پاسخ به انتخاب مستقیم و غیر مستقیم برای بهبود عملکرد دانه در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

رسول دهقان‌کوهستانی[۱]، محمدمهدی مجیدی[۲]* و قدرت‌اله سعیدی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۲۴)

چکیده

به‌منظور بهبود صفت عملکرد دانه، یکی از مؤثرترین روش‌ها در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب، اصلاح براساس استفاده از شاخص‌های انتخاب می‌باشد. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های مختلف انتخاب، ۸۳ ژنوتیپ خارجی به‌همراه ۱۷ ژنوتیپ داخلی گلرنگ در سال زراعی ۹۰ - ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، به‌صورت طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص‌های انتخاب اسمیت - هیزل و پسک - بیکر براساس صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه، هم‌چنین پاسخ‌های مستقیم و همبسته این صفات به‌همراه عملکرد دانه محاسبه شدند. کارایی انتخاب برای بهبود عملکرد دانه از طریق انتخاب برای صفت تعداد غوزه در بوته بیشترین مقدار بود، بنابراین صفت تعداد غوزه در بوته می‌تواند به‌عنوان یک معیار انتخاب مناسب جهت بهبود عملکرد دانه مدنظر قرار گیرد. با توجه به مقادیر بالای همبستگی سه شاخص محاسبه شده با عملکرد دانه و هم‌چنین بالا بودن تخمین‌های کارایی انتخاب غیر مستقیم از طریق این شاخص‌ها نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه، استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند جهت بهبود عملکرد دانه گلرنگ مؤثر باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که راندمان شاخص اسمیت - هیزل برای بهبود هم‌زمان صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه از شاخص پسک - بیکر بیشتر بود، بنابراین پیشنهاد می‌شود این شاخص برای بهبود هم‌زمان صفات در این گیاه دانه روغنی استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: پاسخ به انتخاب، شاخص اسمیت - هیزل، شاخص پسک - بیکر، گلرنگ

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه گیاهان زراعی معمولی‌ترین راه مورد استفاده توسط اصلاح‌کنندگان نبات به‌منظور بهبود عملکرد دانه می‌باشد. از آنجا که صفت کمی عملکرد توسط تعداد زیادی ژن کنترل و تحت‌تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، بنابراین ممکن است انتخاب غیر مستقیم برای ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا مؤثر باشد و به بهبود عملکرد منجر شود (۲۲ و ۲۳). به همین دلیل انتخاب غیر مستقیم یعنی گزینش برای صفات دیگر، در راستای بهبود عملکرد مدنظر قرار گرفته است (۱). کومار و باهل (۱۳) با مقایسه کارایی انتخاب مستقیم و غیر مستقیم در نخود گزارش کردند که انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد دانه از طریق صفات تعداد غلاف در بوته و وزن دانه کارایی بیشتری نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه دارد. پهلوانی و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ به این نتیجه رسیدند که بیشترین پاسخ به انتخاب غیر مستقیم برای بهبود عملکرد دانه از طریق بهبود صفات تعداد غوزه در بوته و تعداد دانه در غوزه به‌دست می‌آید. رزیل و فرای (۲۰) انتخاب مستقیم و غیر مستقیم را برای بهبود عملکرد در جمعیتی متشکل از ۱۲۰۰ گیاه F_9 یولاف بررسی کردند و نتیجه گرفتند که انتخاب غیر مستقیم از طریق شاخص برداشت باعث بهبود ۷۰ درصدی عملکرد دانه می‌شود.

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 مختلف آن بستگی دارد، اصلاح‌کنندگان انتخاب هم‌زمان برای صفات مختلف را برای حداکثر کردن ارزش اقتصادی یک گیاه بررسی می‌کنند (۲۲). 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 (۸). صفات مورد استفاده در این گونه شاخص‌ها بایستی از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بوده و کمتر تحت‌تأثیر تغییرات محیطی قرار گیرند (۳ و ۲۶). شاخص‌های انتخاب اسمیت - هیزل (۱۰ و ۲۳) و پسک - بیکر (۱۸) از جمله این شاخص‌ها می‌باشند.

اسمیت (۲۳) در سال ۱۹۳۶ استفاده از شاخص‌های انتخاب را بنیان‌گذاری نمود و عنوان کرد که چون ارزش ژنتیکی نمی‌تواند به‌صورت مستقیم تعیین شود، باید به‌وسیله تابع خطی از ارزش‌های فنوتیپی تخمین زده شود. 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. هیزل (۱۰) این تابع را در سال ۱۹۴۳ بر مبنای ارزش‌های اقتصادی صفات، میزان بهبود مورد نیاز بر حسب انحراف معیارها، همبستگی‌ها و پارامترهای ژنتیکی نظیر وراثت‌پذیری و همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات گسترش داد. این تابع به برآورد واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی و هم‌چنین دادن وزنه به هر صفت (ارزش اقتصادی) نیاز داشت. پسک و بیکر (۱۸) مسئله محدودیت نسبت دادن ارزش‌های اقتصادی را به صفات کمی مطرح کردند و شاخصی را پیشنهاد نمودند که در آن از بهره ژنتیکی به‌جای ارزش اقتصادی استفاده می‌شود. این شاخص یک شاخص انتخاب تعدیل شده است و در آن از واریانس‌ها و کواریانس‌های ژنتیکی افراد استفاده می‌شود. بیواس و همکاران (۴) تعداد ۳۱ شاخص انتخاب را بر مبنای تابع هیزل برای پنج صفت سورگوم بررسی کردند. در طی انتخاب براساس شاخص، عملکرد دانه و علوفه بهبود یافت. در این آزمایش هم‌چنین مشخص شد که وقتی انتخاب برای صفتی به تنهایی انجام می‌شود، بازده کمی از انتخاب به‌دست می‌آید و هرچه تعداد صفات در شاخص بیشتر باشد، کارایی انتخاب بر مبنای شاخص نسبت به انتخاب مستقیم بیشتر می‌شود. جردات و همکاران (۱۱) از شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد علوفه جو در دو شرایط تنش شوری و عدم تنش استفاده کردند و در مجموع سهم درصد جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و وزن خشک علوفه را در این شاخص‌ها با اهمیت

