دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۶ (۱۸۳-۱۷۱)

انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های گزینشی تحت شرایط تنش خشکی

مریم درانی‌نژاد[۱]، قاسم محمدی‌نژاد[۲]* و بابک ناخدا[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۱

چکیده

مؤثرترین روش جهت بهبود ژنتیکی عملکرد به‌عنوان یک صفت چندژنی، استفاده از گزینش غیرمستقیم از طریق صفات دیگر و گزینش هم‌زمان بر مبنای شاخص‌های گزینش مناسب است. هدف از اجرای این پژوهش، انتخاب لاین‌های برتر گندم نان با استفاده از شاخص‌های گزینشی تحت شرایط تنش خشکی بود. برای این منظور، ۳۰۵ لاین خالص گندم حاصل از تلاقی ارقام روشن و فلات به‌همراه چهار رقم شاهد شامل روشن، فلات، مهدوی و شاه‌پسند در قالب طرح آگمنت در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور اعمال تنش خشکی، آبیاری در مرحله ظهور سنبله قطع شد و عملکرد دانه به‌همراه برخی صفات زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. از بین صفات اندازه‌گیری شده، صفات وزن دانه‌های سنبله اصلی، وزن دانه‌های تک‌بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در بوته، وزن سنبله اصلی، طول برگ پرچم، طول سنبله و وزن بوته همبستگی ژنتیکی بالایی با عملکرد دانه داشتند. پاسخ به گزینش مستقیم و همبسته این صفات با عملکرد دانه نیز محاسبه و مشاهده شد که صفات تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در بوته بالاترین کارآیی گزینش را دارند. شاخص‌های گزینش مختلف تهیه شده با استفاده از این صفات، همبستگی ژنتیکی بالایی با عملکرد دانه نشان دادند. علاوه بر آن، کارآیی نسبی گزینش و بهره مورد انتظار از شاخص با استفاده از شاخص اسمیت - هیزل نسبت به شاخص پسک - بیکر بیشتر بود. بنابراین، استفاده از شاخص بهینه می‌تواند برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی گندم مؤثر باشد. در نهایت، بر اساس هر شاخص ۳۰ لاین برتر انتخاب و از مقایسه آن‌ها هفت لاین امیدبخش برای ارزیابی‌های بیشتر جهت قرار گرفتن در فرایند معرفی به زارعین شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: شاخص اسمیت - هیزل، شاخص پسک - بیکر، قطع آبیاری، گزینش همزمان

۱- دانشجوی دکتری، عضو انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲ - دانشیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی و گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- استادیار، گروه فیزیولوژی مولکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* نویسنده مسئول: mohammadinejad@uk.ac.ir

مقدمه

اهمیت گندم به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی از یک سو و وجود خشک‌سالی‌های مکرر اخیر و قرار گرفتن بخش عظیمی از اراضی زیر کشت گندم در ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک از سوی دیگر، تهیه ارقامی که تحت شرایط کم‌آبی تحمل بیشتری داشته و نسبت به تنش آخر فصل کاهش عملکرد کمتری داشته باشد، ضروری می‌کند. تنش خشکی انتهای فصل، عملکرد دانه و وزن دانه‌ها را کاهش می‌دهد (Sanchez – Diaz *et al.*, 2002).

عملکرد دانه یک صفت کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. وراثت‌پذیری این صفت به‌دلیل برهمکنش ژنوتیپ × محیط پایین است و از این‌رو ضروری است به‌منظور افزایش عملکرد دانه، گزینش از طریق اجزای عملکرد صورت گیرد (Richards, 1996). الکساندر و همکاران (Alexander *et al.*, 1984) نشان دادند که انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد و انتخاب همبسته از طریق وزن هزار دانه مؤثرتر از بقیه اجزای عملکرد در گندم است. داوری و لوترا (Dawari and Luthra, 1991) بیان کردند که با گزینش صفاتی که وراثت‌پذیری بالایی دارند و دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه نیز هستند، می‌توان به‌طور غیرمستقیم عملکرد را بهبود بخشید. چاپمن و ادمیدز (Chapman and Edmeades, 1999) نشان دادند که بهترین صفت برای گزینش غیرمستقیم جهت افزایش عملکرد دانه ذرت در شرایط رطوبتی مناسب و تنش، تعداد دانه در واحد سطح است.

