

تعیین شاخص‌های انتخاب مناسب برای اصلاح عملکرد دانه در زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

فاطمه قاسمی^۱، امین باقی‌زاده^{۲*}، قاسم محمدی‌نژاد^۳ و حمیدرضا کاووسی^۴

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته،

کرمان، ایران، پست الکترونیک: amin_4156@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۴- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۵

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۴

چکیده

برای اصلاح صفات پیچیده‌ای مانند عملکرد، یکی از مؤثرترین روش‌ها در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب، استفاده از شاخص‌های انتخاب می‌باشد. در این پژوهش، به منظور ارزیابی کارایی شاخص‌های مختلف انتخاب، ۵۰ ژنوتیپ زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص‌های انتخاب اسمیت-هیزل ۱ و ۲ و پیکر-بیکر براساس هفت صفت ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن بذر بوته و وزن اندام هوایی بوته در دو حالت، همراه با بذر و بدون بذر محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پاسخ مستقیم و همبسته صفات نشان داد که ژنوتیپ‌های با تعداد دانه در بوته و تعداد شاخه فرعی بیشتر و ارتفاع کمتر از قابلیت عملکرد بالاتری برخوردار بودند. در شاخص اسمیت-هیزل ۱ و ۲ صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد چترک بالاترین پاسخ را به انتخاب داشتند. در حالیکه در شاخص پیکر-بیکر صفت تعداد چتر بهترین پاسخ را به انتخاب داشت. براساس نتایج بدست آمده، شاخص اسمیت-هیزل (همراه با بذر) بالاترین کارایی انتخاب را برای اصلاح عملکرد داشت و می‌تواند برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی زیره سبز مورد استفاده قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: پاسخ به انتخاب، شاخص اسمیت-هیزل، شاخص پیکر-بیکر، زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.).

مقدمه

استفاده از گیاهان دارویی و کاربردهای مربوط به آنها گرد آورده‌اند. گرایش روزافزون به سمت طب گیاهی در درمان بیماری‌ها چه در سطح جهانی و چه در داخل کشور، لزوم کشت انبوه انواع گیاهان دارویی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. کاشت گیاهان دارویی از گذشته‌های دور جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های زراعی ایران داشته و این گیاهان از نظر ایجاد تنوع و پایداری

گیاهان دارویی و معطر نقش مهمی در بهداشت و درمان مردم در سراسر دنیا به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه دارند. تا زمان ظهور پزشکی مدرن، انسان برای درمان بیماری‌های بشر و دام به گیاهان وابسته بوده‌است. جوامع انسانی در سراسر جهان در طول قرن‌ها مجموعه گسترده‌ای از دانش را در زمینه

اصلاح‌کنندگان، انتخاب همزمان برای صفات مختلف را برای حداکثر کردن ارزش اقتصادی یک گیاه مورد توجه قرار می‌دهند (Sabouri et al., 2008). در روش انتخاب براساس شاخص، گزینش همزمان برای همه خصوصیات مهم، همراه با در نظر گرفتن ارزش‌های فنوتیپی و اقتصادی و وراثت‌پذیری آنها و همبستگی بین صفات مختلف انجام می‌شود (Falconer, 1989). مطالعه همزمان چندین صفت در شکل یک معادله ریاضی به نام شاخص انتخاب، یکی از ابزارهای کارآمد به‌نژادگران در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشد (Hayes, 2007). اینگونه شاخص‌ها باید از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بوده و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار گیرند (Young, 1961؛ Asif et al., 2003). شاخص‌های انتخاب اسمیت-هیزل و پیک-بیکر از جمله این شاخص‌ها می‌باشند. Sabouri و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی وزن دانه، تعداد خوشه و طول خوشه در برنج می‌توانند معیارهای مهمی در معرفی شاخص‌های گزینشی برای انتخاب غیرمستقیم باشند. Elgin و همکاران (۱۹۷۰) کارایی انتخاب بر مبنای شاخص‌های گزینشی را در یونجه مورد بررسی قرار دادند. آنان در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که انتخاب بر مبنای شاخصی که در آن از ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و تعداد ساقه‌های گیاه استفاده شده باشد نسبت به انتخاب بر اساس عملکرد، بیش از دو برابر برتری دارد. Smith (۱۹۳۶) استفاده از شاخص‌های انتخاب را بنیان‌گذاری کرد و عنوان کرد چون ارزش ژنتیکی نمی‌تواند به‌صورت مستقیم تعیین شود، از این‌رو به‌وسیله تابع خطی از ارزش فنوتیپی تخمین زده می‌شود. بدین‌منظور از تابع تشخیص فیشر برای تعریف یک شاخص انتخاب برای لاین‌های خالص گیاهی استفاده شد. در این تابع از صفات مختلف به‌صورت همزمان به‌عنوان متغیرهایی با ضرایب وزنی متفاوت استفاده می‌شود (Smith, 1936). این تابع در سال ۱۹۴۳ بر مبنای ارزش‌های اقتصادی صفات، میزان بهبود مورد نیاز برحسب انحراف معیارها، همبستگی‌ها و پارامترهای ژنتیکی مانند وراثت‌پذیری و همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات توسعه داده شد. این تابع به برآورد واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی و