دانستند. سوان تارادون و همکاران (۲۴) برای بهبود توأم هفت صفت در لاین‌های S_1 ذرت، انواع شاخص‌های انتخاب را مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که به‌دلیل سهولت استفاده از شاخص پایه، درصورتی‌که ارزش‌های اقتصادی دقیقاً مشخص باشند استفاده از این شاخص ترجیح داده می‌شود، اما زمانی که ارزش‌های اقتصادی نامشخص باشند استفاده از شاخص تغییر یافته پسک و بیکر پیشنهاد می‌شود. منیری‌فر و همکاران (۱۶) کارایی انتخاب بر مبنای شاخص‌های گزینشی را در یونجه مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند 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. صبوری و همکاران (۲۱) نشان دادند که آثار مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی وزن دانه، تعداد خوشه و طول خوشه می‌توانند معیارهای مؤثرتری در معرفی شاخص‌های گزینشی برای انتخاب غیر مستقیم در برنج باشند. کندل و همکاران (۱۲) از انتخاب غیر مستقیم براساس اجزای عملکرد، برای بهبود عملکرد دانه در جو استفاده کردند. تعداد سنبله در مترمربع و وزن دانه به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را روی انتخاب برای عملکرد بالاتر داشتند و مشخص شد که انتخاب از طریق تعداد سنبله در مترمربع، بیش از سایر اجزای عملکرد باعث بهبود عملکرد دانه می‌شود. مختاسی‌بیدگلی و همکاران (۱۵) در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ عنوان کردند که صفات بیوماس کل و تعداد روز تا شروع شاخه‌دهی به‌عنوان معیارهای اصلی انتخاب برای بهبود هم‌زمان صفات و برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا گزارش شدند. مارسلو و همکاران (۱۴) 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 به‌دست می‌آیند و شاخص اسمیت - هیزل بهره بیشتری داشته است.

با توجه به اینکه ایران یکی از مراکز مهم تنوع گلرنگ بوده و سازگاری بالایی به شرایط آب‌وهوایی کشور دارد، اتخاذ روش مناسب گزینش برای ایجاد ارقام پُرتولید از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا این مطالعه به‌منظور مقایسه معیارهای انتخاب مستقیم و غیر مستقیم برای بهبود عملکرد گلرنگ و تعیین شاخص‌های مناسب انتخاب براساس صفات مرتبط با عملکرد و نیز مقایسه کارایی آنها و معرفی بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر پاسخ به شاخص‌ها صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۰ - ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان انجام شد. محل آزمایش براساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم بسیار خشک با تابستان‌های گرم و خشک بود. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه منطقه به‌ترتیب ۱۴۰ میلی‌متر و ۴/۵°C است. بافت خاک این منطقه لومی‌رسی با اسیدیته ۷/۵ و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. در این مطالعه ۱۰۰ ژنوتیپ مختلف گلرنگ شامل ۸۳ ژنوتیپ خارجی و ۱۷ ژنوتیپ داخلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش به‌صورت طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ در سه تکرار اجرا شد. در اواسط اسفند ماه ۱۳۸۹ بذور هر ژنوتیپ به‌صورت نواری در دو ردیف به طول دو متر با فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف برابر ۱۰ سانتی‌متر، به‌عنوان یک واحد آزمایشی کشت گردیدند. فسفر و نیتروژن مورد نیاز گیاه با افزودن کود فسفات آمونیوم براساس ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت تأمین شد. آبیاری تا زمان استقرار گیاهچه‌ها هر ۳ تا ۵ روز یک‌بار و از مرحله استقرار به بعد به‌طور تقریبی هر ۱۰ روز یک‌بار (با توجه به پتانسیل تبخیر و تعرق) انجام گردید. به‌منظور تکمیل ازت مورد نیاز گیاه، در مرحله به ساقه رفتن از کود اوره به‌صورت سرک و به‌میزان

۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. کنترل علف‌های هرز در آزمایش نیز به طریق دستی انجام گرفت. در این بررسی از قسمت وسط هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه انتخاب و صفات روز تا گل‌دهی (تعداد روز از کاشت تا شروع گل‌دهی)، تعداد شاخه در بوته، تعداد غوزه در بوته، ارتفاع بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته یادداشت‌برداری گردید.