یکی از روش‌های انتخاب غیرمستقیم، انتخاب بر اساس شاخص‌های گزینشی مناسب است. به این ترتیب که شاخص مناسبی که ترکیبی از ارزش‌های فنوتیپی است تعریف و بر اساس آن بهترین ژنوتیپ تعیین می‌شود. این شاخص که به‌عنوان یک صفت تلقی می‌شود، بایستی همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشد و از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار باشد. هدف شاخص گزینش آن است که ارزش ژنتیکی واقعی یا ارزش ارثی را با استفاده از یک ترکیب خطی از ارزش‌های فنوتیپی برآورد کند (Baker, 1986). در صورتی‌که از روش‌های مناسب برای محاسبه شاخص استفاده شود، پاسخ به گزینش بر مبنای شاخص گزینش، کارایی بیشتری نسبت به انتخاب مستقیم برای آن صفت خواهد داشت (Rezai, 1994). نتایج یک بررسی در برنج نشان داد که استفاده از یک شاخص گزینش بر مبنای صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و تعداد خوشه در بوته می‌تواند ارزش اقتصادی جمعیت را افزایش دهد (Fazlalipour *et al.*, 2007). در مطالعه دیگری گزارش شد که آثار مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی صفات وزن دانه، تعداد خوشه و طول خوشه در برنج می‌توانند معیارهای مناسبی در تعیین شاخص‌های گزینش برای انتخاب غیرمستقیم باشند (Sabouri *et al.*, 2008).

از شاخص‌های گزینشی مطرح‌شده می‌توان دو شاخص اسمیت- هیزل و پسک-بیکر را نام برد (Smith, 1936; Hazel, 1943; Pesek and Baker, 1969). شاخص اسمیت – هیزل (Smith, 1936; Hazel, 1943) بر اساس ارزش‌های اقتصادی صفات، همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات، وراثت‌پذیری صفات و میزان بهبود مورد نیاز بر حسب انحراف معیارها تعریف شد. برآورد واریانس‌ها و کوواریانس‌های ژنتیکی و دادن وزنه به هر صفت به‌عنوان ارزش اقتصادی از مشکلات این شاخص است. بنابراین، پسک و بیکر (Pesek and Baker, 1969) این محدودیت را مطرح و شاخص جدیدی پیشنهاد کردند که در آن از بهره ژنتیکی به جای ارزش اقتصادی استفاده شد. هیزل (Hazel, 1943) عنوان کرد که اگر از تخمین واقعی پارامترهای ژنتیکی در شاخص اسمیت - هیزل استفاده شود، این شاخص نسبت به شاخص پسک - بیکر دارای کارایی بیشتری خواهد بود. در شاخص اسمیت - هیزل برای تشکیل ماتریس ارزش‌های اقتصادی (ماتریس a) از ضرایب متفاوتی مانند وراثت‌پذیری خصوصی، ضرایب رگرسیون و ضرایب رگرسیون استاندارد شده مانند شاخص بهینه استفاده می‌شود.

یکی دیگر از شاخص‌های مهم شاخص پایه می‌باشد. شاخص پایه توسط بریم و همکاران (Brim *et al.*, 1959) پیشنهاد شد و به وسیله ویلیامز (Williams,1962) گسترش یافت. اگرچه در این شاخص نیازی به برآورد پارامترهای ژنتیکی مانند واریانس‌ها و کوواریانس‌ها نیست و به‌دلیل سادگی محاسبه نسبت به شاخص‌های دیگر برتری دارد، اما پیشرفت ژنتیکی حاصل از آن تقریباً همانند شاخص بهینه است.

هدف از انجام این تحقیق، مقایسه گزینش مستقیم و غیرمستقیم برای بهبود عملکرد دانه تحت تنش خشکی، تعیین شاخص‌های گزینشی مناسب بر اساس صفات مرتبط با عملکرد دانه و معرفی بهترین لاین‌ها از نظر پاسخ به شاخص گزینش بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق، ۳۰۵ لاین خالص گندم حاصل از تلاقی روشن و فلات به‌همراه چهار رقم شاهد شامل روشن، فلات، مهدوی و شاه‌پسند بود که در قالب یک طرح آگمنت بر مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ مورد ارزیابی قرار گرفتند. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه بوده و در ارتفاع ۱۷۵۶ متری از سطح دریا قرار دارد. بافت خاک مزرعه از نوع لومی شنی با اسیدیته ۷/۹ و هدایت الکتریکی ۲/۱۱ دسی زیمنس بر متر بود. مراقبت‌های لازم در طول دوره رشد مانند کوددهی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد و وجین علف‌های هرز با دست صورت گرفت. به‌منظور اعمال تنش خشکی، آبیاری تا مرحله ظهور سنبله طبق معمول انجام شد و بعد از این‌که تقریباً ۵۰ درصد از لاین‌ها وارد مرحله ظهور سنبله شدند، آبیاری قطع شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل طول دوره پرشدن دانه، وزن دانه‌های سنبله اصلی، تعداد دانه‌های سنبله اصلی، وزن دانه‌های تک‌بوته، تعداد دانه‌های تک‌بوته، وزن کاه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در بوته، وزن سنبله اصلی، تعداد گره، ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، طول ریشک، وزن تک‌بوته، عملکرد زیست‌توده، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت بود. برای ارزیابی‌های آماری ابتدا ضریب همبستگی ژنتیکی صفات مورد بررسی با عملکرد محاسبه شد و صفاتی که همبستگی ژنتیکی بالایی با عملکرد دانه داشتند برای محاسبه پاسخ مستقیم و همبسته به‌همراه عملکرد دانه و نیز در تهیه شاخص‌های گزینش استفاده شدند. شاخص‌های گزینش با توجه به رابطه پایه (۱) محاسبه شدند:

$$I = \sum b_i p_i \qquad (۱)$$

در این رابطه b_i ضریب صفت i یا وزنی است که به هر صفت بر اساس ارزش آن داده می‌شود. p_i ارزش فنوتیپی آن صفت می‌باشد (Falconer and Mackay, 1996).

برای شاخص اسمیت- هیزل، b از رابطه (۲) محاسبه شد (Smith, 1936 and Hazel,1943). که در آن P و G به ترتیب ماتریس‌های واریانس- کوواریانس فنوتیپی و ژنتیکی هستند و a ارزش اقتصادی نسبی صفات است که یک بار برابر با یک و یک بار برابر با وراثت‌پذیری خصوصی در نظر گرفته شد.

$$b = P^{-1}Ga \qquad (۲)$$

به‌دلیل محدودیت شاخص اسمیت- هیزل از لحاظ نسبت دادن ارزش‌های نسبی اقتصادی به صفات کمی، شاخص پسک- بیکر (Pesek and 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 و بردار ضرایب شاخص (b) طبق رابطه (۳) محاسبه شد:

$$b = G^{-1}g \qquad (۳)$$

پس از محاسبه شاخص‌ها، با قراردادن ارزش‌های فنوتیپی صفات مربوطه 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.

واکنش نسبت به گزینش برای هر صفت با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد. در این رابطه σ_{pi} انحراف معیار فنوتیپی صفت i، h_i^2 وراثت‌پذیری خصوصی صفت i و k ضریب گزینش است که برای شدت انتخاب ۱۰ درصد برابر با ۱/۷۵۵می‌باشد (Falconer and Mackay, 1996):

$$R_Y = kh_i^2\sigma_{pi} \qquad (۴)$$

پاسخ همبسته برای انتخاب یک صفت از طریق گزینش برای صفات دیگر نیز از رابطه (۵) به‌دست آمد (Falconer and Mackay, 1996):

در این رابطه r_g ضریب همبستگی ژنتیکی بین صفت مورد نظر برای بهبود صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود و با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد. σ^2_{gi} واریانس ژنتیکی صفت i و σ^2_{gj} واریانس ژنتیکی صفت jام می‌باشد:

$$CR_Y = Kh_x h_y r_g \sigma_{p(y)} \qquad (۵)$$

$$r_g = \frac{\sigma_{g_{ij}}}{\sqrt{\sigma_i^2\sigma_j^2}} \qquad (۶)$$

کارایی نسبی شاخص گزینشی و در حقیقت پاسخ همبسته به گزینش (CR_y) برای عملکرد نسبت به گزینش مستقیم عملکرد (R_y) نیز با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (Falconer and Mackay, 1996):

$$RE = CR_Y/R_Y \qquad (۷)$$

همچنین پنج شاخص گزینشی مختلف بر اساس دو روش (بهینه و پایه) با استفاده از صفات وارد شده در مدل رگرسیونی به‌همراه عملکرد با ارزش‌های اقتصادی در نظرگرفته شده نیز برآورد شد. مقدار ارزش اقتصادی (a) در

معادله (۲) برای صفات مورد بررسی وارد شده در مدل رگرسیون گام‌به‌گام به‌همراه عملکرد به شرح جدول ۱ در نظر گرفته شدند. سپس ژنوتیپ‌ها بر مبنای هر شاخص و عملکرد مرتب و ۱۰ درصد از بهترین ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص مقایسه شدند.