در بوم‌نظام‌ها نقش مهمی را ایفاء کرده‌اند. البته تاکنون برای اصلاح گیاهان دارویی پیشرفت قابل ملاحظه‌ای انجام نشده است و در حال حاضر تعداد ارقام مفید بدست آمده با روش‌های اصلاحی اندک می‌باشد. زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. گیاهی علفی از خانواده چتریان Apiaceae است که به‌دلیل رایحه خاص، خواص دارویی، درمانی و خوراکی دارای ارزش اقتصادی زیادی می‌باشد (Sowbhagya et al., 2008). زیره سبز امروزه بعد از فلفل سیاه به‌عنوان دومین ادویه مشهور در جهان (Bettaieb et al., 2012) و از نظر دارویی به‌عنوان مهمترین گیاه دارویی اهلی در ایران شناخته می‌شود (Kafi, 2002). ترکیب‌های تشکیل‌دهنده زیره سبز عبارتند از: پروتئین، کربوهیدرات، ترکیب‌های فیبری، کلسیم، ترکیب‌های فسفر، آهن، ویتامین‌ها و اسانس (۲-۵٪)، که در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد گسترده‌ای دارد (De et al., 2003). اسانس زیره سبز شامل گروهی از ترپنیک هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، ترکیب‌های فنلی و استرهاست و مهمترین ترکیب‌های آن بتا-پینن، اوزنول، کومین آلدئید، پرپیل آلدئید، سیمن و تیمول می‌باشد. کومین آلدئید یا کومینول با وزن مولکولی ۱۴۸/۱۳ گرم، ماده اصلی اسانس زیره سبز است (Manuel et al., 2007). متوسط عملکرد زیره سبز در سال‌های مختلف متفاوت است و معمولاً تابعی از شرایط آب و هوایی و رقم مورد استفاده می‌باشد، به‌طوری که عملکرد محصول دیم از ۱۰۴/۲ تا ۴۱۲/۸ کیلوگرم در هکتار در سال‌های مختلف متغیر است. عملکرد محصول آبی نیز در سال‌های مختلف مشابه عملکرد دیم با نوسانهایی همراه است و از ۲۴۳/۸ تا ۸۷۳ کیلوگرم در هکتار متغیر است که وابستگی شدید عملکرد را به شرایط آب و هوایی و نوع رقم در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. فقدان تحقیقات به‌زرعی و به‌نژادی در این زمینه، لزوم تحقیقات وسیع را برای معرفی ارقام مقاوم و مناسب شرایط محیطی متفاوت، در جهت افزایش عملکرد ضروری می‌کند (Kafi, 2002). عملکرد و صفات مرتبط با آن معمولاً در اغلب برنامه‌های اصلاحی به‌طور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند و چون ارزش اقتصادی یک گیاه به ارزش صفات مرتبط با عملکرد آن بستگی دارد،

۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی با میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آب و هوای کرمان براساس روش آمبرژه؛ خشک نیمه‌بیابانی می‌باشد. بافت خاک شنی لوم و اسیدپته خاک ۷/۴ می‌باشد.

مواد ژنتیکی

مواد ژنتیکی مورد بررسی شامل ۵۰ ژنوتیپ زیره سبز (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. در طول دوره آزمایش صفات مرفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن دانه بوته و وزن اندام هوایی برای تک بوته اندازه‌گیری و ثبت شد.

محاسبه پارامترها و تجزیه و تحلیل آماری

صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن بذر بوته و وزن اندام هوایی بوته پس از تأیید تنوع توسط تجزیه واریانس، در تشکیل شاخص‌های انتخاب بکار برده شدند. شاخص‌های انتخاب با توجه به رابطه پایه [۱] محاسبه شدند. در این رابطه b_i وزنی است که به هر صفت براساس ارزش آن داده می‌شود و P_i ارزش فنوتیپی آن صفت می‌باشد (Falconer, 1989). برای شاخص اسمیت-هیزل بردار b از رابطه [۲] محاسبه شد (Hazel, 1943؛ Smith, 1936) که در آن P و G به ترتیب ماتریس‌های واریانس-کوواریانس فنوتیپی و ژنتیکی می‌باشند و a ارزش اقتصادی نسبی صفات است که به دو صورت محاسبه شد، در اسمیت-هیزل ۱، این شاخص برابر یک منظور شد و در اسمیت-هیزل ۲، این شاخص برابر وراثت‌پذیری صفات قرار گرفت. شاخص پِسک-بیکر (Pesek & Baker, 1969) نیز محاسبه شد.

همچنین دادن وزن به هر صفت (ارزش اقتصادی) نیاز داشت (Hazel, 1943). Baker و Pesek (۱۹۶۹) مسئله محدودیت نسبت دادن ارزش‌های اقتصادی را به صفات کمی مطرح کردند و شاخصی را پیشنهاد کردند که در آن از واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی افراد استفاده می‌شود. Elgin و همکاران (۱۹۷۰) در مطالعه‌ای روی یونجه، شاخص پِسک-بیکر و شاخص پایه ویلیامز را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب غیرمستقیم معرفی کردند. Xie و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعه شاخص‌های انتخاب چند مرحله‌ای به‌منظور بهبود بهره ژنتیکی، نشان دادند که استفاده از شاخص انتخاب متشکل از صفات طول دمبرگ، قدرت بذردهی و وزن خشک علوفه برداشت اول و دوم، کارایی بیشتری برای انتخاب ژنوتیپ‌های شبدر قرمز با عملکرد علوفه بالا دارند. Imani و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص‌های گزینش همزمان در تولید واریته‌های ترکیبی به‌منظور اصلاح عملکرد علوفه در فستوکای بلند، نشان دادند که هرچه تعداد صفات در شاخص بیشتر باشد، کارایی انتخاب بر مبنای شاخص نسبت به انتخاب مستقیم بیشتر می‌شود. گزارش شده است که خارج کردن صفات دارای همبستگی جزئی با عملکرد می‌تواند باعث کاهش خطا و در نتیجه افزایش در بهبود ژنتیکی گردد (Baker, 1986؛ Bernardo & Yu, 2007). Marcelo و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه انتخاب مستقیم عملکرد دانه و انتخاب بر مبنای شاخص‌های اسمیت-هیزل و پِسک-بیکر در جمعیت‌های در حال تفرق سویا نشان دادند که بیشترین بهره ژنتیکی از شاخص‌های انتخاب بدست می‌آیند. در میان این دو شاخص نیز اسمیت-هیزل بهره بیشتری داشته است. در ایران تاکنون در مورد انتخاب در گیاه زیره سبز مبتنی بر شاخص‌های انتخاب، تحقیقی انجام نشده است. از این‌رو در این تحقیق شاخص‌های مختلف انتخاب برای بررسی، مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب از بین ۵۰ ژنوتیپ زیره سبز مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان واقع در

