نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۱-۱۲
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JOPP.2021.16649.2523

مقاله کامل علمی-پژوهشی

تجزیه همبستگی، رگرسیون و علیت برای عملکرد دانه و صفات وابسته در لاین‌های حاصل از تلاقی SE65 × KO37 در بزرک

علی‌اکبر محمدی میریک*[۱]، زهرا حسین‌زاده[۲] و براتعلی فاخری[۳]

[۱]استادیار گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، ایران،
[۲]دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی، دانشگاه زابل، ایران،
[۳]استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی، دانشگاه زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

چکیده

سابقه و هدف: گیاهان دانه روغنی نقش مهمی در تغذیه و صنعت دارند. دانه کتان روغنی یا بزرک دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن حاوی میزان بالای اسیدهای چرب غیر اشباع به‌ویژه اسید لینولنیک می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران که به بررسی روابط بین صفات در بزرک پرداخته‌اند همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات تعداد انشعاب در بوته، تعداد کپسول در بوته و وزن ۱۰۰ دانه را گزارش کرده‌و صفت تعداد کپسول در بوته را به عنوان مهم‌ترین شاخص انتخاب در رابطه با بهبود ژنتیکی عملکرد دانه در بزرک معرفی نموده اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی روابط بین صفات مختلف با عملکرد دانه در لاین‌های F_7 حاصل از تلاقی SE65 × KO37 بزرک و تعیین بهترین شاخص‌های انتخاب غیرمستقیم در زمینه بهبود ژنتیکی عملکرد دانه با استفاده از تجزیه ضرایب همبستگی، رگرسیون و علیت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی روابط بین صفات، تعداد ۱۱۲ لاین اصلاحی حاصل از تلاقی در یک آزمایش در قالب طرح آگمنت به همراه ٦ ژنوتیپ شاهد مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت شدند. در طول فصل رشد صفات ریخت‌شناختی، فنولوژیک و زراعی هم‌چون تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا پایان گلدهی، تعداد انشعاب در بوته، تعداد کپسول در بوته، عملکرد زیستی و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS v.9.1 استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه همبستگی صفات نشان داد تعداد کپسول در بوته، تعداد انشعاب در بوته، وزن دانه در کپسول و عملکرد زیستی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در بوته داشتند. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون مرحله‌ای نشان داد که در اولین مرحله از مدل تعداد کپسول در بوته وارد مدل شد و به تنهایی توانست ۷۸ درصد از تغییرات کل را توجیه کند و وزن دانه در کپسول و تعداد انشعاب در بوته صفاتی بودند که مراحل بعد به ترتیب وارد مدل شدند و توانستند جمعاً با صفت موجود در مدل ۸۷/۸٦ درصد از تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه کنند. بر اساس نتایج تجزیه مسیر صفت تعداد کپسول در بوته

* مسئول مکاتبه: aa.mohammadi@vru.ac.ir

بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه در بوته داشت. تعداد انشعاب در بوته دارای بیش‌ترین اثر غیرمستقیم از طریق تعداد کپسول در بوته بر عملکرد دانه در بوته بود. صفت تعداد کپسول در بوته به عنوان مهم‌ترین اجزاء عملکرد دانه در بوته در جمعیت مورد مطالعه شناخته شد. تجزیه به عامل‌ها، برای همه صفات، چهار عامل پنهانی را مشخص نمود که بیش از ٦٨ درصد از تنوع موجود را توجیه نمودند.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش وجود همبستگی عملکرد دانه با تعداد کپسول در بوته و از طرفی عدم همبستگی قابل‌ملاحظه بین این صفت با دیگر اجزای عملکرد دانه می‌توان دریافت که تعداد کپسول در بوته می‌تواند به‌عنوان شاخصی جهت انتخاب برای بهبود عملکرد دانه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بزرک، تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، همبستگی

مقدمه

با توجه به رشد بی‌رویه جمعیت، نیاز به مواد غذایی روز به روز در حال افزایش است و کشاورزی تنها ابزاری است که قادر است نیازهای غذایی مورد نیاز این جمعیت عظیم را فراهم نماید. این امر پژوهشگران کشاورزی را وادار نموده است که به‌دنبال روش‌های مؤثر برای افزایش تولید مواد غذایی باشند. در میان محصولات غذایی، روغن‌ها با توجه به بازار وسیع مصرف از اهمیت خاصی برخوردارند. بزرک یک گیاه مهم دانه روغنی متعلق به تیره کتانیان است و تنها گونه در این خانواده است دارای ارزش زراعی و اقتصادی است (۲۸). بزرک گیاهی یکساله و سرمادوست است که طول دوره رشد آن حدود ۱۰۰ روز می‌باشد و به عنوان ششمین محصول روغنی در دنیا کشت می‌گردد (۳).

