

بهبود عملکرد بذر ژنوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با استفاده از شاخص‌های مختلف گزینش در شرایط تنش خشکی

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

۱- کارشناس ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

۲- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

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

کرمان، ایران، پست الکترونیک: A.Baghizadeh@kgut.ac.ir

۴- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۷

چکیده

برای بهبود صفات پیچیده‌ای مانند عملکرد، یکی از مؤثرترین روش‌ها در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب، استفاده از شاخص‌های انتخاب می‌باشد. در این پژوهش، به منظور ارزیابی کارایی روش‌های مختلف انتخاب در شرایط تنش، ۴۹ ژنوتیپ برتر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) منتخب سال دوم یک طرح دوساله، در یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط تنش خشکی در سال ۱۳۹۱ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص‌های انتخاب اسمیت-هیزل ۱ و ۲ و پیکر-براساس هفت صفت ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن بذر بوته و وزن اندام هوایی بوته محاسبه شدند. همچنین پاسخ‌های مستقیم و همبسته این صفات همراه عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بدست آمد. هر سه شاخص در دو شکل، همراه با عملکرد و بدون عملکرد نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پاسخ مستقیم و همبسته صفات نشان داد که در شرایط تنش ژنوتیپ‌هایی با تعداد دانه در بوته و تعداد چترک بیشتر از توان عملکرد بالاتری برخوردار بودند. در شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲، صفت تعداد دانه در بوته و تعداد چترک بالاترین پاسخ به انتخاب را داشتند، در حالی که در شاخص پیکر-براساس هفت صفت شاخه فرعی بالاترین پاسخ به انتخاب را به خود اختصاص داد. نتایج حکایت از این داشت که شاخص انتخاب اسمیت-هیزل بالاترین کارایی انتخاب را دارد و می‌تواند برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در برنامه اصلاحی زیره سبز در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پاسخ به انتخاب، شاخص اسمیت-هیزل، شاخص پیکر-براساس هفت صفت، تنش خشکی.

مقدمه

به طوری که کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی دیگر است. خشکی به عنوان یک استرس اسمزی بر جنبه‌های مختلف مورفولوژی، بیوشیمیایی

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان در سراسر دنیا می‌باشد،

همزمان برای صفات مختلف را برای حداکثر کردن ارزش های اقتصادی یک گیاه بررسی می‌کنند (Sabouri et al., 2008).

در روش انتخاب براساس شاخص، گزینش همزمان برای همه خصوصیات مهم همراه با در نظر گرفتن ارزش های 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). این گونه شاخص‌ها باید از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بوده و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار گیرند (Asif et al., 2003; Young, 1961; Pesek & Hazel, 1943; Smith, 1936) و پسک-بیکر (Baker, 1969) از جمله این شاخص‌ها می‌باشند. Sabouri و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که اثرهای مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی وزن دانه، تعداد خوشه و طول خوشه در برنج می‌تواند معیارهای کارایی در معرفی شاخص‌های گزینشی برای انتخاب غیرمستقیم باشند (Sabouri et al., 2009). Monirifar (۲۰۱۰) کارایی انتخاب بر مبنای شاخص‌های گزینشی را در یونجه مورد بررسی قرار داد و مشخص شد که انتخاب بر مبنای شاخصی که در آن از ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و تعداد ساقه‌های گیاه استفاده شده باشد نسبت به انتخاب براساس عملکرد، بیش از دو برابر برتری دارد (Monirifar, 2010). Smith (۱۹۳۶) استفاده از شاخص‌های انتخاب را بنیان‌گذاری نمود و عنوان کرد که چون ارزش ژنتیکی نمی‌تواند به‌صورت مستقیم تعیین شود، به‌وسیله تابع خطی از ارزش فنوتیپی تخمین زده شود. بدین منظور 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. Hazel (۱۹۴۳) این تابع را بر مبنای ارزش‌های اقتصادی صفات پیشرفت داد. این تابع به برآورد واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی

و فیزیولوژی گیاه تأثیرگذار است (Charles et al., 1994). ایران با میانگین بارندگی ۲۵۲ میلی‌متر و میزان تبخیر و تعرق شدید که ۶٪ بیشتر از حد متعارف جهانی می‌باشد، جزء سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود (Jafari et al., 2003). بنابراین ضرورت دارد در جهت اصلاح گیاهان مقاوم به خشکی در جهت ایجاد شرایط برای افزایش سطح زیر کشت در ایران اقدام نمود. گیاهان دارویی و معطر نقش مهمی در بهداشت و درمان مردم در سراسر دنیا به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه دارند. به‌طوری که تا زمان ظهور پزشکی مدرن، انسان برای درمان بیماری‌های بشر و دام به گیاهان وابسته بوده است. جوامع انسانی در سراسر جهان در طول قرن‌ها مجموعه گسترده‌ای از دانش در زمینه استفاده از گیاهان دارویی و کاربردهای مربوط به آنها را گرد آورده‌اند (Rao et al., 2004). 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؛ به‌طوری که کاشت گیاهان دارویی از دیرباز جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های زراعی ایران داشته و از نظر ایجاد تنوع و پایداری در بوم‌نظام‌ها نقش مهمی را ایفاء کرده‌اند (Kafi, 2002). تاکنون برای اصلاح گیاهان دارویی پیشرفت قابل ملاحظه‌ای انجام نشده است و در حال حاضر تعداد ارقام مفید بدست‌آمده با روش‌های اصلاحی اندک است.

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). عملکرد و صفات مرتبط با آن معمولاً در اغلب برنامه‌های اصلاحی به‌طور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ چون ارزش اقتصادی یک گیاه به ارزش صفات مرتبط با عملکرد آن بستگی دارد، اصلاح‌کنندگان انتخاب

از بین ۴۹ ژنوتیپ زیره سبز در شرایط تنش خشکی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان واقع در 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 اسیدیته خاک ۷/۴ می‌باشد.