براساس اطلاعات به‌دست آمده از رگرسیون گام‌به‌گام صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه در تشکیل شاخص‌های انتخاب به‌کار 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 (۸). برای شاخص اسمیت – هیزل بردار b از رابطه (۲) محاسبه شد که در آن P و G به‌ترتیب ماتریس‌های واریانس – کواریانس فنوتیپی و ژنتیکی می‌باشند و a ارزش اقتصادی نسبی صفات است که یک‌بار برابر یک و یک‌بار برابر وراثت‌پذیری در نظر گرفته شد. به‌دلیل محدودیت شاخص اسمیت – هیزل از لحاظ نسبت دادن ارزش‌های نسبی اقتصادی به صفات کمی شاخص پسک – بیکر (۱۸) نیز محاسبه شد. در این شاخص به‌جای ارزش‌های اقتصادی (a)، از بازده ژنتیکی مطلوب (g) یا بردار جذر واریانس فنوتیپی هر صفت استفاده شد. بنابراین ضریب b مطابق رابطه (۳) محاسبه شد.

$$I = \sum b_i P_i \quad (۱)$$

$$b = P^{-1}Ga \quad (۲)$$

$$b = G^{-1}g \quad (۳)$$

پس از محاسبه شاخص‌ها، با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی در شاخص‌ها، مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ به‌دست آمد و مانند یک صفت مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و همبستگی آن با عملکرد دانه محاسبه شد.

پاسخ به انتخاب برای هر صفت از رابطه (۴) محاسبه شد. در این رابطه σ_{pi} انحراف معیار فنوتیپی هر صفت، H^2 وراثت‌پذیری عمومی هر صفت و K شدت انتخاب (۱/۷۵۵) می‌باشد (۸). پاسخ همبسته برای انتخاب یک صفت از طریق گزینش برای صفات دیگر از رابطه (۵) به‌دست آمد (۸). در این رابطه r ضریب همبستگی ژنتیکی بین صفت مورد نظر برای بهبود و صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود. کارایی نسبی انتخاب یا به عبارتی پاسخ غیر مستقیم انتخاب (CRy) برای عملکرد نسبت به انتخاب مستقیم (Ry) نیز از رابطه (۶) محاسبه شد. ژنوتیپ‌ها برمبنای هر کدام از شاخص‌ها و عملکرد مرتب شدند و ۳۰ درصد از بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص‌ها با بهترین ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد مقایسه شدند.

$$R_y = Kh^2\sigma_{pi} \quad (۴)$$

$$CR_y = Kh_x\, h_y\, r_g\, \sigma_{p(y)} \quad (۵)$$

$$RSE = CR_y / R_y \quad (۶)$$

در نهایت برای هر صفت موجود در شاخص بازده مورد انتظار (ΔG)، براساس انتخاب بر مبنای شاخص طبق رابطه (۷) محاسبه گردید (مقدار K با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۱۰ درصد برابر با ۱/۷۵۵ در نظر گرفته شد). در این رابطه σ_{Ii} کواریانس شاخص با هر صفت می‌باشد که توسط رابطه (۸) به‌دست آمد (۸). σ_{gij} کواریانس ژنتیکی صفات i و j می‌باشد. 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. تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS ۹/۱ و داده‌پردازی و ترسیم جداول به کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

$$\Delta G = K\sigma_{Ii} / \sigma_I \quad (۷)$$

$$\sigma_{Ii} = \sum b_i \sigma_{gij} \quad (۸)$$

$$\sigma_I = \sqrt{b'Pb} \quad (۹)$$

$$\Delta H = \sum \Delta G_i \quad (۱۰)$$

نتایج و بحث

برآورد مقادیر پاسخ به انتخاب مستقیم و پاسخ همبسته براساس

درصد و نسبت به میانگین جامعه نشان داد که صفت تعداد دانه در غوزه با میزان ۶۳/۳۰ درصد نسبت به میانگین جامعه بیشترین پاسخ مورد انتظار را به انتخاب مستقیم داشت. بنابراین می‌توان گفت انتخاب مستقیم برای تعداد دانه در غوزه نسبت به سایر صفات می‌تواند مؤثرتر واقع شود. صفت وزن هزار دانه با ۳۱/۳۵ درصد کمترین مقدار پاسخ مورد انتظار به انتخاب مستقیم را نسبت به میانگین جامعه نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب برای این صفت نسبت به سایر صفات مورد بررسی، تأثیر کمتری خواهد شد (جدول ۱).

مقادیر پاسخ به انتخاب غیر مستقیم برای صفت عملکرد دانه در بوته (جدول ۲) نشان داد که بیشترین مقدار پاسخ همبسته به انتخاب برای عملکرد دانه در بوته از طریق تعداد غوزه در بوته و برابر ۲۷/۲۳ درصد بود که می‌تواند به‌دلیل همبستگی ژنتیکی بیشتر (r_g = ۰/۵۸) این دو صفت با یکدیگر باشد. دابلکار (۶) بیان کرد که کارایی انتخاب غیر مستقیم زمانی افزایش می‌یابد که همبستگی ژنتیکی بین این دو صفت بالا باشد و وراثت‌پذیری صفت مورد نظر همبسته نیز جهت بهبود آن بالا باشد. پاسخ همبسته برای عملکرد دانه از طریق صفات تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه نیز مثبت بود که نشان می‌دهد با افزایش این صفات عملکرد دانه افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر این سه صفت می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی جهت افزایش عملکرد دانه در بوته گلرنگ مورد توجه قرار گیرند. کارایی نسبی انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد دانه در بوته از طریق تعداد غوزه در بوته بیشترین مقدار (۰/۵۶) بود که نشان می‌دهد انتخاب غیر مستقیم از طریق این صفت می‌تواند برای بهبود عملکرد دانه در بوته موفقیت‌آمیز باشد. پهلوانی و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای روی گلرنگ نشان دادند که از بین صفاتی که با عملکرد دانه همبستگی ژنتیکی دارند، بیشترین بهبود عملکرد از طریق انتخاب برای افزایش تعداد غوزه در بوته و تعداد دانه در غوزه به‌دست آمد، زیرا این صفات بیشترین پاسخ به انتخاب غیر مستقیم را داشتند.