بزرک به ارقامی از گونه *Linum usitatissimum* گفته می‌گردد که در مقایسه با نوع الیافی آن که به کتان معروف است دارای عملکرد دانه و روغن بیش‌تر است (۲۲). مقدار روغن موجود در دانه کتان روغنی یا بزرک که برای تهیه روغن موجود در دانه آن کشت می‌شود، بین ۳۰ تا ٤٠ درصد و گاهی اوقات تا ٤٥ درصد می‌باشد. کشورهای تولیدکننده بزرک شامل کانادا، چین، هندوستان، ایالات متحده و روسیه می‌باشند و کانادا به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده بزرک در سطح جهان است به‌طوری‌که در کانادا در سال ۲۰۰۹ تولید دانه بزرک از ٦٣١٠٠٠ هکتار سطح زیر کشت این گیاه ٧٠٦٠٠٠ تن گزارش شده است (۲۹) و کشت این گیاه در ایران هم به‌صورت فرعی و پراکنده انجام می‌شود (۲۲). دانه‌های بزرک به‌دلیل داشتن اسید چرب آلفا لینولنیک و مواد فیبری به سایر مواد غذایی افزوده می‌شود. ۷۰ تا ۷۵ درصد روغن بزرک را اسید لنیولنیک تشکیل می‌دهد و به همین دلیل روغن بزرک جز روغن‌های خشک‌کننده در صنایع رنگ‌سازی کاربرد دارد (۱۳). هم‌چنین روغن بزرک داری ۲۵ درصد اسید اولیئک، ٤ درصد اسید استئاریک و ۷ درصد اسید پالمتیک و به‌علاوه حاوی مواد موسیلاژی و ویتامین‌های مختلف است. روغن این گیاه غنی‌ترین منبع اسیدهای چرب امگا -۳ در طبیعت است. اسید آلفالینولینک یک اسید چرب مهم است به این معنا که برای سلامتی انسان ضروری است، ولی بدن نمی‌تواند آن را تولید کند که باید از طریق تغذیه تأمین شود (۱۵). مقدار اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ در روغن کتان در حجم

مساوی دو برابر روغن موجود در ماهی است. توجه به رابطه بین عملکرد دانه و خصوصیات مهم زراعی یافتن شاخص‌های مناسب می‌تواند جهت اعمال گزینش برای بهبود عملکرد دانه نقش به‌سزایی داشته باشد. همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی بین صفات مختلف ممکن است به نژادگر را در گزینش غیرمستقیم برای صفات مهم از طریق صفاتی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان‌تر است یاری نماید. همبستگی بین صفات می‌تواند ناشی از پیوستگی ژنی، پلیوتروپی و یا وجود یک اثر متقابل ژنتیکی با یک جز محیطی باشد. این همبستگی‌ها بسته به این‌که مثبت یا منفی باشند بر روی مسیرگزینش تأثیر می‌گذارند (۳۰). بنابراین بررسی دقیق‌تر روابط بین صفات با عملکرد دانه به منظور تعیین بهترین شاخص‌های انتخاب غیرمستقیم به کمک تجزیه و تحلیل رگرسیون و به‌ویژه تجزیه علیت امری ضروری به نظر می‌رسد. در بررسی خصوصیات زراعی و روابط بین صفات در گیاه بزرک، نتایج سعیدی و همکاران (۲۰۰۲) حاصل از تجزیه رگرسیون برای عملکرد دانه در بوته گیاه بزرک به عنوان متغیر تابع نشان داد که تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن صد دانه به‌ترتیب متغیرهای وارد شده به مدل بودند و تعداد کپسول در بوته به تنهایی ۹۰ درصد و همراه با دو صفت دیگر حدود ۹۹ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه در بوته را توجیه نمودند (۲۲). هم‌چنین ردی و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای بر روی ۲۳ ژنوتیپ بزرک نتیجه گرفتند که عملکرد دانه با ارتفاع گیاه، تعداد کپسول در بوته، تعداد انشعاب در بوته، تعداد روز تا رسیدگی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و تجزیه ضرایب مسیر نشان داد که تعداد کپسول در بوته اثر مستقیم و مثبتی بر عملکرد دانه در بوته داشته است (۲۰). بسیاری از پژوهشگران صفت تعداد کپسول در بوته را به عنوان مهم‌ترین شاخص انتخاب در رابطه با بهبود ژنتیکی عملکرد دانه در بزرک معرفی نمودند (٤، ۱۷). هدف از این پژوهش، بررسی روابط بین صفات مختلف با عملکرد دانه و تعیین بهترین شاخص‌های انتخاب غیرمستقیم در زمینه بهبود ژنتیکی این صفات در لاین‌های حاصل از تلاقی با استفاده از تجزیه ضرایب همبستگی، رگرسیون و علیت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان انجام شد. در این تحقیق تعداد ۱۱۲ لاین F_7 حاصل از تلاقی KO37×SE65 بزرک با استفاده از طرح آگمنت به همراه ٦ ژنوتیپ شاهد در ۳ بلوک مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از تهیه بستر و عملیات آماده‌سازی زمین، ردیف‌ها به صورت جوی و پشته و با فاصله ۲۵ سانتی متر ایجاد و بذور با فاصله یک سانتی‌متر بر روی ردیف و در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند. پس از عملیات کشت بلافاصله آبیاری انجام شد، آبیاری بعدی با توجه به شرایط آب و هوایی، خاک و نیاز گیاه در فواصل ۸-۷ روز انجام شد. به منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه، کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۳ مرحله، قبل از کاشت، به ساقه رفتن و قبل از گلدهی اضافه شد. کنترل علف‌های هرز و سایر عملیات داشت به‌صورت دستی انجام شد. در طول فصل رشد و انتهای فصل رشد تمامی لاین‌ها برای صفات مختلف شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا پایان گلدهی، طول دوره گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره

پرشدن دانه، تعداد انشعاب در بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن کپسول در بوته، عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند. برداشت نهایی در اوایل تیرماه صورت گرفت و در هنگام برداشت، ۱۰ بوته از ردیف‌های میانی در هرکرت آزمایشی به عنوان نمونه اصلی انتخاب و هم‌چنین همه گیاهان در هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه برداشت گردیدند. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری حاصل از اندازه‌گیری صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS V. 9. و MINITAB v.14 انجام شد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در لاین‌های F_7 نشان داد بیش‌ترین همبستگی بین عملکرد دانه در بوته با اجزای آن، برای تعداد کپسول در بوته وجود داشت (جدول ۱). با توجه به این‌که تعداد دانه در هر کپسول در بزرک حداکثر ۱۰ عدد می‌تواند باشد اما تعداد کپسول در بوته ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی یکسان بستگی به پتانسیل ژنتیکی آن‌ها می‌تواند از تغییرات زیادی برخوردار باشد. وجود تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه در این جمعیت حاصل از تلاقی برای عملکرد دانه و از طرفی همبستگی بالای تعداد کپسول در بوته با میزان عملکرد دانه نشان می‌دهد این صفت بیش‌ترین نقش را در بروز تنوع عملکرد دانه در این جمعیت داشته است. هم‌چنین عملکرد دانه در بوته با عملکرد زیستی، وزن کپسول در بوته و تعداد انشعاب در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۱) که با نتایج سعیدی (۲۰۰۲) در بررسی روابط بین صفات در بزرک مطابقت داشت (۲۲). می‌توان نتیجه گرفت که وجود تعداد انشعاب زیاد موجب افزایش عملکرد زیستی و تعداد کپسول در بوته و نهایتاً افزایش عملکرد دانه در بوته را در برداشته است. بیدخوانی (۲۰۱٤) نیز در ارزیابی تعدادی ژنوتیپ بزرک همبستگی بالایی بین عملکرد دانه در بوته با تعداد کپسول در بوته مشاهده کرد (٤). سعیدی و همکاران (۲۰۰۲) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه در بوته با تعداد انشعاب در بوته و تعداد کپسول در بوته در گیاه بزرک گزارش کردند (۲٤). عملکرد دانه در بوته با تعداد روز از تا۵۰ درصد گلدهی همبستگی منفی ناچیز و غیرمعنی‌داری نشان داد (جدول۱). که گرچه لاین‌های اصلاحی از نظر تعداد روز تا گلدهی با یکدیگر متفاوت بودند ولی همبستگی غیرمعنی‌دار آن با عملکرد دانه بیانگر آن است که در این جمعیت طول دوره رویشی تأثیری بر معنی‌داری عملکرد دانه نداشته است. بنابراین می‌توان استنباط کرد که انتخاب برای زود گلدهی جهت جلوگیری برخورد زمان گلدهی با دمای بالای محیط تأثیر منفی بر میزان عملکرد دانه آن‌ها نخواهد داشت.