جدول ۱- ژنوتیپ‌های زیره سبز جمع‌آوری شده از نقاط مختلف ایران

شماره شناسایی	نام ژنوتیپ	ردیف	شماره شناسایی	نام ژنوتیپ	ردیف	شماره شناسایی	نام ژنوتیپ	ردیف
۱۴۵	شه میرزاد	۳۵	۹۴	کوهبنان	۱۸	۵	سروستان	۱
۱۵۸	سرخه	۳۶	۹۸	ماهان	۱۹	۱۲	سپیدان	۲
۱۵۹	ایوانکی	۳۷	۱۰۲	راور	۲۰	۱۶	سیوند	۳
۱۶۲	کلاته	۳۸	۱۰۵	رفسنجان	۲۱	۲۱	استهبان	۴
۱۶۴	اسفراین	۳۹	۱۰۸	سیرجان	۲۲	۲۲	اردکان	۵
۲۰۱	شیروان	۴۰	۱۱۳	زرند	۲۳	۲۵	بافق	۶
۲۰۲	بجنورد	۴۱	۱۱۵	قائن	۲۴	۳۱	صدوق	۷
۲۰۳	بانه	۴۲	۱۱۸	نهبندان	۲۵	۳۹	خاتم	۸
۲۰۴	گنبد	۴۳	۱۲۲	بیرجند	۲۶	۴۵	سدرویی	۹
۲۰۵	فردوس	۴۴	۱۲۳	سرایان	۲۷	۴۷	مراوه-تپه	۱۰
۲۰۶	ترت حیدریه	۴۵	۱۲۴	درمیان	۲۸	۶۲	آق‌قلا	۱۱
۲۰۷	ترت جام	۴۶	۱۳۲	فریدن	۲۹	۶۵	جت	۱۲
۲۰۸	کاشمر	۴۷	۱۳۳	سمیرم	۳۰	۶۶	گنبد	۱۳
۲۰۹	تایباد	۴۸	۱۳۴	اردستان	۳۱	۶۷	بافت	۱۴
۲۱۲	برداسکن	۴۹	۱۳۵	نابین	۳۲	۶۹	بردسیر	۱۵
۲۱۴	مشهد	۵۰	۱۴۱	خوانسار	۳۳	۷۸	چترود	۱۶
			۱۴۳	نطنز	۳۴	۸۱	جوپار	۱۷

رابطه g_i انحراف معیار ژنتیکی هر صفت، h_i جذر وراثت‌پذیری و K شدت انتخاب می‌باشد (Falconer, 1989). پاسخ همبسته برای انتخاب یک صفت از طریق گزینش برای صفات دیگر از رابطه [۵] بدست آمد (Falconer, 1989). در این رابطه r_g ضریب همبستگی ژنتیکی بین صفت مورد نظر اصلاحی و صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود. کارایی نسبی انتخاب (Relative Selection Efficiency, RSE) یا به عبارتی نسبت پاسخ غیرمستقیم انتخاب (Cry) برای عملکرد به انتخاب مستقیم (Ry) نیز از رابطه [۶] محاسبه شد.

$$[۴] R_i = kh_i \delta g_i$$

$$[۵] CR_i = kh_i r_{gij} \delta g_i$$

$$[۶] RSE = \frac{CR_y}{R_y}$$

در این شاخص به جای ارزش اقتصادی (a)، از بازده ژنتیکی مطلوب (g) یا بردار جذر واریانس فنوتیپی هر صفت استفاده می‌شود، بنابراین بردار b مطابق رابطه [۳] محاسبه می‌شود.

$$[۱] I = \sum b_i p_i$$

$$[۲] b = P - 1Ga$$

$$[۳] b = G - 1g$$

با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی در شاخص‌ها، مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ بدست آمد و مانند یک صفت مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و همبستگی آن با عملکرد محاسبه شد. واکنش به انتخاب (Response to Selection) برای هر صفت از رابطه [۴] محاسبه شد. در این

$$[۷] \Delta G = k \delta_{ii} / \delta_i$$

$$[۸] \delta_{ii} = \sum b_i \delta_{gij}$$

$$[۹] \delta_i = \sqrt{b_i p b}$$

$$[۱۰] \Delta H = \sum \Delta G_i$$

نتایج

تجزیه واریانس برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمامی صفات اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲)، از این رو صفات مذکور در تشکیل شاخص‌های انتخاب بکار برده شدند. مقادیر پاسخ به انتخاب و پاسخ همبسته براساس مقادیر وراثت‌پذیری، واریانس ژنوتیپی صفات و شدت انتخاب $k=1/755$ در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

در نهایت برای هر صفت موجود در شاخص، بازده مورد انتظار (G)، براساس انتخاب بر مبنای شاخص طبق رابطه [۷] محاسبه گردید (K با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۱۰٪ برابر با ۱/۷۵۵ در نظر گرفته شد). در این رابطه δ_{ii} کوواریانس شاخص با هر صفت می‌باشد که توسط رابطه [۸] بدست می‌آید و δ_i انحراف معیار شاخص است و برای هر شاخص از رابطه [۹] محاسبه می‌گردد. δ_{gij} در رابطه [۸] کوواریانس ژنتیکی صفات i و j می‌باشد. بهره‌مورد انتظار (H) طبق رابطه [۱۰] برای هر شاخص محاسبه شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS و داده‌پردازی و ترسیم نمودارها و جدول‌ها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ۵۰ ژنوتیپ زیره سبز کشت شده در کرمان

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع (cm)	تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر	تعداد چترک	تعداد دانه در بوته	وزن دانه تک بوته (gr)	وزن اندام هوایی تک بوته (gr)
بلوک	۲	۳/۱۵ ns	۱۵/۱۲ **	۵۶/۶۱ ns	۸۳۸/۰۸ ns	۷۹۰۲/۹ ns	۰/۱۲ ns	۰/۰۵ ns
تیمار	۴۹	۹/۵۶ **	۶/۰۴ **	۸۱/۹۲ **	۱۹۲۲/۹ **	۲۷۵۳۷/۸۲ **	۰/۲۲ **	۰/۱۱ **
خطا	۹۸	۳/۲۲	۳/۰۴	۴۶/۸۷	۸۳۸/۰۸	۱۱۱۱۵/۴۸	۰/۰۹	۰/۰۴
پاسخ مستقیم به انتخاب	$R = K \sqrt{h_b^2 + G^2}$	۲/۰۴	۱/۲۳	۳/۹۲	۱۵/۰۸	۱۰۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۹

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

جدول ۳- مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود عملکرد بذر زیره سبز از طریق انتخاب برای اجزای عملکرد

صفت	اجزای عملکرد	پاسخ همبسته	همبستگی ژنتیکی	کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به مستقیم
وزن بذر بوته	ارتفاع	۰/۱۸	۰/۶۴	۰/۰۹
	تعداد شاخه فرعی	۰/۲۴	۰/۹۴	۰/۱۹
	تعداد چتر	۰/۱۹	۰/۸۰	۰/۰۵
	تعداد چترک	۰/۲۲	۰/۸۹	۰/۰۱
	تعداد بذر بوته	۰/۲۷	۰/۹۶	۰/۰۰۲
وزن اندام هوایی بوته		۰/۲۳	۰/۸۵	۱/۲۳