در این مطالعه شاخص‌های انتخاب براساس صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه مورد محاسبه قرار گرفتند. ضرایب (b_i) هریک از صفات در شاخص‌های اسمیت - هیزل و پسک - بیکر در جدول ۳ آورده شده‌اند که در شاخص‌های مختلف صفات ضرایب متفاوتی داشتند. در شاخص اسمیت - هیزل ۱ و اسمیت - هیزل ۲ بیشترین مقدار ضریب شاخص متعلق به صفات تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه بود. در شاخص پسک - بیکر بیشترین ضریب شاخص متعلق به صفت وزن هزار دانه و با ضریبی برابر ۰/۳۵ بود. بدین‌ترتیب صفت وزن هزار دانه با بالاترین ضریب، به‌صورت مثبت در انتخاب براساس این شاخص‌ها اثرگذارخواهد بود. عشقی و همکاران (۷) در مطالعه‌ای بر روی جمعیت F_2 جو و با بررسی دو شاخص اسمیت - هیزل و بریم - ویلیامز نشان دادند که بیشترین پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه و صفاتی مثل تعداد پنجه و ارتفاع بوته از طریق شاخص‌هایی که از حاصل ضرب مقادیر وراثت‌پذیری عمومی در اثرات مستقیم آنها در تجزیه ضرایب مسیر هستند، به‌دست می‌آید. ویتنی و کومار (۲۵) در مطالعه‌ای برای بهبود هم‌زمان عملکرد و مقاومت به خشکی در ارقام برنج نشان دادند که تعداد ریشه‌های افشان و ارتفاع بوته به‌عنوان معیارهای اصلی انتخاب برای بهبود هم‌زمان این دو صفت مناسب هستند و هر دوی این صفات اثر مستقیم زیادی بر عملکرد دانه و وزن ریشه داشتند.

با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی صفات در هریک از شاخص‌ها مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ به‌دست آمد. سپس هریک از شاخص‌ها به‌عنوان یک صفت مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و پارامترهای آماری مربوط به آنها، همبستگی ژنتیکی بین شاخص‌ها با عملکرد و کارایی انتخاب براساس شاخص‌ها نیز مورد محاسبه قرار گرفتند. نتایج نشان داد (جدول ۴) که ژنوتیپ شماره ۳ که از نظر صفت عملکرد دانه در بوته در رتبه ۱ قرار داشت، از نظر شاخص‌های اسمیت - هیزل در رتبه ۲ قرار گرفت. این

جدول ۱. مقادیر پاسخ مستقیم به انتخاب برای صفات مختلف در ژنوتیپ‌های تحت بررسی گلرنگ

صفت	پاسخ مورد انتظار به گزینش مستقیم	پاسخ مورد انتظار به گزینش نسبت به میانگین جامعه (٪)
عملکرد دانه در بوته (g)	۱۳/۲۹	۴۲/۱۱
تعداد غوزه در بوته	۱۴/۳۷	۴۸/۱۴
تعداد دانه در غوزه	۱۸/۹۶	۶۳/۳۰
وزن هزار دانه (g)	۱۱/۸۱	۳۱/۳۵

جدول ۲. مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود عملکرد دانه از طریق انتخاب برای اجزای عملکرد

صفت	اجزای عملکرد	پاسخ همبسته	پاسخ همبسته نسبت به میانگین جامعه (٪)	کارایی نسبی انتخاب غیر مستقیم نسبت به انتخاب مستقیم
عملکرد دانه در بوته (g)	تعداد غوزه در بوته	۸/۱۳	۲۷/۲۳	۰/۵۶
	تعداد دانه در غوزه	۲/۷۹	۹/۳۱	۰/۱۴
	وزن هزار دانه	۱/۳۲	۳/۵۰	۰/۱۱

جدول ۳. ضرایب هریک از صفات اجزای عملکرد دانه در سه شاخص تحت بررسی در ژنوتیپ‌های گلرنگ

صفت	شاخص		
	اسمیت – هیزل ۱*	اسمیت – هیزل ۲*	پسک – بیکر
تعداد غوزه در بوته	۰/۵۰	۰/۳۷	۰/۳۲
تعداد دانه در غوزه	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۲۷
وزن هزار دانه	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۳۵

*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.