مواد ژنتیکی

مواد ژنتیکی مورد بررسی شامل ۴۹ ژنوتیپ زیره سبز برتر انتخابی یک پروژه دوساله بودند (جدول ۱) که در شرایط تنش خشکی کشت شدند. ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در نیمه اول اسفندماه سال ۱۳۹۱ کشت گردیدند. کشت بذرها در واحدهای آزمایشی متشکل از ۴ ردیف ۲ متری با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح قبل از کاشت انجام گردید. عملیات زراعی شامل آبیاری با دور هشت روز یک‌بار تا مرحله گلدهی و مبارزه با علف‌های هرز طی مرحله داشت انجام شد. اعمال تنش در مرحله گلدهی با قطع آبیاری انجام گردید. برداشت در اوایل تیرماه انجام شد. در طول دوره آزمایش، صفات مرفولوژیک و زراعی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن دانه بوته و وزن اندام هوایی ثبت گردید. اندازه‌گیری ارتفاع گیاه با متر و اندازه‌گیری صفات وزن دانه بوته و وزن اندام هوایی با ترازوی دقیق آزمایشگاهی مدل sartorius انجام شد.

و همچنین دادن وزن به هر صفت (ارزش اقتصادی) نیاز داشت. Baker و Pesek (۱۹۶۹) مسئله محدودیت نسبت دادن ارزش‌های اقتصادی را به صفات کمی مطرح کردند و شاخصی را پیشنهاد نمودند که در آن از واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی افراد استفاده می‌شود. Elgin و همکاران (۱۹۷۰) در مطالعه‌ای روی یونجه، شاخص پسک-بیکر و شاخص پایه ویلیامز را به‌عنوان بهترین شاخص 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. باوجوداین برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که شاخص انتخاب با تعداد زیادی صفت منجر به وراثت‌پذیری پایین خواهد شد (Bernardo & Yu, 2007; Asghar & Mehdi, 2010). خارج کردن صفات دارای همبستگی جزئی با عملکرد می‌تواند باعث کاهش خطا و در نتیجه افزایش در بهبود ژنتیکی گردد. Marcelo و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه انتخاب مستقیم عملکرد دانه و انتخاب بر مبنای شاخص‌های اسمیت-هیزل و پسک-بیکر در جمعیت‌های در حال تفرق سویا نشان دادند که بیشترین بهره ژنتیکی از شاخص‌های انتخاب بدست می‌آید. در میان این دو شاخص نیز اسمیت-هیزل بهره بیشتری داشته است (Marcelo et al., 2008). در ایران تاکنون در مورد انتخاب در گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی مبتنی بر شاخص‌های انتخاب، تحقیقی انجام نشده است. از این‌رو در این تحقیق شاخص‌های مختلف انتخاب برای بررسی، مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب

جدول ۱- ژنوتیپ‌های زیره سبز مورد بررسی

نام ژنوتیپ	ردیف	نام ژنوتیپ	ردیف	نام ژنوتیپ	ردیف
شهمیرزاد	۳۵	کوهبنان	۱۸	سروستان	۱
سرخه	۳۶	ماهان	۱۹	سپیدان	۲
ایوانکی	۳۷	راور	۲۰	سیوند	۳
کلاته	۳۸	رفسنجان	۲۱	استهبان	۴
اسفراین	۳۹	سیرجان	۲۲	اردکان	۵
شیروان	۴۰	زرند	۲۳	بافق	۶
بجنورد	۴۱	قائن	۲۴	صدوق	۷
بانه	۴۲	نهبندان	۲۵	خاتم	۸
گنبد	۴۳	بیرجند	۲۶	سدرویی	۹
فردوس	۴۴	سرایان	۲۷	مراوه-تپه	۱۰
تریت حیدریه	۴۵	درمیان	۲۸	آق قلا	۱۱
تریت جام	۴۶	فریدن	۲۹	جت	۱۲
کاشمر	۴۷	سمیرم	۳۰	گنبد	۱۳
تایباد	۴۸	اردستان	۳۱	بافت	۱۴
برداسکن	۴۹	نابین	۳۲	بردسیر	۱۵
		خوانسار	۳۳	چترود	۱۶
		نطنز	۳۴	جوپار	۱۷

$$I = \sum b_i p_i \quad [۱]$$

b_i : وزن هر صفت

p_i : ارزش فنوتیپی صفت

$$b = P^{-1} G a \quad [۲]$$

P : ماتریس واریانس-کوواریانس فنوتیپی

G : ماتریس واریانس-کوواریانس ژنتیکی

a : ارزش اقتصادی نسبی صفات (در اسمیت-هیزل ۱ برای

همه صفات برابر ۱ در نظر گرفته شد و در اسمیت-هیزل ۲

برابر وراثت‌پذیری صفات قرار گرفت)

محاسبه پارامترها و تجزیه و تحلیل آماری

به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر صفات ارتفاع بوته، تعداد

شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن

دانه در بوته و وزن اندام هوایی بوته در تشکیل شاخص‌های

انتخاب بکار برده شدند. شاخص‌های انتخاب با توجه به رابطه

پایه [۱] برای شرایط تنش خشکی محاسبه گردیدند

(Falconer, 1989). برای شاخص اسمیت-هیزل، بردار b از

رابطه [۲] محاسبه شد (Smith, 1936; Hazel, 1943).