جدول ۴- ضرایب b برای هریک از صفات مورد بررسی در شاخص‌های انتخاب

نام صفت	اسمیت-هیزل ۱		اسمیت-هیزل ۲		پسک-بیکر	
	شاخص ۱ (با عملکرد)	شاخص ۲ (بدون عملکرد)	شاخص ۳ (با عملکرد)	شاخص ۴ (بدون عملکرد)	شاخص ۵ (با عملکرد)	شاخص ۶ (بدون عملکرد)
بذر/بوته عملکرد	۱۲۹/۵۷		۷۵/۴۶		۱۰/۷۷	
ارتفاع	۱۵/۵۲	۱۵/۱۰	۸/۸۱	۸/۵۷	۰/۰۵	۰/۲۱
تعداد شاخه فرعی	۶۳/۷۱	۵۸/۱۲	۳۶/۵۰	۳۳/۲۵	-۰/۲۹	۰/۳۳
تعداد چتر	-۲/۸۸	-۲/۶۵	-۱/۷۳	-۱/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۰
تعداد چترک	-۶/۱۶	-۶/۳۷	-۳/۵۰	-۳/۶۲	-۰/۰۱	-۰/۱۴
تعداد دانه بوته	۰/۱۱	۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۲۹	-۰/۰۳	-۰/۰۰۰۱
وزن اندام هوایی	۳۰۵/۳۳	۳۳۹/۰۳	۱۶۹/۶۱	۱۸۹/۲۳	۳/۵۱	۶/۰۱

*اسمیت-هیزل ۱: در این شاخص وزنه‌های اقتصادی برابر یک منظور شد.

*اسمیت-هیزل ۲: در این شاخص وزنه‌های اقتصادی برابر وراثت‌پذیری صفات قرار گرفت.

ضرایب هر یک از صفات در شاخص اسمیت-هیزل ۱ و اسمیت-هیزل ۲ و پسک-بیکر در دو حالت، همراه با عملکرد دانه و بدون عملکرد در جدول ۴ آورده شده‌اند. پس از محاسبه شاخص‌ها با استفاده از فرمول و با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی صفات در هر یک از شاخص‌ها مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ بدست آمد (جدول ۵). سپس هر یک از شاخص‌ها به‌عنوان یک صفت مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و پارامترهای آماری مربوط به شاخص‌ها و کارایی انتخاب براساس شاخص‌ها نیز مورد محاسبه قرار گرفتند (جدول ۵).

بحث

در بین صفات مورد بررسی، صفت تعداد دانه تک بوته بیشترین پاسخ مستقیم را به انتخاب نشان داد (جدول ۲). این می‌تواند به علت بیشتر بودن واریانس ژنتیکی تعداد بذر در بوته نسبت به سایر صفات باشد. پاسخ همبسته برای صفت وزن دانه تک بوته از طریق تعداد دانه در بوته نیز بیشترین مقدار را داشت (جدول ۳). پاسخ

همبسته برای وزن دانه بوته از طریق صفات ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد بذر دانه و وزن اندام هوایی بوته مثبت بود، یعنی با افزایش این صفات عملکرد افزایش می‌یابد. به عبارتی این ۶ صفت می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی برای افزایش عملکرد بذر زیره سبز مورد توجه قرار گیرند. بعد از تعداد دانه در بوته، صفت تعداد شاخه فرعی در بوته بیشترین پاسخ همبسته را برای صفت وزن بذر بوته دارا بود (جدول ۳). بنابراین می‌توان دو صفت تعداد دانه در بوته و تعداد شاخه فرعی را به‌عنوان صفاتی مناسب برای انتخاب در جهت بهبود عملکرد معرفی کرد.

نتایج ارزیابی کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد بذر نشان داد که کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد بذر از طریق وزن اندام هوایی بیشترین مقدار بود که نشان می‌دهد انتخاب غیرمستقیم از طریق این صفت می‌تواند تا حد بالایی برای بهبود غیرمستقیم عملکرد بذر موفقیت‌آمیز باشد (جدول ۳).