همبستگی عملکرد زیستی با تعداد انشعاب در بوته، تعداد کپسول در بوته و وزن کپسول در بوته مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۱). همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین تعداد کپسول در بوته و تعداد انشعاب در بوته وجود داشت که نشان می‌دهد پتانسیل بیش‌تر لاین‌ها از نظر تولید انشعاب در بوته باعث افزایش تعداد کپسول در بوته و هم‌چنین عملکرد زیستی می‌شود و بنابراین پنجه‌زنی از نظر تولید دارای اهمیت می‌باشد. صفت تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی با تعداد روز تا پایان گلدهی، همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). در این مطالعه ژنوتیپ‌ها زمان شروع گلدهی متفاوتی داشتند

و گلدهی آن‌ها به دلیل رشد نامحدود بودن این گیاه ادامه یافته است، ولی پایان گلدهی آن‌ها به دلیل مواجه شدن با شرایط هوای گرم در یک بازه زمانی محدود رخ داده است و این امر موجب شده تا ضریب همبستگی کم‌تر از مورد انتظار بین این دو صفت مشاهده شود. همبستگی زیاد و مثبت و معنی‌دار بین طول دوره پر شدن دانه با تعداد روز تا رسیدگی و هم‌چنین طول دوره گلدهی و از طرفی همبستگی منفی و معنی‌دار آن با تعداد روز تا گلدهی بیانگر این است ژنوتیپ‌هایی که زودتر وارد مرحله گلدهی شدند فرصت بیش‌تری برای ادامه گلدهی تا قبل از مواجهه با گرمای آخر فصل رشد داشتند و از طول دروه گلدهی و پرشدن دانه بیش‌تری برخودار بودند. (جدول ۱). نتایج مشابهی قبلاً توسط پژوهشگران دیگر برای گیاه بزرک گزارش شده است (۹، ۱۰، ۲٦).

با توجه به نتایج جدول ۲ برای عملکرد دانه در بوته چهار متغیر وارد مدل شدند که در اولین مرحله رگرسیون، صفت تعداد کپسول در بوته وارد مدل شد و به تنهایی ۷۸/٦۹ درصد تغییرات موجود برای عملکرد دانه در بوته را توجیه نمود. در مرحله دوم، صفت وزن دانه در کپسول وارد مدل شده و همراه با صفت موجود در مدل ۸٦ درصد از تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمودند و در مرحله سوم تعداد انشعاب در بوته وارد مدل شد و همراه با صفات موجود در مدل به‌ترتیب ۸۷/۸٦ درصد از تغییرات کل را توجیه نمودند (جدول ۲). در این مدل تعداد کپسول در بوته به عنوان مهم‌ترین صفت برای متغیر وابسته (عملکرد دانه در بوته) شناخته شد. که با متغیر وابسته رابطه مثبت و معنی‌داری داشت. پولادساز (۲۰۰۷) نیز در تجزیه رگرسیون در ارزیابی زراعی فامیل‌های حاصل از توده‌های بومی بزرک، صفات تعداد کپسول در بوته، را به عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد معرفی نمود (۱۸). خندان (۲۰۰۳) در بررسی تنوع ژنتیکی صفات زراعی و وراثت‌پذیری اجزای عملکرد در یک توده بومی بزرک براساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون، صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول به ترتیب مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در بوته معرفی نمود و در مطالعه آن‌ها نیز تعداد کپسول در بوته به تنهایی بیش‌ترین سهم (حدود ۸۵ درصد) را در تعیین عملکرد دانه در بوته داشت (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر در بزرک نیز تعداد کپسول در بوته مهم‌ترین نقش را در تعیین عمکرد دانه در بوته نشان داده است (۵). هم‌چنین شهریاری‌گرائی (۲۰۱٤) نتایج حاصل از رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه در بوته در گیاه بزرک گزارش کرد که تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و وزن صد دانه به ترتیب اهمیت وارد مدل شدند و جمعاً ۹۱ درصد از تغییرات مشاهده شده را برای عملکرد دانه در بوته توجیه نمودند (۲۳).

جدول ۱- ضرایب همبستگی فنوتیپی پیرسون بین صفات در لاین‌های F7 حاصل ازتلاقی SE65 × KO37 در بزرک.

Table 1. Pearson Phenotypic correlation coefficients between traits in F7 lines of linseed derived from KO37 × SE65 cross.