ژنوتیپ از نظر شاخص پسک – بیکر نیز دارای رتبه ۱ بود. ژنوتیپ شماره ۴۹ از نظر شاخص‌های اسمیت – هیزل در رتبه ۴، برای شاخص پسک – بیکر در رتبه ۳ و از لحاظ عملکرد دانه در بوته نیز در رتبه ۲ قرار داشت. ژنوتیپ شماره ۴۴ که از نظر عملکرد دانه در بوته در رتبه ۳ قرار گرفت از نظر شاخص اسمیت – هیزل ۱ در رتبه ۸ و از نظر شاخص اسمیت – هیزل ۲ در رتبه ۱۱ قرار گرفت، اما از نظر شاخص پسک – بیکر دارای رتبه ۹ بود.

ژنوتیپ ۶۷ از نظر هر دو شاخص اسمیت – هیزل در رتبه ۱ قرار داشت هرچند از نظر عملکرد دانه جزو ۳۰ ژنوتیپ برتر نبود و ژنوتیپ شماره ۳ از نظر شاخص پسک – بیکر در رتبه اول قرار داشت و از لحاظ عملکرد دانه نیز دارای رتبه ۲ بود. از ۳۰ ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد، تعداد ۲۱ ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت – هیزل ۱، ۱۸ ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت – هیزل ۲ و ۲۳ ژنوتیپ از نظر شاخص پسک – بیکر جزو ۳۰ درصد ژنوتیپ‌های برتر بودند. محاسبه مقدار واریانس ژنتیکی، وراثت‌پذیری و همبستگی ژنتیکی (جدول ۴) نشان داد که کمترین مقدار واریانس.

جدول ۴. مقادیر عملکرد دانه در بوته، شاخص‌های انتخاب، شماره هر ژنوتیپ (اعداد داخل پرانتز) و پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی گلرنگ

رتبه ژنوتیپ‌ها (۳۰٪ برتر براساس عملکرد)	عملکرد دانه در بوته (گرم)		شاخص اسمیت – هیزل ۱		شاخص اسمیت – هیزل ۲		شاخص پسک – بیکر	
۱	(۳)	۶۵/۹۰	(۶۷)	۷۹/۹۵	(۶۷)	۳۶/۹۴	(۳)	۹۸/۵۰
۲	(۴۹)	۸۷/۶۳	(۳)	۷۰/۹۱	(۳)	۴۴/۸۱	(۶۷)	۵۶/۴۱
۳	(۴۴)	۷۳/۵۱	(۵۲)	۹۵/۸۱	(۵۲)	۶۳/۸۰	(۴۹)	۶۶/۳۸
۴	(۴۳)	۲۱/۴۸	(۴۹)	۵۰/۷۸	(۴۹)	۷۶/۷۲	(۷۸)	۱۹/۳۷
۵	(۷۰)	۶۲/۴۷	(۴۲)	۳۶/۷۳	(۳۸)	۷۲/۷۰	(۴۷)	۹۸/۳۶
۶	(۷۸)	۳۲/۴۷	(۵۴)	۹۷/۷۲	(۴۲)	۲۰/۷۰	(۵۴)	۶۷/۳۶
۷	(۵۸)	۳۳/۴۵	(۳۸)	۸۴/۷۲	(۵۴)	۵۷/۶۹	(۵۲)	۳۸/۳۶
۸	(۴۷)	۶۶/۴۴	(۴۴)	۵۷/۷۲	(۵۳)	۴۲/۶۸	(۴۲)	۲۱/۳۶
۹	(۵۳)	۱۴/۴۳	(۵۳)	۶۲/۷۱	(۶۰)	۵۲/۶۷	(۴۴)	۹۳/۳۵
۱۰	(۷۶)	۷۰/۴۳	(۵۸)	۳۷/۷۱	(۵۸)	۵۱/۶۷	(۷۶)	۸۳/۳۵
۱۱	(۴۲)	۵۱/۴۲	(۶۰)	۴۵/۷۱	(۴۴)	۲۷/۶۷	(۵۸)	۷۶/۳۵
۱۲	(۸۴)	۴۴/۴۲	(۷۸)	۳۳/۷۰	(۵۵)	۸۶/۶۶	(۶۰)	۶۸/۳۵
۱۳	(۴۵)	۰۰/۴۲	(۵۵)	۴۸/۶۹	(۵۹)	۵۸/۶۶	(۲۸)	۸۸/۳۵
۱۴	(۲۸)	۲۳/۴۱	(۴۳)	۴۱/۶۹	(۴۳)	۹۰/۶۴	(۷۰)	۵۰/۳۵
۱۵	(۶۰)	۸۰/۴۰	(۷۰)	۸۹/۶۸	(۹۱)	۳۳/۶۴	(۳۸)	۸۴/۳۴
۱۶	(۲۹)	۳۲/۴۰	(۵۹)	۶۵/۶۸	(۸۹)	۹۸/۶۴	(۴۳)	۸۴/۳۴
۱۷	(۲۴)	۲۸/۴۰	(۴۷)	۴۲/۶۸	(۴۸)	۸۴/۶۳	(۵۵)	۵۸/۳۴
۱۸	(۴۸)	۱۴/۴۰	(۴۸)	۸۰/۶۷	(۷۸)	۱۲/۶۳	(۴۵)	۳۵/۳۴
۱۹	(۵۴)	۱۰/۴۰	(۸۹)	۱۲/۶۷	(۷۰)	۵۱/۶۳	(۶۳)	۲۶/۳۴
۲۰	(۶۳)	۷۵/۳۹	(۸۴)	۹۵/۶۶	(۶۱)	۵۸/۶۲	(۲۴)	۲۳/۳۴
۲۱	(۱۵)	۶۰/۳۸	(۷۶)	۸۶/۶۶	(۸۴)	۵۴/۶۲	(۵۳)	۸۲/۳۴
۲۲	(۴۰)	۸۰/۳۸	(۶۳)	۸۲/۶۶	(۵۰)	۷۷/۶۲	(۲۹)	۶۶/۳۴
۲۳	(۴)	۷۸/۳۶	(۴۵)	۷۲/۶۶	(۳۳)	۶۹/۶۲	(۸۴)	۲۴/۳۳
۲۴	(۱۱)	۵۹/۳۶	(۹۱)	۵۷/۶۶	(۲۷)	۸۸/۶۱	(۱۴)	۱۶/۳۳
۲۵	(۳۳)	۵۲/۳۶	(۲۹)	۷۶/۶۵	(۴۵)	۷۲/۶۱	(۴۸)	۶۸/۳۲
۲۶	(۴۶)	۲۰/۳۶	(۲۸)	۷۳/۶۵	(۳۰)	۷۲/۶۱	(۱۵)	۵۹/۳۲
۲۷	(۳۱)	۶۵/۳۵	(۲۴)	۶۲/۶۵	(۶۳)	۵۳/۶۱	(۳۰)	۵۳/۳۲
۲۸	(۳۸)	۱۶/۳۵	(۶۱)	۳۲/۶۵	(۲۹)	۱۲/۶۱	(۶۱)	۴۶/۳۲
۲۹	(۳۵)	۴۵/۳۴	(۲۷)	۱۰/۶۵	(۸۶)	۴۰/۶۱	(۵۰)	۴۵/۳۲