جدول ۵- وزن بذر بوته، مقادیر شاخص‌های انتخاب و پارامترهای وابسته

رتبه ژنوتیپ‌های برتر	عملکرد (gr)	اسمیت-هیزل*۱		اسمیت-هیزل*۲		پسک-بیکر	
		شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۳	شاخص ۴	شاخص ۵	شاخص ۶
۱	۱/۷۶(۶۵)	۶۸۷/۹۹(۶۵)	۶۴۳/۷۸(۶۵)	۳۹۲/۷۲(۶۵)	۳۶۶/۹۸(۶۵)	۱۸/۲۰(۶۵)	۱۴/۱۹(۶۵)
۲	۱/۴۳(۲۰۶)	۵۸۴/۲۷(۲۰۶)	۵۶۲/۹۱(۲۰۶)	۳۳۲/۸۲(۲۰۶)	۳۲۰/۶۲(۱۲۴)	۱۵/۳۸(۱۲)	۱۳/۳۳(۱۲)
۳	۱/۰۸(۲۱)	۵۷۳/۵۶(۱۲۳)	۵۶۲/۹۰(۳۱)	۳۲۷/۰۷(۱۲۳)	۳۱۹/۹۱(۲۰۶)	۱۵/۱۱(۲۰۶)	۱۲/۸۸(۲۰۶)
۴	۱/۰۷(۱۲۴)	۵۷۳/۵۵(۲۱)	۵۶۲/۰۸(۲۰۶)	۳۲۶/۶۴(۱۲۴)	۳۱۹/۳۵(۳۱)	۱۳/۰۴(۱۶۴)	۱۲/۵۷(۱۰۲)
۵	۱/۰۷(۲۰۵)	۵۷۳/۲۴(۱۲۴)	۵۵۴/۷۱(۵)	۳۲۶/۵۶(۲۱)	۳۱۵/۹۶(۵)	۱۲/۹۱(۱۰۵)	۱۲/۱۴(۲۱۰)
۶	۱/۰۴(۱۲)	۵۶۹/۳۱(۵)	۵۵۳/۷۱(۲۱)	۳۲۴/۴۶(۵)	۳۱۵/۰۱(۲۱)	۱۲/۸۸(۲۱۰)	۱۱/۶۷(۴۵)
۷	۱/۰۴(۵)	۵۵۸/۵۴(۳۱)	۵۴۵/۸۴(۱۲۳)	۳۱۷/۲۶(۳۱)	۳۱۰/۹۳(۱۲۳)	۱۲/۸۵(۴۵)	۱۱/۵۱(۲۱)
۸	۱/۰۱(۴۷)	۵۵۲/۰۴(۲۰۵)	۵۳۰/۰۷(۲۰۵)	۳۱۴/۴۸(۲۰۵)	۳۰۱/۶۹(۲۰۵)	۱۲/۵۵(۴۷)	۱۱/۴۲(۴۷)
۹	۰/۹۹(۳۱)	۵۲۱/۲۴(۴۷)	۴۹۹/۲۳(۴۷)	۲۹۶/۴۵(۴۷)	۲۸۳/۶۴(۴۷)	۱۲/۲۰(۲۱)	۱۱/۳۸(۳۱)
۱۰	۰/۹۷(۱۰۵)	۴۹۹/۱۰(۲۱۰)	۴۸۱/۶۶(۲۵)	۲۸۲/۴۲(۲۱۰)	۲۷۴/۳۸(۲۵)	۱۱/۹۹(۱۵۸)	۱۱/۲۱(۱۰۵)
۱۱	۰/۹۰(۱۶۴)	۴۸۹/۵۴(۱۴۳)	۴۷۹/۳۶(۱۰۲)	۲۷۸/۶۵(۱۴۳)	۲۷۲/۰۳(۱۵۹)	۱۱/۱۳(۱۶)	۱۱/۱۱(۶۲)
۱۲	۰/۸۸(۱۳۳)	۴۸۷/۸۱(۲۵)	۴۷۸/۸۱(۱۵۹)	۲۷۷/۹۶(۲۵)	۲۷۱/۹۶(۱۰۲)	۱۱/۱۰(۱۰۲)	۱۱/۰۴(۱۶۲)
۱۳	۰/۸۲(۲۰۸)	۴۸۴/۹۹(۱۵۹)	۴۶۶/۸۵(۲۱۰)	۲۷۵/۶۳(۱۵۹)	۲۶۴/۷۶(۶۶)	۱۱/۰۷(۳۱)	۱۰/۹۵(۱۵۸)
۱۴	۰/۸۰(۴۵)	۴۷۷/۷۰(۱۳۳)	۴۶۵/۴۵(۶۶)	۲۷۱/۹۵(۱۳۳)	۲۶۴/۰۵(۱۴۳)	۱۱/۰۵(۶۲)	۱۰/۷۷(۱۲۴)
۱۵	۰/۷۷(۲۰۲)	۴۷۲/۶۹(۶۶)	۴۶۴/۴۶(۱۴۳)	۲۶۸/۹۶(۶۶)	۲۶۳/۶۴(۲۱۰)	۱۰/۸۱(۲۰۲)	۱۰/۳۸(۲۰۲)
۱۶	۰/۷۵(۳۹)	۴۷۲/۵۳(۱۱۳)	۴۶۱/۷۴(۲۰۷)	۲۶۵/۶۸(۱۱۳)	۲۶۲/۲۵(۲۰۷)	۱۰/۵۲(۲۰۵)	۱۰/۲۲(۱۴۹)
۱۷	۰/۷۲(۲۰۴)	۴۷۲/۴۴(۱۰۲)	۴۵۷/۳۶(۱۳۳)	۲۶۵/۶۵(۱۰۲)	۲۶۰/۱۱(۱۳۳)	۱۰/۵۱(۱۲۴)	۹/۹۸(۵)
۱۸	۰/۷۱(۶۲)	۴۶۷/۷۹(۴۵)	۴۵۵/۸۹(۱۱۳)	۲۶۵/۶۳(۲۰۷)	۲۵۹/۱۶(۱۱۳)	۱۰/۴۳(۱۳۳)	۹/۹۶(۲۰۵)
۱۹	۰/۷۱(۶۶)	۴۶۷/۵۴(۲۰۷)	۴۴۹/۳۵(۱۴۹)	۲۶۵/۴۸(۴۵)	۲۵۵/۴۳(۱۴۹)	۱۰/۱۷(۲۰۴)	۹/۶۸(۳۹)
۲۰	۰/۷۰(۱۲۲)	۴۶۲/۴۹(۶۲)	۴۴۸/۴۴(۴۵)	۲۶۳/۰۴(۶۲)	۲۵۴/۲۱(۴۵)	۹/۷۷(۲۲)	۹/۶۴(۲۰۷)
۲۱	۰/۷۰(۱۴۳)	۴۵۹/۳۲(۲۰۲)	۴۴۵/۵۵(۶۲)	۲۶۱/۰۸(۲۰۲)	۲۵۳/۱۷(۶۲)	۹/۷۴(۵)	۹/۶۰(۲۰۹)
۲۲	۰/۷۰(۱۳۲)	۴۵۴/۰۸(۱۴۹)	۴۴۰/۵۵(۲۰۲)	۲۵۸/۱۸(۱۴۹)	۲۵۰/۱۵(۲۰۲)	۹/۷۳(۱۶۹)	۹/۵۶(۲۲)
۲۳	۰/۶۹(۱۵۸)	۴۵۳/۴۱(۱۰۵)	۴۳۶/۱۴(۱۰۵)	۲۵۷/۷۲(۱۰۵)	۲۴۷/۶۷(۱۰۵)	۹/۴۷(۳۹)	۹/۵۲(۱۳۳)
۲۴	۰/۶۸(۲۰۷)	۴۵۰/۶۴(۱۲)	۴۳۳/۶۴(۱۲)	۲۵۶/۳۷(۱۲)	۲۴۷/۰۰(۱۱۸)	۹/۴۳(۲۰۷)	۹/۴۸(۷۸)
۲۵	۰/۶۸(۱۵۹)	۴۴۷/۰۴(۱۳۲)	۴۳۳/۵۸(۱۱۸)	۲۵۴/۳۳(۱۳۲)	۲۴۶/۴۱(۱۲)	۹/۳۶(۱۳۵)	۹/۴۲(۲۵)
۲۶	۰/۶۸(۱۲۳)	۴۴۳/۰۴(۱۱۸)	۴۳۲/۸۷(۱۶۲)	۲۵۲/۵۰(۱۱۸)	۲۴۵/۵۳(۱۶۲)	۹/۳۴(۹۸)	۹/۴۱(۱۶۴)
۲۷	۰/۶۷(۱۰۲)	۴۴۱/۷۶(۳۹)	۴۳۰/۱۲(۱۳۲)	۲۵۱/۶۸(۳۹)	۲۴۴/۴۷(۱۳۲)	۹/۲۳(۲۰۸)	۹/۳۹(۱۳۲)
۲۸	۰/۶۷(۹۸)	۴۴۰/۶۹(۱۶۲)	۴۲۶/۶۰(۲۰۹)	۲۵۰/۰۸(۱۶۲)	۲۴۲/۱۵(۸۱)	۹/۲۱(۱۳۴)	۹/۱۸(۶۷)
۲۹	۰/۶۶(۱۱۳)	۴۳۸/۸۶(۸۱)	۴۲۶/۲۵(۸۱)	۲۴۹/۴۹(۸۱)	۲۴۲/۰۲(۲۰۹)	۹/۱۵(۱۳۲)	۹/۰۸(۱۴۳)
۳۰	۰/۶۵(۱۴۵)	۴۳۳/۲۳(۲۰۹)	۴۲۳/۳۲(۳۹)	۲۴۵/۸۸(۲۰۹)	۲۴۰/۹۵(۳۹)	۹/۱۱(۱۰۸)	۹/۰۱(۶۶)
۳۱	۰/۶۵(۱۱۸)	۴۲۶/۲۴(۶۷)	۴۰۹/۳۷(۶۷)	۲۴۱/۶۱(۶۷)	۲۳۲/۳۴(۷۸)	۸/۷۹(۷۸)	۸/۹۶(۱۲۳)