Number of capsules /plant	Seed yield/plant	Seed weight/capsule	Biological yield	Number of branches/plant	Plant height	Seed filling period	Days to maturity	Flowering period	Days to end of flowering	Days to 50% Flowering	صفات Traits
										1	روز تا ۵۰ درصد گلدهی Days to 50% Flowering
									1	0.31**	روز تا پایان گلدهی Days to end of flowering
								1	0.29**	0.79**	دوره گلدهی Flowering period
							1	0.68**	0.55**	0.32**	روز تا رسیدگی Days to maturity
						1	0.81**	0.62**	-0.01	-0.64**	دوره پر شدن دانه Seed filling period
					1	-0.14	-0.06	0.003	0.10	0.05	ارتفاع بوته Plant height
				1	-0.10	0.008	0.02	0.12	0.04	-0.09	تعداد انشعاب در بوته Number of branches/plant
			1	0.65**	0.01	0.006	0.04	0.09	0.06	-0.05	عملکرد بیولوژیک Biological yield
		1	0.29**	0.10	0.13	-0.06	0.02	-0.007	0.12	0.07	وزن دانه در کپسول Seed weight/capsule
	1	0.30**	0.72**	0.43**	-0.07	0.06	-0.006	-0.06	0.08	-0.09	عملکرد دانه در بوته Seed yield/plant
1	0.94**	0.03	0.69**	0.42**	-0.09	0.004	0.007	-0.03	–0.09	0.07	تعداد کپسول در بوته Number of capsules /plant

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آماری

* and ** Significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۲- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه در بوته در لاین‌های F7 حاصل از تلاقی SE65 × KO37 در بزرک.

Table 2. Result of stepwise multiple regression for seed yield/ plant in F7 lines of linseed derived from KO37 × SE65 cross.

مرحله Step	صفات Traits	ضرایب رگرسیونی Regression coefficients					R^2
		b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	
1	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	0.051	0.047*	–	–	-	78.69
2	وزن دانه در کپسول Seed weight per capsule	-1.1	0.047*	23.0*	–	-	86.06
3	تعداد انشعاب در بوته Number of branches per plant	-0.87	0.043*	17.0**	0.06**		87.86

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آماری

* and ** Significant at 5% and 1% probability level, respectively

نتایج تجزیه علیت در جدول ۳ نشان داد که تعداد کپسول در بوته بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت (۰/۹۳) را بر عملکرد دانه داشته است و از طرفی اثر غیرمستقیم منفی از طریق سایر صفات برای آن مشاهده نشد که در نهایت موجب همبستگی به میزان ۰/۹٤ برای این صفت با عملکرد دانه در بوته شد (جدول ۳). پس از تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در کپسول بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت را به میزان ۰/۲۷ بر عملکرد دانه نشان داد و اثر غیر مستقیم منفی و معنی‌دار نیز از طریق سایر صفات نداشت. تعداد انشعاب در بوته اثر مستقیم ناچیزی را بر روی صفت عملکرد دانه نشان داد (۰/۰۲) اما با استفاده از اثرات غیرمستقیم و مثبت بالایی از طریق تعداد کپسول در بوته (۰/۳۹) نشان داد که در نهایت باعث همبستگی برابر ۰/٤۳ با عملکرد دانه شد (جدول ۳). با عنایت به بیش‌ترین همبستگی تعداد کپسول در بوته با عملکرد دانه در بوته که ناشی از اثرات مستقیم این صفت می‌باشد و هم‌چنین عدم اثرات غیرمستقیم منفی می‌توان نتیجه گرفت که در این جمعیت می‌توان انتخاب بر اساس تعداد کپسول در بوته و سپس وزن دانه در کپسول را به عنوان معیاری جهت انتخاب غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد دانه مد نظر قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش در مورد بیش‌ترین اثر مستقیم صفات بر روی عملکرد دانه به‌طور نزدیکی با نتایج دیگر پژوهشگران (۸، ۱٦) مطابقت داشت. سعیدی و همکاران (۲۰۰۲) نیز در آزمایشی در گیاه بزرک نتیجه گرفتند که خصوصیات پیچیده‌ای مانند عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به‌وسیله اجزای آن تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و در برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب به منظور افزایش عملکرد دانه باید به روابط بین صفات به‌خصوص اجزای عملکرد توجه کافی نمود (۲٤).

جدول ۳- اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه در بوته در لاین‌های F7 حاصل از تلاقی ژنوتیپ بزرک SE65 × KO37.

Table 3. Direct and indirect effects of various traits on seed yield in in F7 lines of linseed derived from KO37 × SE65 cross.

ضرایب همبستگی Correlation coefficients	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effects through			صفات Traits
		X3	X2	X1	
0.94**	0.93**	0.01	0.008	-	تعداد کپسول در بوته (x_1) Number of capsules per plant
0.30**	0.2	0.0008	–	0.029	وزن دانه در کپسول (x_2) Seed weight per capsule
0.43**	0.02	–	0.02	0.39	تعداد انشعاب در بوته (x_3) Number of branches per plant