شاخص پسک-بیکر (Pesek & Baker, 1969) نیز محاسبه

شد. در این شاخص به جای ارزش اقتصادی (a) ، از بازده

ژنتیکی مطلوب (g) یا بردار جذر واریانس فنوتیپی هر صفت

استفاده شد؛ بنابراین بردار b مطابق رابطه [۳] محاسبه گردید.

$$b = G^{-1}g \quad [۳]$$

g: بازده ژنتیکی مطلوب (بردار جذر واریانس فنوتیپی هر صفت)

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 (Falconer, 1989). پاسخ همبسته (CR_y) برای انتخاب یک صفت از طریق گزینش برای صفات دیگر از رابطه [۵] بدست آمد (Falconer, 1989). کارایی نسبی انتخاب (Relative Selection Efficiency, RSE) یا به عبارتی نسبت پاسخ همبسته یا غیرمستقیم انتخاب (CR_y) برای عملکرد به انتخاب مستقیم (R_y) نیز از رابطه [۶] محاسبه شد.

$$R_y = Kh_i \sigma_{gi} \quad [۴]$$

σ_{gi} : انحراف معیار ژنتیکی هر صفت

h_i : جذر وراثت پذیری

K: شدت انتخاب

$$CR_y = Kh_i r_{gij} \sigma_{gi} \quad [۵]$$

r_{gij} : ضریب همبستگی ژنتیکی بین صفت مورد نظر اصلاحی و صفتی که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود.

$$RSE = CR_y / R_y \quad [۶]$$

R_y : پاسخ به انتخاب مستقیم براساس عملکرد

در نهایت برای هر صفت موجود در شاخص، بازده مورد انتظار (ΔG) 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 σ_{ii} کوواریانس شاخص با هر صفت می‌باشد که توسط رابطه [۸] بدست می‌آید. همچنین σ_I انحراف معیار شاخص است و برای هر شاخص از رابطه [۹] محاسبه گردید. بهره مورد انتظار (ΔH) طبق رابطه [۱۰] برای هر شاخص محاسبه شد (Falconer, 1989). تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار SAS انجام شد.

$$\Delta G = K \sigma_{ii} / \sigma_I \quad [۷]$$

σ_{ii} : کوواریانس شاخص با هر صفت

σ_I : انحراف معیار شاخص

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

σ_{gij} : کوواریانس ژنتیکی صفات i و j

$$\sigma_I = \sqrt{b'Pb} \quad [۹]$$

$$\Delta H = \sum \Delta G_i \quad [۱۰]$$

نتایج

تجزیه واریانس برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده انجام گردید. 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، پاسخ همبسته، همبستگی ژنتیکی صفات با عملکرد بذر و کارایی نسبی انتخاب برای بهبود عملکرد بذر زیره سبز در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

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.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ۴۹ ژنوتیپ زیره سبز کشت شده در کرمان در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع (cm)	تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر	تعداد چترک	تعداد دانه در بوته	وزن دانه تک بوته (g)	وزن اندام هوایی تک بوته (g)
بلوک	۱	۳۷/۱۲**	۱۲/۰۵ ^{ns}	۱۸۵/۰۱ ^{ns}	۴۴۷/۰۰۵*	۱۰۴۷۰۴ ^{ns}	۲/۷۴**	۰/۶۹**
تیمار	۴۸	۷/۲۲*	۲۶/۶۴**	۶۷۵/۲۴**	۷۵۱۴/۸۰**	۳۲۲۸۵۸/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۳۴**
خطا	۴۸	۳/۹۱	۶/۱۵	۸۴/۶۵	۸۴۷/۸۹	۴۵۲۲۴/۹۴	۰/۱۸	۰/۰۹۴
پاسخ به انتخاب	$R = K\sqrt{h_b^2\sigma_G^2}$	۰/۷	۳/۷۷	۹/۸۴	۴۲/۲۳	۱۷۳/۱۸	۰/۶۶	۰/۷۷

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

جدول ۳- مقادیر پاسخ همبسته و کارایی نسبی انتخاب برای بهبود عملکرد بذر زیره سبز از طریق انتخاب برای اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی

صفت	اجزای عملکرد	پاسخ همبسته	همبستگی ژنتیکی	کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به مستقیم
وزن بذر بوته	ارتفاع	۰/۲۶	۰/۶۸	۰/۳۷
	تعداد شاخه فرعی	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۱۱
	تعداد چتر	۰/۴۱	۰/۶۸	۰/۰۴
	تعداد چترک	۰/۵۳	۰/۸۱	۰/۰۱
	تعداد بذر بوته	۰/۴۸	۰/۸۸	۰/۰۰۲
	وزن اندام هوایی بوته	۰/۴۴	۰/۷۱	۰/۵۷

جدول ۴- ضرایب b برای هر یک از صفات مورد بررسی در شاخص‌های انتخاب در شرایط تنش خشکی

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	۵/۳۹		۲/۵۹		۲۰/۳۸	
ارتفاع	۵/۰۳	۴/۲۳	۲/۵۱	۲/۰۴	۸/۷۷	۷/۴۷
تعداد شاخه فرعی	۵/۳۹	۴/۶۶	۲/۵۹	۲/۱۶	۳/۲۵	۲/۶۸
تعداد چتر	۵/۱۹	۴/۴۶	۲/۵۱	۲/۰۶	۱/۰۱	۰/۸۴
تعداد چترک	۵/۳۵	۴/۵۶	۲/۵۹	۲/۱۲	۰/۲۷	۰/۲۴
تعداد دانه بوته	۵/۲۳	۴/۴۴	۲/۵۴	۲/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳۹
وزن اندام هوایی	۵/۴۳	۴/۶۴	۲/۶۳	۲/۱۶	۲۷/۴۴	۲۲/۹۲