پسک-بیکر		اسمیت-هیزل*۲		اسمیت-هیزل*۱		عملکرد (gr)	رتبه ژنوتیپ‌های برتر
شاخص ۶	شاخص ۵	شاخص ۴	شاخص ۳	شاخص ۲	شاخص ۱		
۸/۹۰(۲۰۹)	۸/۷۴(۱۴۹)	۲۳۱/۷۹(۶۷)	۲۳۸/۰۸(۷۸)	۴۰۹/۲۳(۷۸)	۴۱۹/۱۰(۷۸)	۰/۶۴(۱۳۴)	۳۲
۸/۷۸(۱۴۵)	۸/۶۱(۱۴۳)	۲۲۸/۳۶(۱۴۱)	۲۳۵/۴۵(۲۰۸)	۴۰۱/۱۴(۱۴۱)	۴۱۲/۶۸(۲۰۸)	۰/۵۹(۲۰۹)	۳۳
۸/۷۷(۱۳۴)	۸/۵۸(۶۷)	۲۲۶/۸۶(۱۵۸)	۲۳۲/۰۰(۱۵۸)	۴۰۰/۵۶(۱۵۸)	۴۰۹/۴۰(۱۵۸)	۰/۵۸(۲۵)	۳۴
۸/۶۴(۱۳۵)	۸/۴۳(۱۲۲)	۲۲۲/۱۸(۲۰۳)	۲۲۷/۸۱(۱۴۱)	۳۹۱/۸۵(۲۰۳)	۴۰۰/۲۲(۱۴۱)	۰/۵۷(۱۴۹)	۳۵
۸/۶۳(۲۰۳)	۸/۳۹(۱۴۵)	۲۱۷/۹۱(۱۴۵)	۲۲۴/۴۴(۹۸)	۳۸۳/۴۳(۱۴۵)	۳۹۴/۷۹(۹۸)	۰/۵۷(۲۲)	۳۶
۸/۴۶(۸۱)	۸/۲۷(۹۴)	۲۱۵/۷۷(۱۳۴)	۲۲۲/۲۰(۱۳۴)	۳۸۰/۱۳(۱۳۴)	۳۹۱/۱۸(۱۳۴)	۰/۵۷(۱۶)	۳۷
۸/۴۵(۱۱۳)	۸/۲۲(۲۰۹)	۲۰۹/۵۰(۱۲۲)	۲۲۱/۴۸(۲۰۳)	۳۶۸/۹۵(۱۲۲)	۳۹۰/۶۵(۲۰۳)	۰/۵۷(۷۸)	۳۸
۸/۳۴(۱۶)	۸/۰۱(۱۵۹)	۲۰۷/۳۱(۲۰۸)	۲۱۹/۷۵(۱۲۲)	۳۶۴/۳۶(۲۰۸)	۳۸۶/۵۶(۱۲۲)	۰/۵۶(۱۳۵)	۳۹
۸/۲۵(۲۱۴)	۷/۹۱(۶۶)	۲۰۳/۷۵(۲۲)	۲۱۶/۹۱(۱۴۵)	۳۵۹/۶۱(۲۰۲)	۳۸۱/۷۳(۱۴۵)	۰/۵۵(۱۴۱)	۴۰
۸/۱۱(۲۰۴)	۷/۴۴(۱۱۳)	۲۰۱/۲۶(۱۳۵)	۲۰۹/۸۳(۱۳۵)	۳۵۵/۰۹(۱۳۵)	۳۶۹/۸۰(۱۳۵)	۰/۵۳(۸۱)	۴۱
۷/۹۲(۱۲۲)	۷/۲۳(۲۰۳)	۱۹۲/۹۱(۹۸)	۲۰۹/۰۸(۲۲)	۳۴۰/۶۴(۹۸)	۳۶۸/۷۷(۲۲)	۰/۵۱(۱۰۸)	۴۲
۷/۸۷(۹۴)	۷/۱۹(۸۱)	۱۸۹/۴۴(۲۰۴)	۲۰۴/۳۶(۲۰۴)	۳۳۳/۶۳(۲۰۴)	۳۵۹/۵۶(۲۰۴)	۰/۴۵(۲۱۰)	۴۳
۷/۸۴(۱۱۸)	۶/۹۰(۲۵)	۱۷۸/۲۶(۱۱۵)	۱۸۶/۷۶(۱۱۵)	۳۱۴/۸۱(۱۱۵)	۳۲۹/۴۲ (۱۱۵)	۰/۴۵(۱۶۲)	۴۴
۷/۵۵(۱۰۸)	۶/۸۷(۱۲۳)	۱۷۱/۴۶(۹۴)	۱۸۴/۸۴(۱۶۴)	۳۰۳/۱۵(۹۴)	۳۲۵/۶۵(۱۶۴)	۰/۴۴(۲۰۳)	۴۵
۷/۲۰(۲۰۸)	۶/۶۷(۱۱۵)	۱۷۰/۶۹(۱۶۴)	۱۸۱/۶۳(۹۴)	۳۰۱/۳۶(۱۶۴)	۳۲۰/۶۹(۹۴)	۰/۴۴(۱۱۵)	۴۶
۶/۸۶(۹۸)	۶/۳۵(۱۴۱)	۱۶۰/۵۸(۱۰۸)	۱۷۵/۲۲(۱۰۸)	۲۸۴/۰۱(۱۰۸)	۳۰۹/۱۴(۱۰۸)	۰/۴۲(۶۷)	۴۷
۶/۷۶(۱۱۵)	۶/۱۸(۱۱۸)	۱۵۰/۸۶(۶۹)	۱۵۳/۹۷(۱۶)	۲۶۶/۱۷(۶۹)	۲۷۲/۶۰(۱۶)	۰/۳۴(۹۴)	۴۸
۵/۱۹(۶۹)	۴/۰۱(۲۰۱)	۱۴۳/۲۸(۱۶)	۱۵۲/۳۲(۶۹)	۲۵۴/۲۴(۱۶)	۲۶۸/۸۲(۶۹)	۰/۳۴(۲۰۱)	۴۹
۴/۸۵(۲۰۱)	۳/۷۶(۶۹)	۱۳۰/۳۰(۲۰۱)	۱۳۸/۲۷(۲۰۱)	۲۲۷/۹۸(۲۰۱)	۲۴۱/۶۲(۲۰۱)	۰/۲۴(۶۹)	۵۰
۲/۰۲	۲/۶۳	۱۴۴۲/۷۵	۱۱۹۶/۲۷	۴۳۸۹/۸۸	۳۶۴۳/۳۲	۰/۰۴۳	واریانس ژنتیکی
۰/۵۶	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۵۷	وراثت‌پذیری
۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵		پاسخ همبسته
۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷		کارایی انتخاب
۱۰	۸	۸	۱۰	۹	۹		تعداد ژنوتیپ برتر*