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آماری

* and ** Significant at 5% and 1% probability level, respectively

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای صفات مورد مطالعه در لاین‌های حاصل از تلاقی در جدول ۵ نشان داده شده است. واریانس هر عامل (بر حسب در صد) 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. به منظور توجیه بهتر با توجه به منطقی بودن عامل‌ها و مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، در تجزیه ماتریس واریانس کواریانس ۱۱ صفت رزاعی، چهار عامل استخراج و تفسیر گردید (جدول ٤) که سهم تجمی چهار عامل استخراجی در توجیه همه داده‌ها ٦٨ درصد می‌باشد. هرچه میزان واریانس عامل مستقل بیش‌تر باشد به اعتبار آن عامل در تفسیر تغییرات کل داده‌ها افزوده می‌شود. همان‌طور که در جدول ٤ دیده می‌شود میزان اشتراک اکثر صفات بالا است که این امر نشان می‌دهد که تعداد عامل مورد انتخاب مناسب بوده و عوامل مورد انتخاب توانسته‌اند تغییرات صفات را به نحو مطلوبی توجیه نمایند عامل اول بیش‌ترین حجم (۲۳ درصد) از تغییرات داده‌ها را در برگرفت (جدول ۵)، که دارای ضرایب بزرگ و مثبت برای، عملکرد دانه در بوته، عملکرد زیستی و تعداد کپسول در بوته بودند. بنابراین این عامل را می‌توان پتانسیل تولید دانه نام‌گذاری کرد. در صورتی که انتخاب بر اساس عامل اول انجام شود، این انتخاب بیش‌ترین تأثیر را در عملکرد دانه خواهد داشت و ژنوتیپ‌های برگزیده شده بیش‌ترین عملکرد دانه را نشان خواهند داد. عامل دوم ۱۸ درصد از تغییرات کل را توجیه نمود و در این عامل تعداد روز ۵۰ درصد گلدهی و طول دوره گلدهی دارای ضرایب عاملی بزرگ و منفی بودند. عامل سوم ١٤ در صد از کل تغییرات را توجیه نمود. این عامل دارای ضرایب مثبت و بالایی برای صفات تعداد روز تا پایان گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی بود. عامل چهارم ۱۳ درصد از تغییرات کل را توجیه نمود که بالاترین ضریب عاملی را صفت طول دوره پر شدن دانه داشت. با توجه به این‌که عامل اول مهم‌ترین عوامل توجیه‌کننده عملکرد دانه بوده و از صفاتی که در این عامل‌ها بزرگ‌ترین ضرایب عاملی را دارند می‌توان برای انتخاب بهترین لاین‌ها استفاده نمود. این اطلاعات پژوهشگر را قادر می‌سازد که تصمیم بگیرد برای افزایش عملکرد، انتخاب را چگونه انجام دهد. استفاده از روش چندمتغیره تجزیه به

عامل‌ها در شناسایی عوامل مستقلی که به طور جداگانه بر صفات مهم گیاهی مؤثر باشند، بسیار دارای اهمیت است و روز به روز گسترش می‌یابد. در تجزیه به عامل‌ها صفات مؤثر در هر عامل شناسایی و عوامل نیز براساس مؤثرترین صفات نام‌گذاری می‌شوند. این روش بهبود ژنتیکی عوامل را به واسطه صفات مرتبط با آن‌ها امکان‌پذیر می‌کند (۱۱). بیدخوانی (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به منظور بررسی تنوع ژنتیکی بزرک در مناطق مختلف جغرافیایی نتایج تجزیه به عامل‌ها نشان داد که مهم‌ترین عامل توجیه‌کننده تغییرات در صفات مورد اندازه‌گیری عامل پتانسیل عملکرد دانه می‌باشد (٤). در دیگر گیاهان نیز مطالعاتی جهت فاکتوربندی صفات با استفاده از تجزیه به عامل‌ها صورت گرفته است. در آزمایشی روی ٦٥٠ لاین بومی در گندم، روستایی و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که در تجزیه عامل‌ها ٦٥/٥٧ تغییرات موجود بین ژنوتیپ‌ها در صفات اندازه‌گیری شده توسط پنج عامل پنهانی که عامل اول آن عامل مؤثر بر اجزای عملکرد دانه بود توجیه گردید (۲۲).

جدول ٤- ضرایب عاملی صفات مورد بررسی در تجزیه به عامل‌ها در لاین‌های حاصل از تلاقی KO37×SE65.

Table 4. Factor coefficients of studied traits in factor analysis in lines derived from KO37× SE65 cross.