* تعداد ژنوتیپی که جزء ۳۰ درصد برتر ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و هر شاخص می‌باشند.

ادامه جدول ۵. مقادیر عملکرد دانه در بوته، شاخص‌های انتخاب، شماره هر ژنوتیپ (اعداد داخل پرانتز) و پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی گلرنگ

رتبه ژنوتیپ‌ها (۳۰٪ برتر براساس عملکرد)	عملکرد دانه در بوته (گرم)		شاخص اسمیت – هیزل ۱		شاخص اسمیت – هیزل ۲		شاخص پسک – بیکر	
۳۰	(۵۱)	۴۲/۳۴	(۵۰)	۷۲/۶۵	(۹۲)	۱۳/۶۱	(۴)	۴۴/۳۲
واریانس ژنتیکی	۵۴/۶۳		۴۱/۲۵		۴۲/۰۴		۸/۲۹	
وراثت‌پذیری (٪)	۷۰		۷۰		۷۷		۵۹	
همبستگی ژنتیکی با عملکرد	۱		۰/۶۷		۰/۵۶		۰/۸۲	
تعداد ژنوتیپ برتر*	۳۰		۲۱		۱۸		۲۳	

* تعداد ژنوتیپی که جزء ۳۰ درصد برتر ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و هر شاخص می‌باشند.

ژنتیکی متعلق به شاخص پسک – بیکر و برابر ۸/۲۹ بود شاخص اسمیت – هیزل ۲ واریانس ژنتیکی بیشتری نسبت به شاخص اسمیت – هیزل ۱ داشت. شاخص‌های اسمیت – هیزل ۱ و اسمیت – هیزل ۲ نسبت به شاخص پسک – بیکر وراثت‌پذیری بیشتری نشان دادند و وراثت‌پذیری آنها به‌ترتیب ۷۰ و ۷۷ درصد بود. شاخص پسک – بیکر دارای بیشترین همبستگی ژنتیکی با عملکرد دانه در بوته (۰/۸۲) بود. مقادیر پاسخ همبسته برای عملکرد دانه از طریق هریک از شاخص‌های اسمیت – هیزل ۱، اسمیت – هیزل ۲ و پسک – بیکر به‌ترتیب برابر ۹/۰۳، ۷/۹۸ و ۱۰/۱۸ گرم و نسبت به میانگین جامعه ۲۸/۶۱، ۲۵/۲۸ و ۳۲/۲۵ درصد بود. مقادیر کارایی انتخاب غیر مستقیم عملکرد دانه براساس شاخص‌ها نسبت به انتخاب مستقیم آنها نیز بالا بود که بیشترین آن تعلق به شاخص پسک – بیکر (۰/۷۶) بود (جدول ۵). با توجه به این نتایج و از آنجایی‌که همبستگی ژنتیکی شاخص‌ها با عملکرد دانه بالا برآورد شده است، به‌نظر می‌رسد که کاربرد شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد دانه گلرنگ می‌تواند مؤثر واقع شود. با توجه به بیشتر بودن مقدار کارایی نسبی انتخاب شاخص پسک – بیکر نسبت به دو شاخص دیگر، به‌نظر می‌رسد بازدهی این شاخص برای بهبود عملکرد دانه بیشتر از دو شاخص دیگر باشد. گرانات و همکاران (۹) نیز در مطالعه‌ای روی ذرت نشان دادند که کارایی شاخص انتخاب پسک – بیکر در مقایسه با انتخاب مستقیم برای عملکرد بالاتر است. چاندرا و همکاران (۵) نیز در مطالعه‌ای از شاخص انتخاب برای بهبود عملکرد ۱۹۲ ژنوتیپ بادام‌زمینی استفاده کردند و بیان نمودند که استفاده از شاخص انتخاب نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد برتری دارد. ربیعی و همکاران (۱۹) با ارزیابی شاخص‌های انتخاب برای بهبود شکل دانه برنج عنوان کردند که شاخص‌های انتخابی که در آنها از ضرایب علیت به‌عنوان وزنه‌های اقتصادی استفاده می‌شود و شاخص‌هایی که وزنه یک دارند برای بهبود شکل دانه برنج کارایی بالایی دارند. اصغر و مهدی (۲) در مطالعه‌ای روی ذرت شیرین با مقایسه سه نوع شاخص انتخاب اسمیت – هیزل، شاخص با بازده مطلوب و شاخص پایه نشان دادند که شاخص اسمیت – هیزل نسبت به دو شاخص دیگر کارایی بیشتری دارد.