** 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.

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

پسک-بیکر		اسمیت-هیزل*۲		اسمیت-هیزل*۱		عملکرد (g/p)	رتبه ژنوتیپ‌های برتر
شاخص ۶	شاخص ۵	شاخص ۴	شاخص ۳	شاخص ۲	شاخص ۱		
۴۱۳/۳۶ (۱۵)	۲۸۳۶/۴۳ (۲۲)	۶۰۷۳/۴۶ (۲۲)	۵۳۴/۴۴ (۱۵)	۳۴۸۱/۵ (۲۲)	۷۱۵۳/۱ (۲۲)	۲/۴۹ (۱۷)	۱
۳۹۹/۷۴ (۲۲)	۲۸۱۸/۹۸ (۱۵)	۶۰۳۹/۱۳ (۱۵)	۵۰۲/۴۵ (۲۰)	۳۴۶۳/۸ (۱۵)	۷۱۱۷/۱ (۱۵)	۲/۴۲ (۲۰)	۲
۳۸۳/۷۵ (۲۰)	۲۷۳۳/۰۷ (۲۰)	۵۸۵۲/۶۵ (۲۰)	۴۸۷/۴۹ (۲۲)	۳۳۵۸/۸ (۲۰)	۶۹۰۱/۸ (۲۰)	۲/۲۶ (۱۵)	۳
۳۷۴/۷۴ (۲۸)	۲۳۶۶/۴۲ (۲۸)	۵۰۶۷/۱۴ (۲۸)	۴۸۳/۳۷ (۲۸)	۲۹۰۷/۷ (۲۸)	۵۹۷۴/۶ (۲۸)	۲/۱۳ (۲۱)	۴
۳۴۸/۴۹ (۲۵)	۲۲۶۲/۸۲ (۱۹)	۴۸۴۶/۷۸ (۱۹)	۴۵۱/۳۴ (۲۱)	۲۷۸۰/۵ (۱۹)	۵۷۱۴/۷ (۱۹)	۲/۰۶ (۲۷)	۵
۳۴۵/۷۰ (۲۱)	۲۱۸۸/۶۳ (۲۱)	۴۶۸۵/۱۶ (۲۱)	۴۴۹/۷۹ (۱۷)	۲۶۹۰/۷ (۲۱)	۵۵۲۷/۲ (۲۱)	۱/۹۹ (۲۸)	۶
۳۴۰/۵۸ (۳۶)	۲۱۱۱/۷۶ (۳۶)	۴۵۲۱/۴۱ (۳۶)	۴۴۷/۶۲ (۲۵)	۲۵۹۵ (۳۶)	۵۳۳۱/۴ (۳۶)	۱/۹۷ (۹)	۷
۳۳۸/۰۲ (۱۷)	۲۰۸۵/۵۶ (۲۵)	۴۴۶۴/۷۶ (۲۵)	۴۳۷/۰۶ (۳۶)	۲۵۶۳/۲ (۲۵)	۵۲۶۵/۵ (۲۵)	۱/۷۹ (۲۵)	۸
۳۳۵/۶۹ (۳۰)	۲۰۶۷/۰۳ (۳۰)	۴۴۲۶/۳۴ (۳۰)	۴۳۴/۳۳ (۲۷)	۲۵۳۹/۲ (۳۰)	۵۲۱۷/۸ (۳۰)	۱/۷۲ (۳۹)	۹
۳۳۴/۶۹ (۱۱)	۲۰۳۸/۹۸ (۱۷)	۴۳۶۵/۶۹ (۱۷)	۴۲۸/۲۵ (۳۰)	۲۵۰۷/۵ (۱۷)	۵۱۵۲ (۱۷)	۱/۷۲ (۳۷)	۱۰
۳۳۲/۴۰ (۲۷)	۱۹۵۰/۹۵ (۳۵)	۴۱۷۸/۹۸ (۳۵)	۴۱۸/۰۷ (۱۳)	۲۳۹۵/۸ (۳۵)	۴۹۲۴/۵ (۳۵)	۱/۷۰ (۳۴)	۱۱
۳۲۶/۱۲ (۱۳)	۱۹۰۵/۱۶ (۳۴)	۴۰۷۹/۲۸ (۳۴)	۴۱۶/۳۱ (۱۱)	۲۳۴۱/۲ (۳۴)	۴۸۱۰/۳ (۳۴)	۱/۶۶ (۱۶)	۱۲
۳۱۸/۹۹ (۳۴)	۱۸۷۲/۹۳ (۱۳)	۴۰۱۰/۵۷ (۱۳)	۴۱۱/۴۶ (۳۴)	۲۳۰۱/۳ (۱۳)	۴۷۲۸/۷ (۱۳)	۱/۶۲ (۱۳)	۱۳
۳۰۹/۱۶ (۳۵)	۱۸۵۵/۹۰ (۲۶)	۳۹۷۳/۲۱ (۲۶)	۳۹۳/۴۵ (۳۵)	۲۲۸۰/۸ (۲۶)	۴۶۸۵/۵ (۲۶)	۱/۵۵ (۳۰)	۱۴
۳۰۶/۰۳ (۵)	۱۸۸۷/۰۱ (۱۶)	۳۸۰۷/۶۴ (۱۶)	۳۸۹/۲۸ (۵)	۲۱۵۸/۴ (۱۶)	۴۴۹۰/۷ (۱۶)	۱/۵۵ (۲۶)	۱۵
۳۰۳/۰۱ (۲۶)	۱۷۵۳/۸۴ (۵)	۳۷۵۴/۹۶ (۵)	۳۸۹/۰۳ (۲۶)	۲۱۵۴/۹ (۵)	۴۴۲۷/۱ (۵)	۱/۵۱ (۹)	۱۶
۲۹۸/۸۹ (۳)	۱۷۳۳/۸۱ (۹)	۳۷۱۱/۷۱ (۹)	۳۸۱/۷۶ (۳)	۲۱۳۰/۹ (۹)	۴۳۷۷/۴ (۹)	۱/۴۲ (۳)	۱۷
۲۹۶/۴۱ (۶)	۱۶۹۵/۸۸ (۴۶)	۳۶۳۰/۵۴ (۴۶)	۳۷۵/۹۳ (۶)	۲۰۸۳/۶ (۴۶)	۴۲۸۰/۴ (۴۶)	۱/۳۸ (۵)	۱۸
۲۹۵/۳۵ (۴۴)	۱۶۲۰/۸۵ (۱۱)	۳۴۷۰/۶۷ (۱۱)	۳۷۱/۰۸ (۴۶)	۱۹۹۰/۳ (۱۱)	۴۸۰۹/۶ (۱۱)	۱/۳۸ (۳۵)	۱۹
۲۹۲/۸۷ (۴۶)	۱۵۳۹/۵۸ (۴۴)	۳۲۹۵/۳۹ (۴۴)	۳۶۸/۲۴ (۹)	۱۸۹۰/۷ (۴۴)	۳۸۸۳/۴ (۴۴)	۱/۳۰ (۶)	۲۰

ادامه جدول ۵-...