عامل ٤ Factor 4	عامل ۳ Factor 3	عامل ۲ Factor 2	عامل ۱ Factor 1	میزان اشترک Communality	صفات Traits
0.31	-0.29	0.90	0.037	0.97	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی Number of day to 50 % flowering
0.105	-0.98	0.066	0.084	1	تعداد روز پایان گلدهی Number of days to end of flowering
-0.261	-0.309	0.914	0.014	1	دوره گلدهی Flowering period
0.066	0.662	0.30	0.015	1	تعداد روز تا رسیدگی Number of day to maturity
-0.89	-0.121	0.429	0.078	0.23	طول دوره پر شدن دانه Seed filling period
0.177	-0.053	-0.029	-0.061	0.39	ارتفاع گیاه Plant height
-0.0188	-0.007	0.135	0.45	0.23	تعداد انشعاب در بوته Number of branches per plant
-0.074	-0.028	-0135	0.89	0.82	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant
0.093	-0.049	-0.127	0.23	0.085	وزن دانه در کپسول Seed weight per capsule
-0.063	-0.003	-0.075	0.72	0.53	عملکرد بیولوژیک Biological yield
-0.043	0.0	-0.099	0.94	0.91	عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant

ضرایب عاملی بالاتر از ۰/۵ و بدون توجه به علامت آن‌ها قابل پذیرش در نظر گرفته شد که در جدول زیر آن‌ها خط کشیده شده است.

Factor loading more than 0.5, irrespective of their sing, considered acceptable and underlined in table.

جدول ۵- مقادیر ویژه، درصد تجمعی واریانس و درصد واریانس کل برای ٤ عامل در لاین‌های حاصل از تلاقی SE65 × KO37 در بزرک.

Table 5. Specific values, cumulative percentage of variance and total variance percentage for 4 factors in lines derived from KO37 × SE65 cross.

عامل‌ها Factors	مقدار ویژه Eigen values	درصد واریانس توجیهی % of variance	درصد واریانس تجمعی % Cumulative
1	2.51	0.23	0.23
2	1.99	0.18	0.41
3	1.62	0.14	0.55
4	1.48	0.13	68.23

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی در این مطالعه همبستگی بین صفات با توجه به این‌که ژنوتیپ‌های مورد مقایسه نتاج حاصل از یک تلاقی می‌باشند که در طی چند سال بروز نوترکیبی موجب تولید لینه‌های نوترکیب گردیده است و همبستگی مشاهده شده در آن‌ها بیانگر لینکاژ بین مکان‌های ژنی کنترل‌کننده آن‌ها می‌باشد. عدم همبستگی قابل ملاحظه بین اجزای عملکرد دانه این نوید را می‌دهد که می‌توان با انجام تلاقی بین ژنوتیپ‌های با میزان بالای هر یک از اجزا عملکرد دانه و سپس انتخاب نتاج حاصل برای بهبود تک‌تک اجزا در نهایت عملکرد دانه را که یکی از اهداف مهم اصلاحی می‌باشد بهبود بخشید. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار میان تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه در بوته که عمدتاً ناشی از اثرات مستقیم این صفت بر عملکرد دانه می‌باشد و علت اصلی وجود تغییرات در عملکرد دانه لاین‌ها بود بیانگر آن است که این صفت می‌توان به عنوان معیاری جهت گزینش لاین‌های با پتانسیل عملکرد دانه بالا و پس از آن وزن دانه در کپسول می‌تواند در برنامه‌های به نژادی بزرک به عنوان مبنایی برای انتخاب قابل توصیه باشند.

منابع

1. Abd Mishani, S. and Bushehri, N. 1998. Advanced plant breeding. Volume 1. Tehran University Press, Iran. 321p. (In Persian)
2. Belete, Y.S. and Yohannes, M.T.W. 2013. Genetic variation of different crosses of linseed genotypes for some agro-morphological traits. Asian J. Crop Sci. 5: 436-443.
3. Bhatty, R.S. and Rowland, G.G. 1990. Measurement of linolenic acid in the development of edible oil flax. J. Am. Oil Chem. Soc. 67: 364-367.
4. Bidkhani, F. 2013. Investigation of genetic diversity of linseed germplasm for morphological traits and seed yield components. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan. (In Persian)
5. Diederichsen, A. 2001. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection. Plant Breed. 120: 360-362.
6. Diederichsen, A. and Ulrich, A. 2009. Variability in stem fiber content and its association with other characteristic in 1117 flax (*Linum ustatissmum* L.) gene bank accessions. Ind. Crop Prod. 30: 33-39.