اعداد داخل پرانتز: شماره شناسایی ژنوتیپ‌ها

کارایی انتخاب از طریق شاخص بهره مورد انتظار (H) و پاسخ صفات به انتخاب براساس شاخص بازده مورد انتظار (G) در جدول ۶ نشان داده شده‌است.

جدول ۶- کارایی انتخاب از طریق شاخص بهره مورد انتظار (H) و پاسخ صفات به انتخاب براساس شاخص بازده مورد انتظار (G)

شاخص	حالت شاخص	عملکرد	ارتفاع	G				H
				تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر	تعداد چترک	تعداد دانه در بوته	
اسمیت-هیزل ۱	شاخص ۱	۳۶/۸۰	۲۶/۲۷	۸۰/۳۵	-۱۵/۵۴	-۱۳۵/۲۳	۱۳/۸۹	۶۵/۱۰
	شاخص ۲	۷۵/۵۲	۲۴/۷۵	۷۵/۵۲	-۱۳/۵۶	-۱۳۱/۴۱	۵۷/۸۲	۶۹/۴۶
اسمیت-هیزل ۲	شاخص ۳	۲۱/۴۹	۱۴/۸۶	۴۵/۹۵	-۹/۳۴	-۷۶/۶۹	۸/۷۲	۳۶/۱۳
	شاخص ۴	۱۴/۰۳	۱۴/۰۳	۴۳/۳۰	-۸/۱۹	-۷۴/۷۷	۳۴/۳۴	۳۸/۸۵
پسک-بیکر	شاخص ۵	۱/۹۱	۰/۰۵	-۰/۲۷	۱/۹۷	-۰/۱۴	-۲/۲۴	۰/۴۳
	شاخص ۶	۰/۳۴	۰/۳۴	۲/۷۲	۲/۳۳	-۲/۳۰	-۲/۳۰	۱/۰۱

در شاخص‌ها بیشترین مقدار ضریب شاخص متعلق به صفت وزن اندام هوایی در شاخص‌های ۴، ۳، ۲، ۱ و ۶ و عملکرد دانه در شاخص ۵ بود (جدول ۴). بنابراین، انتخاب بر مبنای این شاخص‌ها منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که وزن اندام هوایی و عملکرد دانه بیشتری دارند. تعداد چتر و تعداد چترک در شاخص (۳، ۲، ۱ و ۴)، تعداد شاخه فرعی در شاخص (۵) و تعداد چترک و تعداد دانه در بوته در شاخص (۵ و ۶) ضرایب منفی به خود اختصاص دادند. ضرایب منفی حکایت از اثر کاهشده این صفات در شاخص‌های مربوطه دارد (جدول ۴). نتایج نشان داد که شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲ (شاخص‌های ۳، ۲، ۱ و ۴) نسبت به شاخص‌های پسک-بیکر (شاخص‌های ۵ و ۶) از واریانس ژنتیکی، پاسخ همبسته و کارایی انتخاب بیشتری برخوردار بودند. البته دو شاخص اسمیت-هیزل ۱ و ۲ تفاوتی از نظر پاسخ همبسته و کارایی انتخاب نشان ندادند. در نتیجه، شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲ با بیشترین کارایی انتخاب به‌عنوان شاخص‌های مؤثرتر برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر معرفی شدند. این شاخص‌ها هر یک توانستند ژنوتیپ‌هایی را به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی کنند که از نظر وزن بذر بوته نیز برتر بودند. به‌طور کلی در شاخص‌های ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ و ۶ به‌ترتیب ۸، ۸، ۱۰، ۹، ۹ و

۱۰ ژنوتیپ جزء ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد بودند (جدول ۵). در مجموع شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲ همراه با عملکرد، با بیشترین کارایی انتخاب نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی و همچنین نسبت به انتخاب مستقیم عملکرد به‌عنوان شاخص مؤثرتر برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر معرفی شدند. در شاخص‌های ۴، ۳، ۲، ۱ و ۶ تعداد شاخه فرعی و در شاخص ۵ تعداد چتر بیشترین پاسخ را به انتخاب داشتند (جدول ۶). بنابراین انتخاب براساس شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲ بیشتر از سایر شاخص‌ها، منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی خواهد شد. در حالی که انتخاب براساس شاخص پسک-بیکر در دو حالت، به‌دلیل پاسخ به انتخاب منفی و پایین عملکرد، منجر به کاهش عملکرد خواهد شد. با توجه به کارایی انتخاب شاخص‌های مورد بررسی (جدول ۶)، شاخص اسمیت-هیزل ۱ و ۲ بازده انتخاب بالاتری نسبت به شاخص پسک-بیکر داشتند. Biswas و همکاران (۲۰۰۱) در سورگوم، Ranalli و همکاران (۱۹۹۱) در لوبیا و Robinson و همکاران (۱۹۵۱) در ذرت از شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد و سایر صفات مهم اقتصادی گیاهان مربوطه استفاده کرده‌اند. از این رو یادآوری می‌گردد، به‌دلیل تأثیرگذاری عوامل محیطی بر عملکرد و ترکیب‌های