مقادیر بازدهی مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص‌ها، برحسب درصد و نسبت به میانگین جامعه نشان داد (جدول ۶) که در هر سه شاخص، بیشترین بازدهی مورد انتظار متعلق به صفت تعداد دانه در غوزه می‌باشد. بعد از این صفت، وزن هزار دانه بیشترین بازدهی مورد انتظار را نشان داد. برای صفت تعداد غوزه در بوته بازدهی مورد انتظار از طریق شاخص‌های اسمیت – هیزل منفی و از طریق شاخص پسک – بیکر مثبت بود که نشان می‌دهد انتخاب

جدول ۶. مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود عملکرد دانه با استفاده از شاخص انتخاب در ژنوتیپ‌های گلرنگ

صفت	شاخص انتخاب	پاسخ همبسته	پاسخ همبسته نسبت به میانگین جامعه (٪)	کارایی نسبی انتخاب براساس شاخص نسبت به انتخاب مستقیم عملکرد
عملکرد دانه در بوته (g)	اسمیت - هیزل ۱	۹/۰۳	۲۸/۶۱	۰/۶۷
	اسمیت - هیزل ۲	۷/۹۸	۲۵/۲۸	۰/۶۰
	پسک - بیکر	۱۰/۱۸	۳۲/۲۵	۰/۷۶

جدول ۷. بازدهی مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) و بهره مورد انتظار برای هر شاخص (ΔH)

شاخص	بازدهی مورد انتظار برای هر صفت			بهره مورد انتظار
	تعداد غوزه در بوته	تعداد دانه در غوزه	وزن هزار دانه	
اسمیت - هیزل ۱	-۰/۰۳	۷/۷۱	۱/۸۱	۹/۴۹
اسمیت - هیزل ۲	-۰/۸۴	۸/۷۲	۲/۱۵	۱۰/۰۳
پسک - بیکر	۱/۳۱	۱/۴۵	۱/۱۴	۴/۲۰

براساس شاخص‌های اسمیت - هیزل باعث کاهش و براساس شاخص پسک - بیکر موجب افزایش تعداد غوزه در بوته خواهد شد. بهره مورد انتظار برای هر شاخص از طریق تمامی صفات برای شاخص‌های اسمیت - هیزل ۱، اسمیت - هیزل ۲ و پسک - بیکر به‌ترتیب ۹/۴۹، ۱۰/۰۳و ۴/۲۰ بود.

در بحث انتخاب غیر مستقیم از آنجایی‌که عملکرد یکی از صفاتی است که به شدت تحت‌تأثیر محیط قرار گرفته و به‌طور معمول از وراثت‌پذیری پایینی برخوردار است، انتخاب پایدارتر بایستی بر مبنای اجزای عملکرد صورت پذیرد. استفاده از شاخص‌های انتخاب منجر به برقراری مصالحه بین اجزای عملکرد شده و هم‌زمان یک معیار مناسب برای گزینش را فراهم می‌آورد. در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که شاخص‌های پسک - بیکر و اسمیت - هیزل از نظر کارایی نسبی اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند که می‌توانند به‌منظور گزینش غیر مستقیم برای بهبود عملکرد دانه در گلرنگ استفاده شوند. اما با توجه به اینکه راندمان شاخص‌های اسمیت - هیزل جهت بهبود هم‌زمان همه صفات نسبت به شاخص پسک - بیکر بیشتر بود، بنابراین در نهایت توصیه می‌شود از شاخص های اسمیت - هیزل برای اصلاح توأم عملکرد و اجزای عملکرد استفاده گردد.