پسک-بیکر		اسمیت-هیزل*۲		اسمیت-هیزل*۱		عملکرد (g/p)	رتبه
شاخص ۶	شاخص ۵	شاخص ۴	شاخص ۳	شاخص ۲	شاخص ۱		ژنوتیپ‌های برتر
۲۹۲/۰۱(۳۳)	۱۵۱۳/۰۳ (۲۷)	۳۲۳۹/۲۷ (۲۷)	۳۶۵/۹۳ (۳۳)	۱۸۶۰/۵ (۲۷)	۳۸۲۳/۲ (۲۷)	۱/۲۵ (۴۶)	۲۱
۲۸۶/۲۲ (۹)	۱۴۹۷/۷۹ (۶)	۳۲۰۵/۹۰ (۶)	۳۶۴/۶۳ (۱۹)	۱۸۴۰/۸ (۶)	۳۷۸۱ (۶)	۱/۲۴ (۱۸)	۲۲
۲۷۴/۳۹ (۱۹)	۱۴۹۰/۹۱ (۳۳)	۳۱۹۲/۳۶ (۳۳)	۳۶۴/۱۹ (۴۴)	۱۸۳۱/۱ (۳۳)	۳۷۶۲/۵ (۳۳)	۱/۱۳ (۳۸)	۲۳
۲۷۲/۵۲ (۴۷)	۱۴۰۳/۹۰ (۳۸)	۳۰۰۴/۹۳ (۳۸)	۳۴۰/۵۲ (۴۷)	۱۷۲۵/۲ (۳۸)	۳۵۴۳/۵ (۳۸)	۱/۰۴ (۳۳)	۲۴
۲۷۰/۱۵ (۲۳)	۱۴۰۰/۱۴ (۳۸)	۲۹۹۷/۵۶ (۸)	۳۳۹/۸۹ (۳۸)	۱۷۱۹/۳ (۸)	۳۵۳۲/۳(۸)	۱/۰۴ (۱۱)	۲۵
۲۶۸/۷۲ (۳۸)	۱۳۲۵/۳۷ (۱۸)	۲۸۳۷/۸۶ (۱۸)	۳۳۷/۲۲ (۱)	۱۶۲۹/۱ (۱۸)	۳۳۴۷/۲ (۱۸)	۱/۰۳ (۱)	۲۶
۲۶۸/۱۳ (۱)	۱۲۴۴/۰۸ (۳)	۲۶۶۳/۰۹ (۳)	۳۳۶/۷۲ (۲۳)	۱۵۲۹/۳ (۱۳۲)	۳۱۴۱/۷(۳)	۱/۰۳ (۱۰)	۲۷
۲۶۴/۶۶ (۸)	۱۲۳۵/۶۴ (۱)	۲۶۴۴/۸۳ (۱)	۳۲۸/۲۹ (۳۱)	۱۵۱۸/۳ (۱)	۳۱۱۸/۶(۱)	۱/۰۱ (۴۳)	۲۸
۲۶۳/۹۵ (۳۱)	۱۲۲۷/۹۱ (۱۰)	۲۶۲۸/۲۴ (۱۰)	۳۲۸/۱۹ (۸)	۱۵۰۸/۹ (۱۰)	۳۰۹۹/۳ (۱۰)	۱/۰۱(۴۸)	۲۹
۲۵۶/۱۲(۲)	۱۱۸۲/۶۵ (۴۷)	۲۵۳۱/۳۶ (۴۷)	۳۲۲/۳۴ (۱۰)	۱۴۵۲/۹ (۴۷)	۲۹۸۴/۴(۴۷)	۰/۹۳(۴۷)	۳۰
۲۵۵/۵۲ (۱۰)	۱۱۸۲/۰۰ (۲۳)	۲۵۲۹/۷۴ (۲۳)	۳۱۹/۹۰ (۲)	۱۴۵۲/۲ (۲۳)	۲۹۸۲/۶ (۲۳)	۰/۸۹(۲۳)	۳۱
۲۵۰/۳۲ (۴۹)	۱۱۵۷/۹۰ (۳۱)	۲۴۷۷/۸۹ (۳۱)	۳۱۴/۱۸ (۴۸)	۱۴۲۲/۶ (۳۱)	۲۹۲۱/۶ (۳۱)	۰/۸۹(۲)	۳۲
۲۴۹/۱۵ (۴۸)	۱۱۵۳/۷۹ (۴۱)	۲۴۶۹/۹۹ (۴۱)	۳۱۱/۶۸ (۴۹)	۱۴۱۷/۳ (۴۱)	۲۹۱۱/۵ (۴۱)	۰/۸۶(۴)	۳۳
۲۴۹/۱۳ (۴)	۱۱۰۹/۳۳ (۴۸)	۲۳۷۳/۹۸(۴۸)	۳۱۱/۴۷ (۴)	۱۳۶۳/۵ (۴۸)	۲۸۰۰/۱(۴۸)	۰/۸۴(۳۱)	۳۴
۲۴۳/۹۶ (۴۳)	۱۱۰۹/۰۵ (۳۲)	۲۳۷۳/۰۹ (۳۲)	۳۰۸/۱۶ (۴۳)	۱۳۶۲/۹ (۳۲)	۲۷۹۸/۵ (۳۲)	۰/۸۳(۴۱)	۳۵
۸/۶۳(۲۰۳)	۱۱۰۷/۸۳ (۴)	۲۳۷۱/۱۶ (۴)	۳۰۲/۳۴ (۴۱)	۱۳۶۱/۱ (۴)	۲۷۹۵/۶ (۴)	۰/۸۳(۴۲)	۳۶
۸/۴۶(۸۱)	۱۰۴۷/۱۴ (۴۹)	۲۲۴۲/۹۴ (۴۹)	۳۰۱/۱۵ (۱۶)	۱۲۸۷/۸ (۴۹)	۲۶۴۴/۷ (۴۹)	۰/۸۱(۳۲)	۳۷
۸/۴۵(۱۱۳)	۱۰۴۴/۲۷ (۳۹)	۲۲۳۴/۸۸ (۳۹)	۲۹۸/۴۷ (۳۲)	۱۲۸۲/۳ (۳۹)	۲۶۳۳/۳ (۳۹)	۰/۸۱(۴۵)	۳۸
۲۳۴/۳۵ (۴۵)	۱۰۲۵/۷۴ (۴۳)	۲۱۹۵/۲۷(۴۳)	۲۹۶/۵۲ (۷)	۱۲۶۰/۸ (۴۳)	۲۵۸۹/۴ (۴۳)	۰/۸۱(۴۹)	۳۹
۲۲۶/۱۳ (۱۶)	۱۰۰۴/۲۹ (۱۴)	۲۱۵۱/۶۲ (۱۴)	۲۹۲/۶۴ (۴۵)	۱۲۳۲/۵ (۱۴)	۲۵۳۳/۹(۱۴)	۰/۷۸(۸)	۴۰