- Darvish, F., 2009. Selection indices application to improve tall fescue synthetic varieties for yield and quality traits in Ardebil province. Iranian Journal of Rangelands and Forests plant Breeding and Genetic Research, 16: 273-284.
- Kafi, M., 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, 195p.
 - Manuel, V.M., Yolanda, R.N., Juana, F.L. and Jose, A.P.A., 2007. Chemical composition of essential oil obtained from some spices widely used in mediterranean region. Acta Chimica Slovenica, 54: 921-926.
 - Marcelo, M.C., Antonio, D.M.O., Sandra, U., Nair, C.A., Ivana, M.B., Guustavo, D.S. and Romero, S.M.F., 2008. Analysis of direct and indirect selection and indices in soyabean segregating population. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 8: 447-455.
 - Pesek, J. and Baker, R.J., 1969. Desired improvement in relation to selection indices. Canadian Journal Plant Science, 49: 803-804.
 - Ranalli, P., Ruaro, G. and Delre, P., 1991. Response to selection for seed yield in bean (*Phaseolus vulgaris*). Euphytica, 57: 117-123.
 - Robinson, H.F., Comstock, R.E. and Harvey, P.H., 1951. Genotypic and phenotypic correlation and their implications in selection. Agronomy Journal, 43: 282-287.
 - Sabouri, H., Rabiei, B. and Fazlalipour, M., 2008. Use of selection indices based on multivariate analysis for improving grain yield in rice. Rice Science, 15: 303-310.
 - Smith, H.F.A., 1936. Discriminant function for plant selection. Annals of Eugenetics, 7: 240-250.
 - Sowbhagya, H.B., Sathyendra Rao, B.V. and Krishnamurthy, N., 2008. Evaluation of size reduction and expansion on yield and quality of cumin (*Cuminum cyminum*) seed oil. Journal of Food Engineering, 84(4): 595-600.
 - Xie, C., Xu, S. and Mosjidis, J.A., 1997. Multistage selection indices for maximum genetic gain and economic efficiency in red clover. Euphytica, 98: 75-82.
 - Young, S.S.Y., 1961. A further examination of the relative efficiency of three methods of selection for genetic gains under less restricted conditions. Genetic Research, 2: 106-121.
- اسانس گیاهان معطر، در اصلاح و معرفی ارقام جدید از طریق شاخص‌های انتخاب اطلاع از میزان تأثیر عوامل محیطی بر نوع و مقدار ترکیب‌های مؤثره از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین بهتر است که کمیّت و کیفیت اسانس ارقام به‌عنوان صفات مهم اقتصادی مورد توجه قرار گیرد و یا در شاخص انتخاب وارد شود.
- ### منابع مورد استفاده
- Asif, M., Mujahid, M.Y., Ahmad, I., Kisana, N.S., Asim, M. and Mustafa, S.Z., 2003. Determining the direct selection criteria for identification of high yielding lines in bread wheat (*Triticum aestivum*). Pakistan Journal of Biological Science, 6:45-50.
 - Baker, R.J., 1986. Selection Indices in Plant breeding. CRC Press Inc., 218p.
 - Biswas, B.K., Hasanuzzaman, M., El-Taj, F., Alam, M.S. and Amin, M.R., 2001. Simultaneous selection for fodder and grain yield in sorghum. Journal of Biological Science, 1: 321-323.
 - Bernardo, R. and Yu, J., 2007. Prospects for genome wide selection for quantitative traits in maize. Crop Science, 47: 1082-1090.
 - Bettaieb, R.I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products, 36: 238-245.
 - De, M., De, A.K., Mukhopadhyay, R., Banerjee, A.B. and Miró, M., 2003. Antimicrobial activity of *Cuminum cyminum* L. Ars Pharmaceutica, 44(3): 257-269.
 - Elgin, J.H., Hill, R.R. and Zeiders, K.E., 1970. Comparison of four methods of multiple trait selection for five trait in alfalfa. Crop Science, 10: 190-193.
 - Falconer, D.S., 1989. Introduction to Quantitative Genetics. (3rd edition) Longman, New York, 415p.
 - Hayes, H.K., 2007. Methods of plant Breeding. Kosta Press, 448p.
 - Hazel, L.N., 1943. The genetic Basis for construction selection indexes. Genetics, 28: 476-490.
 - Imani, A.A., Jafari, A.A., Chokan, R., Asgari, A. and

Evaluation of selection indices for improving grain yield in *Cuminum cyminum* L.

F. Ghasemi¹, A. Baghizadeh^{2*}, Gh. Mohammadinejad³ and H.R. Kavooosi⁴

1- Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2*- Corresponding author, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran, E-mail: amin_4156@yahoo.com

3- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4- Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: November 2015

Revised: April 2016

Accepted: June 2016

Abstract

The selection indices is one of the most effective methods for improving complex traits such as yield. In the current study, 50 genotypes of cumin (*Cuminum cyminum* L.) were evaluated to assess the efficiency of different selection indices. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in the Research Farm of Shahid Bahonar University, Kerman, Iran in 2011-2012. The Smith-Hazel and Pesek-Baker indices were evaluated based on seven traits including plant height, number of branches, number of umbels/plant, number of umbelets/plant, number of seeds/plant, seed yield/plant and shoot weight (with and without seed). The results of response to selection and relative selection efficiency indicated that the genotypes with higher number of seeds and branches/plant and lower plant height had the highest yield potential. In the Smith-Hazel index, number of branches and umbelets/plant had the highest response to selection, while in the Pesek-Baker index, the number of umbels/plant had the highest response to selection. Our results indicated that the Smith-Hazel index had the most selection efficiency and could be used in cumin breeding programs.

Keyword: Response to selection, Smith-Hazel index, Pesek-Baker index, cumin (*Cuminum cyminum* L.).