFC: روز تا ظهور کپسول‌دهی؛ DEF: روز تا پایان گلدهی

PH: Plant height (cm); HFC: Height of the first capsule (cm); NCP: Number of capsules per plant; DSF: Days to start flowering; DSFC: Days to start the first capsule emergence; DEF: Days to the end of flowering; DM: Days to maturity

برای معرفی ارقام جدید، ژنوتیپ‌های مختلف باید در محیط‌های مختلف ارزیابی شوند و ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر و صفات برتر در هر منطقه برای دست‌کاری‌های به‌نژادی معرفی گردد. این نتایج به‌نژادگران را قادر می‌سازد تا ایده بهتری از صفات گیاهی که باید در طول آزمایش‌های به‌نژادی مورد نظارت قرار گیرند، به‌دست آورد. برای این هدف بررسی و مقایسه تعداد ۱۶ ژنوتیپ گیاه کنجد در دو سال زراعی از نظر خصوصیات عملکرد دانه و اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی در استان بوشهر انجام شد. در این مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری برای عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین ژنوتیپ شماره ۱۲، ۲، ۷ و ۱۵ بیشترین عملکرد را نشان دادند. عملکرد دانه بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ژنتیکی و فنوتیپی را با صفات ارتفاع اولین کپسول نشان داد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای ۱۶ ژنوتیپ کنجد مورد مطالعه بر اساس صفات اندازه‌گیری شده به چهار گروه مجزا از هم تفکیک شدند.

بر اساس تجزیه GGEbiplot و رسم نمودار دوبعدی بر اساس دو مؤلفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۷، ۱۲، ۱۵، ۵ و ۱۰ بهترین شرایط را برای صفت عملکرد دانه نشان دادند. بر اساس تجزیه رگرسیون چندگانه صفت ارتفاع اولین کپسول و تعداد کپسول در بوته مهم‌ترین عامل برای پیش‌بینی عملکرد دانه در کنجد شناسایی شد و با نتایج تجزیه همبستگی هماهنگی نشان داد.

سپاسگزاری

از موسسه تحقیقات به‌نژادی و تهیه نهال و بذر به خاطر تأمین هزینه این تحقیق در قالب طرح مصوب ۹۸۰۵۶۵-۰-۷۱-۰۳-۰۸۶ (مصوب شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران) سپاسگزاری می‌شود. از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، به‌دلیل فراهم کردن امکانات پژوهشی این پروژه تشکر می‌شود و همچنین از دکتر علیرضا عسکری به دلیل مشاوره در تجزیه‌های آماری تشکر می‌شود.

References

Abdipour, M., Ramazani, S.H.R., Younessi-Hmazekhanlu, M. and Niazian, M. (2018). Modeling oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) using artificial neural network and multiple linear regression approaches. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **95(3):** 283-297.

Askari, A., Zabet, M., Ghaderiand, M.G., and Shorvazdi, **A.** (2016). Choose the most important traits affecting on yield of some sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in normal and stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **8:** 78-87 (In Persian).

Avila, J. and Montilla, D. (1997). Yield, yield components and tolerance to whitefly (Bemisiatabaci) incidence as sesame (*Sesamum indicum*). *Selection criteria Sesame and Safflower Newsletter*, **12:** 14-21.

Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M. and Araya, G. (2020). Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, **6(10) :**e05295.

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):** 11-17.

Becker, H.C. and Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, **101(1):** 1-23.

Bakhshi, B., Ghodrati, G. and Keshtgar Khajedad, M. (2021). Compatibility assessment of the sesame promising lines in the Sistan region using multivariate analysis methods. *Journal of Crop Breeding*, **13(39):** 87-97 (In Persian)

Bhalodiya, D., Dhaduk, H.K.L., Kumar, S., Gediya, L.N. and Patel, H.P. (2019). Line× tester analysis for seed yield, protein and oil content and SSR based diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Ecological Genetics and Genomics*, **13:** 100048.

Borchani, C., Besbes, S., Blecker, C.H. and Attia, H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **12(5):** 585-596.

Chaieb, N., Gonzalez, J.L., Mesas, M.L., Bouslama, M. and Valiente, M. (2011). Polyphenols content and antioxidant capacity of thirteen faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes cultivated in Tunisia. *Food Research International*, **44:** 970-977.

Chowdhury, S., Datta, A.K., Saha, A., Sengupta, S., Paul, R., Maity, S., and Das, A. (2010). Traits influencing yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) and multi-locational trials of yield parameters in some desirable plant types. *Indian Journal of Science and Technology*, **3(2):** 163-166.

Clegg, M.T. (1997). Plant genetic diversity and the struggle to measure selection. *Journal of Heredity*, **88(1):** 1-7.

Crossa, J. (1990). Statistical analyses of multi-location trials. *Advances in Agronomy*, **44:** 55-85.

Delic, N., Stankovic, G. and Konstantinov, K. (2009). Use of non-parametric statistics in estimation of genotypes stability. *Maydica*, **54(2):** 155.

Diepenbrock, W. (2000) Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Field Crops Research*, **67:** 35-49.

FAO. (2016). Food and Agriculture Organization, FAO statistic. http://www.fao.org/faostat/en/#data/ QC. Accessed 20 June 2019

Fischer, R.A. and Edmeades, G.O. (2010). Breeding and cereal yield progress. *Crop Science*, **50:** S-85.

Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S. A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S. A., Shariati, F. and Rezaeizad, A. (2021). Stability and genotype× environment analysis of oil yield of sunflower single cross hybrids in diverse environments of Iran. *Euphytica*, 217**(10):** 1-11.

Ibrahim, S.E., and Khidir, M.O. (2012). Genotypic correlation and path coefficient analysis of yield and some yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agriculture Science*, **2(8):** 664-670.

Jinxiong, S., Qingyuan, G., Xiurong, Z., Yingzhong, Z., Xiangyun, F., Hexing, C. and Xiaoming, W. (1995). Cluster analysis of sesame germplasm collection in China. *Hua Zhong Nong ye da xue xue bao= Journal Huazhong (Central China) Agricultural University*, **14(6):** 532-536.

Mansouri, S. and Ahmadi, M. (1998). Study of combining ability and gene effect on sesame lines by diallel cross method. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, **29(1):** 47-55.

Myint, D., Gilani, S.A., Kawase, M. and Watanabe, K.N. (2020). Sustainable sesame (*Sesamum indicum* L.) production through improved technology: an overview of production, challenges, and opportunities in Myanmar. *Sustainability*, **12(9):** 3515.

Nezami, A., Fazelikakhaki, F., Zarghani, H., Shabahang, J. and Gandomzadeh, M.R. (2014). Preliminary study of yield and yield components of some sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L. common) in Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, **12(2):** 189-195 (In Persian).

Salehi, M. and Saeidi, G. (2011). Genetic variation of some agronomic traits and yield component in breeding lines of sesame. *Journal of Crop Breeding*, **4(9):** 77-92 (In Persian).

Samarasinghe, S. (2006). *Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition*. Auerbach Publications, Boca Raton, Florida, USA.

Tahmasebi, A., Darvishzadeh, R., Fayaz Moghaddam, A., Gholinezhad, E. and Abdi, H. (2022). Use of selection indices for improving grain yield in sesame local populations. *Plant Genetic Researches*, **8(2):** 117-130 (In Persian).

Tripathy, S.K., Mishra, D.R., Senapati, N., Mohanty, S.K., Kartik, C.P., Jena, M. and Panda, S. (2016). Study of inter-relationship of morpho-economic traits for formulation of effective selection strategy in sesame. *International Journal of Development and Research*, **6:** 7012-7016.

Uzun, B., Arslan, Ç. and Furat, Ş. (2008). Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **85(12):** 1135-1142.

Zeinalzadeh-Tabrizi, H. and Mansouri, S. (2020). Preliminary evaluation of yield, agronomic characteristics and response of sesame lines to wilt disease in Moghan region. *Journal of Crop Breeding*, **12(36):** 180-192 (In Persian).

Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S. and Fallah-Toosi, A. (2021). Evaluation of seed yield stability of promising sesame lines using different parametric and nonparametric methods. *Plant Genetic Researches*, **8(1):** 43-60 (In Persian).

Zhang, P., Zhang, H.Y., Zheng, Y.Z., Guo, W.Z., Wei, L.B. and Zhang, T.Z. (2008). Factor and cluster analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm resources. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, **1(30):** 71-85.

Evaluation of Genetic Diversity for Phonological and Grain Yield-Related Traits of Sesame (*Sesamum indicum* L.) in the Dashtestan Region with Multivariate Statistical Methods

Davood Kiani[1,*], Gholamreza Ghodrati[2] and Sadollah Mansouri[3]

1- Assistant Professor, Crops and Horticultural Science Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bushehr, Iran
2- Assistant Professor, Crops and Horticultural Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: July 17, 2022 - Accepted: July 17, 2022)

Abstract

Sesame is an important crop plant for harsh environmental conditions because it is relatively resistance to drought stress. Evaluation of different genotypes in different climate condition plays a fundamental role in selection of the best genotypes before the commercial release of a variety and helping in identify plant traits that should be monitored during breeding experiments. In the present study, 10 promising lines obtained from the preliminary yield test were investigated to evaluate the yield compatibility along with 6 local cultivars in a randomized complete block design experiment with three replications in two cropping years (2018 and 2019) in Dashtestan climate condition in Bushehr province. During the growing season, phenology traits, grain yield components and grain yield were measured. Based on the results of ANOVA, statistically significant difference was observed between different genotypes for plant height, height of the first sub branch, height of the first capsule, number of sub branches, number of capsules per plant, length of capsule, length of capsule bearing zone, number of seeds in capsule and grain yield. Based on the mean comparison and biplot analysis the genotype 12 (Local Dashtestan), 2 (SES97-103), 7 (SES97-110) and 15 (Local Jiroft), were identified as superior genotypes for grain yield. Genotype 5 (SES97-105) and genotypes 14 (SES97-124) with 104.5 days and 4 (Local Darab1) with 111 showed the highest and lowest number of days to maturity, respectively. First capsule height showed the highest positive and significant phenotype (0.56) and genetic (0.78) correlation with grain yield. Days to the end of flowering and days to physiological maturity traits showed a negative genetic correlation with yield. Cluster analysis separated 16 sesame genotypes into four separate groups. Based on regression analysis, the height of the first capsule was identified as the most sensitive trait in predicting the yield of sesame genotypes in Dashtestan region in Bushehr province, which seems it can be considered during breeding programs.

Keywords: Cluster analysis, Oil seeds, Grain yield, Promising line

* **Corresponding Author, E-mail: d.kiani@areeo.ac.ir**