جدول ۵-...

پسک-بیکر		اسمیت-هیزل*۲		اسمیت-هیزل*۱		عملکرد (g/p)	رتبه
شاخص ۶	شاخص ۵	شاخص ۴	شاخص ۳	شاخص ۲	شاخص ۱		ژنوتیپ‌های برتر
۲۲۵/۳۷ (۱۲)	۹۸۱/۷۲ (۴۲)	۲۱۰/۳۰ (۴۲)	۲۷۹/۶۳ (۲۹)	۱۲۰۶/۷ (۴۲)	۲۴۷۸/۵ (۴۲)	۰/۷۷(۷)	۴۱
۲۲۵/۳۳ (۲۹)	۹۷۱/۷۰ (۳۷)	۲۰۸۰/۱۲ (۳۷)	۲۷۷/۹۵ (۱۲)	۱۱۹۶/۶ (۳۷)	۲۴۵۸/۲ (۳۷)	۰/۷۷(۴۴)	۴۲
۱۹۳/۹۹ (۱۴)	۹۶۹/۳۶ (۲)	۲۰۷۴/۰۱ (۲)	۲۴۸/۲۵ (۱۸)	۱۱۹۱/۵ (۲)	۲۴۴۶/۴(۲)	۰/۷۵(۲۲)	۴۳
۱۸۸/۷۶ (۱۸)	۹۳۴/۱۹ (۷)	۱۹۹۹/۳۴ (۷)	۲۴۲/۶۴ (۱۴)	۱۱۴۷/۷ (۷)	۲۳۵۷/۳(۷)	۰/۷۲(۴۰)	۴۴
۱۷۶/۴۷ (۳۹)	۹۱۲/۹۷ (۴۵)	۱۹۵۳/۳۹ (۴۵)	۲۱۵/۴۲ (۳۹)	۱۱۲۲/۱ (۴۵)	۲۳۰۴ (۴۵)	۰/۶۸(۲۹)	۴۵
۱۶۱/۱۹ (۴۲)	۸۳۵/۱۵ (۱۲)	۱۷۸۷/۰۲ (۱۲)	۲۰۷/۰۷ (۴۲)	۱۰۲۵/۹ (۱۲)	۲۱۰۶/۶(۱۲)	۰/۶۲(۱۴)	۴۶
۱۴۸/۲۹ (۲۴)	۸۱۴/۲۳ (۲۹)	۱۷۴۲/۳۳ (۲۹)	۲۰۵/۱۹(۳۷)	۱۰۰۰/۴ (۲۹)	۲۰۵۴/۵(۲۹)	۰/۶۰(۱۲)	۴۷
۱۴۴/۲۰ (۳۷)	۷۵۴/۲۳ (۴۰)	۱۶۱۴/۳۴ (۴۰)	۱۸۲/۱۱ (۲۴)	۹۲۷/۲ (۴۰)	۱۹۰۴/۴(۴۰)	۰/۳۴(۲۴)	۴۸
۱۳۹/۷۹ (۴۰)	۴۹۹/۷۵ (۲۴)	۱۰۶۹/۷۸ (۲۴)	۱۷۹/۴۸ (۴۰)	۶۱۳/۵ (۲۴)	۱۲۶۰/۴ (۲۴)	۰/۳۳(۳۹)	۴۹
۲۲۹۷/۰۷۷	۴۳۶۲/۸۵	۲۶۹۳۹۹/۳	۴۰۶۸۲۱	۱۲۳۶۶۱۰	۱۷۱۹۲۵۶	۰/۳۱	واریانس ژنتیکی
۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۷	وراثت پذیری (%)
۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶		همبستگی ژنتیکی
۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۵		پاسخ همبسته
۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۷		کارایی انتخاب
۱۰	۱۲	۱۲	۱۱	۱۳	۱۱	۱۵	تعداد ژنوتیپ برتر

اعداد داخل پرانتز: شماره شناسایی ژنوتیپ‌ها

شاخص‌ها و کارایی انتخاب براساس شاخص‌ها نیز مورد محاسبه قرار گرفتند (جدول ۵).

کارایی انتخاب از طریق شاخص بهره مورد انتظار (ΔH) و پاسخ صفات به انتخاب براساس شاخص بازده مورد انتظار (ΔG) در جدول ۶ نشان داده شده است.