منابع مورد استفاده

1. Abdemishani, S. and A. A. Shahnejat Booshehri. 1996. Advanced Plant Breeding. Tehran University Press (In Farsi).
2. Asghar, M. M. and S. S. Mehdi. 2010. Selection indices for yield and quality traits in sweet corn. *Pakistan Journal of Botany* 42: 775-789.
3. Asif, M., M. Y. Mujahid, I. Ahmad, N. S. Kisana, M. Asim and S. Z. Mustafa. 2003. Determining the direct selection criteria for identification of high yielding lines in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Pakistan Journal of Biological Science* 6: 48-50.
4. Biswas, B. K., M. Hasanuzzaman, F. El Taj, M.S. Alam and M. R. Amin. 2001. Simultaneous selection for fodder and grain yield in sorghum. *Journal of Biological Sciences* 1: 321-323.
5. Chandra, S., S. N. Nigam, A. W. Cruickshank, A. Bandyopadhya and S. Harikrishna. 2003. Selection index for

identifying high-yielding groundnut genotypes in irrigated and rainfed environments. *Annals of Applied Biology* 143: 303-310.
6. Dabholkar, A. R. 1992. Elements of Biometrical Genetics. Concept Publishing Company, New Dehli.
7. Eshghi, R., J. Ojaghi and S. Salayeva. 2011. Genetic gain through selection indices in hulless barley. *International Journal of Agriculture and Biology* 13: 191-197
8. Falconer, D. S. 1989. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Group Ltd., London.
9. Granat, M. J., C. Cosmedomia and A. Pattopacheco. 2002. Prediction of genetic gain with different selection indices in popcorn. CMC-43. Revista Pub.37:1-7.
10. Hazel, L. 1943. The genetic basis for constructions selection indices. *Genetics* 28: 476-490.
11. Jaradat, A. A., M. A. Shahid and A. Al-Maskri. 2004. Genetic diversity in the Batini barley landrace from Oman: II. Response to salinity stress. *Crop Science* 44: 997-1007.
12. Kendell, B., D.C. Rasmusson and M. Galla –Meagher. 2000. Enhancing yield of semidwarf barley. *Crop Science* 40: 352-358.
13. Kumar, J. and P. N. Bahl. 1992. Direct and indirect selection for yield in chickpea. *Euphytica* 60: 197-199
14. Marcelo, M. C., D. M. O. Antonio, U. Sandra, C. A. Nair, M. B. Ivana, D. S. Gustavo and S. M. F. Romero. 2008. Analysis of direct and indirect selection and indices in soyabean segregating populations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 8: 447-455
15. Mokhtasi Bidgoli, A., G. A. Akbari, M. J. Mirhadi, E. Zand and S. Soufizadeh. 2006. Path analysis of relationships between seed yield and some morphological and phonological traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Euphytica* 148: 261-268.
16. Monirifar, H. 2010. Evaluation of selection indices for alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Notulae Scientia Biologicae* 2: 84-87
17. Pahlavani, M. H., G. Saeidi and A. F. Mirlohi. 2009. Correlated response to selection for yield and oil content of seed in safflower. *Electronic Journal of Crop Production* 3: 49-63. (In Farsi).
18. Pesek, J. and R. J. Baker. 1969. Desired improvement in relation to selection indices. *Canadian Journal of Plant Science* 49: 803-804.
19. Rabiei, B., M. Valizadeh, B. Ghareyazie and M. Moghadam. 2004. Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. *Field Crops Research* 89: 359-367.
20. Rosielle, A. A. and K. J. Frey. 1975. Application of restricted selection indices for grain yield improvement in oats. *Crop Science* 15: 544-547.
21. Sabouri, H., A. Sabouri and A. R. Dadras. 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.
22. Sabouri, H., B. Rabiei and M. Fazlalipour. 2008. Use of selection indices based on multivariate analysis for improving grain yield in rice. *Rice Science* 15: 303-310.
23. Smith, H. F. 1936. A discrimination function for plant selection. *Annals of Eugenics* 7: 240-250
24. Suwantaradon, K., S. A. Eberhart, J. J. Mock, J. C. Owens and W. D. Guthrie. 1975. Index selection for several agronomic traits in the BSSS2 maize population. *Crop Science* 15: 827-833.
25. Vitotihni, S. and C. R. A. Kumar. 2008. Selection indices for simultaneous improvement of yield and drought tolerance in rice cultures. *The Madras Agricultural Journal* 95: 283-294.
26. 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.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 7, No. 1, Spring 2017, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Direct and Indirect Selection Responses for Seed Yield Improvement in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

R. Dehghan Kouhestani[1], M. M. Majidi[2*] and GH. Saeidi[2]

(Received: April 12-2014; Accepted: July 15-2015)

Abstract

Breeding based on selection indices is an effective method for improving complex traits such as grain yield. In order to assess the efficiency of different selection methods, 83 exotic along with 17 Iranian safflower genotypes were evaluated at research farm of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran using a simple lattice design with three replications in 2011. In this study, the selection indices of Smith-Hazel and Pesek-Baker were determined based on the number of capitulum per plant, number of seeds per capitulum and 1000-seed weight. Also response to selection and relative selection efficiency were estimated for all traits, including seed yield. The highest estimated selection efficiency for genetic improvement of seed yield was obtained via selection for number of capitulum per plant. Therefore, this trait can be used as an appropriate selection criterion for improvement of seed yield. The results showed that seed yield was highly correlated with each of the studied indices. Also the estimated efficiency of indirect selection via these indices was high. Thus, it seems that these selection indices can be effectively used for seed yield improvement of safflower. Results of present study showed that the efficiency of Smith-Hazel indices for simultaneous improvement of number of capitulum per plant, number of seeds per capitulum and 1000-seed weight of safflower was higher than that of Pesek-Baker index.

Keywords: Selection Response, Smith-Hazel index, Pesek-Baker index, Safflower

1, 2. MSc. Student and Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
*. Corresponding Author, Email: majidi@cc.iut.ac.ir