7.Fofana, B., Cloutier, S., Kirby, C.W., McCallum, J. and Peterson, G. 2011. Well balanced omega-6/omega-3 ratio in developing flax bolls after heating and its implications for use as a fresh vegetable by humans. Food Res. Int. 44: 8. 2459-2464.
8.Gauraha, D. and Rao, S.S. 2011. Association analysis for yield and its characters in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Res. J. Agric. Sci. 2: 2. 258-260.
9.Ibrar, D., Ahmad, R., Mirza, M.Y., Mahmood, T., Khan, M.A. and Iqbal, M.S. 2016. Correlation and Path analysis for yield and yield components in Linseed (*Linum usitatissimum* L.). J. Agric. Res. 54: 153-159.
10.Iqbal, J.F., Hussain, M., Ali, M., Iqbal, S. and Hussain, K. 2013. Trait association of yield and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Int. J. Modern. Agric. 2: 3. 114-117.
11.Kakayi, M., Zabarkhdi, A.S., Mostafahi, A. and Raziyazad, A. 2014. Genetic diversity and relationship between traits in some canola genotypes using multivariate statistical methods in two conditions of moisture, J. Appl. Crop Breed. 2: 1. 31-45. (In Persian)
12.Khandan, A. and Saeedi, Gh. 2003. Study on agronomic characteristics, genetic diversity and relationships among traits in land races of flax in Isfahan. Iranian J. Agric. Sci. 35: 155-166. (In Persian)
13.Movahedi Dehnavi, M., Ranjbar, M., Idioui, A. and Kawasi, B. 2010. Cycoosel effect on proline, sugar solution, protein, fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) under drought stress in potted condition. J. Env. Stresses Agric. Sci. 3: 2. 129-138. (In Persian)
14.Nematallahe, Z. and Saeedi, Gh. 2010. Evaluation of drought tolerance of some genotypes of linseed (*Linum usitatissimum* L.), J. Water Res. 25: 1. 58-68. (In Persian)
15.Omidibige, R.T. 2012. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Publication, Tehran. (In Persian)
16.Pal, S.S., Gupta, T.R., Singh, I. and Singh, I. 2000. Genetic determination of yield in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Crop Improvement, 27: 1. 109-110.
17.Pooladsaz, N. and Saeedi, Gh. 2013. Genetic diversity of traits in families derived from landraces of flax (*Linum ustatissmum* L.). Iranian J. Crop Res. 8: 2. 187-193. (In Persian)
18.Pooladsaz, N. 2007. Evaluation of crop landraces lines derived from linseed, M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 81p. (In Persian)
19.Raney, J.P. and Diederichsen, A. 2002. Oil content and composition of the flax germplasm collection help by plant gene resources of Canada. Plant Gene Resources of Canada, Agriculture and Agrifood Canada, Saskatoon research center. 107 science places, Saskatoon SK, S7N 0X2.
20.Reddy, M.P., Rajasekhar, B., Arsul, T., Reddy, B. and Maheshwari, J.J. 2013. Character association and path coefficient studies in linseed. Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 9: 250-255.
21.Roustaei, M., Sadeghzadeh, M. and Arshad, Y. 2003. Investigation of the effective relationship on wheat seed yield using factor analysis in dryland conditions. J. Agric. Sci. 13: 1. 285-299. (In Persian)
22.Saeedi, Gh. 2002. Effect of planting date on seed yield and its components in genotypes with edible oil quality of flaxseed in Isfahan. J. Water and Soil Sci. 3: 175-186. (In Persian)
23.Shahriari Graee, M. 2013. Study of agronomic traits and relationships between seed yield and its components in some family of flaxseed. M.Sc Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan. Iran
24.Saeedi, Gh., Abbasi, Z. and Mirloohi, A.F. 2002. Genetic diversity, heritability and relationship between agronomic traits in flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes with yellow and brown seed color. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 10: 1. 114-99. (In Persian)

25.Saeedi, Gh., Tufi, H. and Mirloohi, A. 2005. Genetic diversity and relationships between traits in a number of safflower native populations. J. Agric. Sci. Natur. Res. 22: 11. 107-116. (In Persian)

26.Savita, S.G., Kenchanagoudar, P.V., Parameshwarappa, K.G. and Rudranaik, V. 2011. Correlation and path coefficient analysis for yield and yield related components in linseed (*Linum Usitatissimum* L.) germplasm. Karnataka J. Agric. Sci. 24: 3. 382-386.

27.Simopoulos, A.P. 1999. Essential fatty acids in health and chronic disease. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 70: 3. 560-569.

28.Tadesse, T., Singh, H. and Weyessa, B. 2009. Correlation and Path Coefficient Analysis among Seed Yield Traits and Oil Content in Ethiopian Linseed Germplasm. Int. J. Sustain Crop Prod. 4: 8-16.

29.Worku, N., Heslop-Harrison, J.S. and Adugna, W. 2015. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. Genet. Resour. Crop Evol. 62: 1037-1053.

30.Zainalzadeh Tabrizi, H. and Ghaffari, M. 2009. Regression and path analysis of seed and oil of single cross hybrid sunflower. Res. Crop Sci. 2: 6. 41-54. (In Persian)