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

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

در شرایط تنش خشکی

ΔH	ΔG					ارتفاع	عملکرد	حالت شاخص	شاخص
	وزن اندام هوایی بوته	تعداد دانه در بوته	تعداد چترک	تعداد چتر	تعداد شاخه فرعی				
۳۱۱۹۳/۱	۴۳/۹۸	۲۴۶۰۴/۴	۴۸۰۸/۵	۱۱۶۷/۸	۳۸۶/۳	۱۲۰/۴	۶۱/۷۱	شاخص ۱	اسمیت-هیزل ۱
۲۶۴۳۳/۵	۳۷/۵۵	۲۰۸۶۳/۳	۴۰۹۴/۴	۱۰۰۳/۳	۳۳۳/۷	۱۰۱/۲		شاخص ۲	
۹۰۷۲/۲	۱۲/۷۳	۷۱۶۵/۲	۱۳۹۳/۶	۳۳۵/۸	۱۱۱/۲	۳۵/۹۶	۱۷/۷۳	شاخص ۳	اسمیت-هیزل ۲
۷۳۷۳/۷	۱۰/۴۵	۵۸۲۶/۷	۱۱۳۸/۰	۲۷۶/۹	۹۲/۳۵	۲۹/۱۰		شاخص ۴	
۹۳/۷۸	۱۳/۲۴	۱۳/۲۵	۱۳/۴۹	۱۳/۴	۱۳/۵۵	۱۳/۲۷	۱۳/۵۵	شاخص ۵	پسک-بیگر
۷۱/۴۳	۱۱/۷۶	۱۱/۸۲	۱۲/۰۷	۱۱/۹	۱۲/۰۰	۱۱/۸۴		شاخص ۶	

بحث

چترک، تعداد دانه در بوته و وزن اندام هوایی بوته مثبت بود، یعنی با افزایش این صفات عملکرد افزایش می‌یابد؛ به عبارتی این ۷ صفت می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی برای افزایش عملکرد بذر زیره سبز مورد توجه قرار گیرند. بعد از تعداد چترک و تعداد دانه در بوته صفت وزن اندام هوایی بیشترین پاسخ همبسته برای صفت وزن بذر بوته را در شرایط تنش خشکی (۰/۴۴) دارا بود (جدول ۳). بنابراین می‌توان دو صفت تعداد چترک و تعداد دانه در بوته را به‌عنوان صفاتی مناسب برای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی معرفی نمود. مطالعات روی سایر گیاهان نیز بیشترین پاسخ همبسته عملکرد را برای تعداد ساقه بارور و ارتفاع بوته گزارش کردند (Ranalli et al., 2001; Biswas et al., 2010; Monirifar, 2010). نتایج ارزیابی کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد بذر نشان داد که

مقادیر پاسخ به انتخاب و پاسخ همبسته براساس مقادیر وراثت‌پذیری، واریانس ژنوتیپی صفات و شدت انتخاب $k=1/755$ در شرایط تنش خشکی در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. تعداد دانه در بوته با مقدار $173/18$ بیشترین پاسخ مستقیم را به انتخاب نشان داد (جدول ۲) که این می‌تواند به علت بیشتر بودن واریانس ژنتیکی تعداد دانه در بوته نسبت به سایر صفات باشد. پاسخ همبسته برای صفت وزن بذر بوته از طریق تعداد چترک و تعداد دانه در بوته بیشترین مقدار را داشت (جدول ۳). همبستگی ژنتیکی مشاهده شده بین وزن بذر بوته و تعداد دانه در بوته در حد زیاد بود (۰/۸۸) که می‌تواند تأییدی بر بیشتر بودن واریانس ژنتیکی در تعداد دانه در بوته نسبت به سایر صفات باشد. پاسخ همبسته برای وزن بذر بوته در شرایط تنش خشکی از طریق صفات ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد

عملکرد، کارایی انتخاب و پاسخ همبسته بیشتری برخوردار بودند (جدول ۵). وراثت پذیری در شاخص اسمیت-هیزل (شاخص ۱، ۲، ۳ و ۴) پایین تر از شاخص پیک-بیکر است. ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۲۰ و ۱۷ از نظر صفت وزن بذر بوته به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم بودند. از نظر شاخص اسمیت-هیزل ۱ و ۲ و پیک-بیکر ژنوتیپ‌های ۲۲، ۲۰ و ۱۵ برترین ژنوتیپ‌ها بودند. این شاخص‌ها هر یک توانستند ژنوتیپ‌هایی را به عنوان ژنوتیپ برتر معرفی کنند که از نظر وزن بذر بوته نیز برتر بودند که در شاخص ۱، شاخص ۲، شاخص ۳، شاخص ۴، شاخص ۵ و شاخص ۶ به ترتیب ۱۱، ۱۳، ۱۱، ۱۲، ۱۲ و ۱۰ ژنوتیپ جزء ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد بودند (جدول ۵). کارایی انتخاب از طریق شاخص (ΔH) و پاسخ صفات به انتخاب براساس شاخص (ΔG) در شرایط تنش خشکی در جدول ۶ نشان داده شده است. در شاخص اول و دوم، صفات تعداد دانه در بوته و تعداد چترک بیشترین پاسخ به انتخاب را در شرایط تنش خشکی داشتند و در شاخص سوم و چهارم نیز صفت تعداد دانه در بوته و تعداد چترک در بوته بالاترین پاسخ به انتخاب را در شرایط تنش رطوبتی داشتند (جدول ۶) و در شاخص ۵ و ۶ صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد چترک بالاترین پاسخ به انتخاب را داشتند. بنابراین انتخاب براساس شاخص‌های اسمیت-هیزل ۱ و ۲ بیشتر از سایر صفات منجر به افزایش تعداد دانه در بوته خواهد شد. با توجه به کارایی انتخاب شاخص‌های مورد بررسی (جدول ۶)، شاخص اسمیت-هیزل ۱ بازده انتخاب بالاتری نسبت به دو شاخص دیگر (اسمیت-هیزل ۲ و پیک-بیکر) داشت. همکاران (۱۹۹۱) در لویسا و Robinson و همکاران (۱۹۵۱) در ذرت از شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد و سایر صفات مهم اقتصادی در گیاهان مربوطه استفاده کرده‌اند. در مجموع نتایج این بررسی نشان داد در شرایط تنش خشکی تعداد دانه در بوته و تعداد چترک بیشترین همبستگی ژنتیکی را با وزن بذر بوته داشتند. همچنین نتایج نشان داد که انتخاب غیرمستقیم از طریق

کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد بذر در شرایط تنش خشکی از طریق تعداد چترک و تعداد دانه در بوته بیشترین مقدار بود که نشان داد انتخاب غیرمستقیم از طریق این صفات می‌تواند تا حد بالایی برای بهبود غیرمستقیم عملکرد بذر موفقیت‌آمیز باشد (جدول ۳). در این مطالعه شاخص انتخاب براساس صفات ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته، وزن بذر بوته و وزن اندام هوایی بوته مورد محاسبه قرار گرفتند. ضرایب (b_i) هر یک از صفات در شاخص اسمیت-هیزل و پیک-بیکر در دو حالت، همراه با عملکرد دانه و بدون عملکرد دانه در جدول ۴ آورده شده‌اند که در شاخص‌های مختلف صفات ضرایب متفاوتی داشتند. صفت ارتفاع در شاخص ۱ و ۲، صفت تعداد چتر در بوته در شاخص ۳ و ۴ و صفت تعداد دانه در بوته در شاخص ۵ و ۶ کمترین مقدار ضریب شاخص را به خود اختصاص دادند که نشان‌دهنده تأثیرگذاری کم این صفات در شاخص‌ها بودند. در حالت همراه با عملکرد، صفت وزن اندام هوایی بیشترین ضریب را در شاخص اسمیت-هیزل و پیک-بیکر به خود اختصاص داد. بدین ترتیب صفت وزن اندام هوایی با بالاترین ضریب به صورت مثبت در انتخاب براساس این شاخص‌ها اثرگذار خواهد بود. در حالت بررسی شاخص بدون حضور عملکرد، صفت تعداد شاخه فرعی در شاخص اسمیت-هیزل و وزن اندام هوایی در شاخص پیک-بیکر بالاترین ضرایب را داشتند. در هر دو شاخص اسمیت-هیزل و پیک-بیکر همه صفات ضرایب مثبت به خود اختصاص دادند که حکایت از اثر افزاینده این صفات در این شاخص‌ها دارد (جدول ۴). با جایگذاری ارزش‌های فنوتیپی هر یک از ژنوتیپ‌ها در معادله شاخص‌ها، مقدار شاخص برای هر یک از آنها محاسبه شد و پارامترهای آماری مربوط به شاخص‌ها، همبستگی ژنتیکی بین شاخص‌ها با عملکرد و کارایی انتخاب براساس شاخص‌ها نیز مورد محاسبه قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج نشان دادند که شاخص‌های اسمیت-هیزل (شاخص ۱، ۲، ۳ و ۴) نسبت به شاخص‌های پیک-بیکر (شاخص ۵ و ۶) از واریانس ژنتیکی، همبستگی ژنتیکی با

- cutting managements. Irish Journal of Agricultural Food Research, 42: 275-292.
- Kafi, M., 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) production and processing. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, 168p.
 - 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 soybean segregating population. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 8: 447-455.
 - Monirifar, H., 2010. Evaluation of selection indices for alfalfa (*Medicago sativa* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2: 84-87.
 - 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.
 - Rao, M.R., Palada, M.C. and Becker, B.N., 2004. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. Agroforestry Systems, 61: 107-122.
 - 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.
 - Sabouri, H., Sabouri, A. and Dadras, A.R., 2009. Genetic dissection of biomass production and partitioning with grain yield and yield traits in indica-indica Crosses of Rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Australian Journal of Crop Science, 3: 155-166.
 - 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.
- شاخص اسمیت-هیزل ۱ و ۲ می‌تواند کارایی بیشتری را برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی داشته باشد.
- ### منابع مورد استفاده
- Asghar, M.J. and Mehdi, S.S., 2010. Selection indices for yield and quality traits in sweet corn. Pakistan Journal of Botany, 42(2): 775-789.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - Charles, D.J., Joly, R.J. and Simon, J.E., 1994. Effect of osmotic stress on the essential oil content and comparison of peppermint. Phytochemistry, 2: 2837-2840.
 - 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. Longman, New York, 415p.
 - Hayes, H.K., 2007. Methods of Plant Breeding. Kosta press, 551p.
 - 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 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.
 - Jafari, A., Connolly, V. and Walsh, E.J., 2003. Genetic analysis of yield and quality in full sib families of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) under two

Improving the seed yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes using different selection indices under drought stress conditions

F. Ghasemi¹, Gh. Mohammadinejad², A. Baghizadeh^{3*} and H.R Kavossi⁴

1- M.Sc. of Plant Breeding, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

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

3*- Corresponding author, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran, E-mail: A.Baghizadeh@kgut.ac.ir

4- Department of Biotechnology, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: June 2018

Revised: September 2018

Accepted: December 2018

Abstract

In order to improve complex traits such as yield, one of the most effective approaches to select the desired genotypes is the use of selection indices. In this research, in order to evaluate the efficiency of different selection methods under stress conditions, 49 top cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes, selected in the second year of a two-year plan were evaluated. This research was conducted as a field experiment in a randomized complete block design with two replications under drought stress conditions in 2012 at the research farm of Shahid Bahonar University of Kerman. The selection indices Smith-Hazel 1 and 2 and Pesek-Baker were computed based on seven traits including plant height, number of lateral branches, umbels, umbellules, seeds, seeds weight and aerial parts weight (traits/plant). Also, the direct and correlated responses of these traits with seed yield were obtained. All three indices were evaluated in two forms, along with yield and without yield. The results of direct and correlated response of traits showed that genotypes with higher number of seeds and umbellules had higher yield potential. In the Smith-Hazel 1 and 2 indices, two traits including the number of seeds and umbellules had the highest response to the selection, while in the Pesek-Baker index, the number of branches was the highest response to the selection. The results indicated that the Smith-Hazel index had the highest selection efficiency and could be used to select appropriate genotypes in the cumin breeding programs under drought stress conditions.

Keywords: Response to selection, Smith-Hazel index, Pesek-Baker index, drought stress.