در نهایت بازده مورد انتظار برای هر صفت موجود در شاخص (ΔG) بر اساس انتخاب بر مبنای شاخص طبق رابطه (۸) محاسبه شد. (K با در نظرگرفتن شدت انتخاب ۱۰ درصد برابر با ۱/۷۵۵در نظرگرفته شد):

$$\Delta G = k\frac{\sigma_{I_i}}{\sigma_I} \qquad (۸)$$

دراین رابطه σ_{I_i} کوواریانس شاخص I با صفت i می‌باشد که با استفاده از رابطه (۹) به‌دست آمد:

$$\sigma_{I_i} = \sum b_i \sigma_{g_{ij}} \qquad (۹)$$

$\sigma_{g_{ij}}$ کوواریانس ژنتیکی بین صفات i و j می‌باشد. همچنین σ_I ، انحراف معیار شاخص است که برای هر شاخص از طریق رابطه (۱۰) محاسبه شد:

$$\sigma_I = \sqrt{b'Pb} \qquad (۱۰)$$

بهره مورد انتظار از هر شاخص برای مجموع صفات (ΔH) طبق رابطه (۱۱) محاسبه شد:

$$\Delta H = \sum \Delta G_i \qquad (۱۱)$$

تجزیه‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹ و محاسبه شاخص‌های گزینشی با نوشتن روابط مربوطه در نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

پاسخ مستقیم به گزینش و پاسخ همبسته بر اساس وراثت‌پذیری خصوصی، واریانس فنوتیپی و همبستگی ژنتیکی صفات و شدت انتخاب ۱۰٪ از ژنوتیپ‌ها (K=۱/۷۵۵) محاسبه شد. نتایج پاسخ به گزینش مستقیم و غیرمستقیم در جدول ۲ آورده شده است. صفت تعداد دانه‌های تک‌بوته پاسخ مستقیم به گزینش بالایی را نشان داد که دلیل این امر را می‌توان بیشتر بودن واریانس فنوتیپی این صفت نسبت به سایر صفات عنوان کرد. پاسخ مستقیم عملکرد به گزینش نسبت به پاسخ همبسته آن از طریق صفات دیگر بیشتر بود. پاسخ همبسته برای عملکرد از طریق همه صفات مورد نظر به جز صفت طول سنبله مثبت بود که نشان می‌دهد با افزایش هر یک از این صفات، عملکرد نیز می‌تواند افزایش یابد، به‌عبارت دیگر این صفات می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه مدنظر قرار گیرند. منفی بودن مقدار پاسخ همبسته برای عملکرد از طریق صفت طول سنبله نشان دهنده این است که با افزایش طول سنبله، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار پاسخ همبسته به گزینش برای عملکرد از طریق صفت تعداد سنبله حاصل شد که دلیل آن می‌تواند همبستگی ژنتیکی (۰/۹۹) بیشتر این دو صفت با یکدیگر باشد. نتایج ارزیابی کارایی گزینش غیر مستقیم نسبت به گزینش مستقیم برای عملکرد نشان داد که کارایی نسبی گزینش غیرمستقیم برای عملکرد از طریق صفت تعداد سنبله (۰/۸۳) بیشترین مقدار بود که نشان می‌دهد این صفت می‌تواند به عنوان صفتی مناسب برای گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه معرفی شود. کارایی گزینش غیرمستقیم زمانی افزایش می‌یابد که همبستگی ژنتیکی دو صفت بالا و وراثت‌پذیری صفت ثانویه نیز زیاد باشد (Dabholkar, 1992). رضایی و یوسفی آذر (Rezai and Yousefi Azar, 2008) در یک بررسی که به‌منظور مقایسه انتخاب مستقیم و غیرمستقیم بر اساس شاخص‌های گزینشی در گندم انجام شد، نشان دادند که پاسخ مستقیم عملکرد به گزینش نسبت به پاسخ همبسته آن از طریق صفات دیگر بیشتر بود و پاسخ همبسته برای عملکرد از طریق تعداد سنبله در مترمربع و وزن دانه مثبت و بالا بود که با نتایج مطالعه حاضر مشابهت داشت. در یک مطالعه روی گندم مشاهده شد که انتخاب غیرمستقیم بر اساس صفات تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در افزایش عملکرد مؤثر خواهد بود (Mcneal *et al.*, 1978). کندل و همکاران (Kendell *et al.*, 2000) در مطالعه‌ای برای بهبود عملکرد دانه جو از انتخاب غیرمستقیم بر اساس اجزای عملکرد استفاده کردند و نشان دادند که انتخاب از طریق تعداد سنبله در متر مربع بیش از سایر اجزای عملکرد باعث بهبود عملکرد دانه می‌شود.

ضرایب شاخصی (مقادیر bi برای هر صفت) برای هر یک از شاخص‌ها محاسبه و در جدول ۳ ارایه شد. از بین پنج شاخص برآوردشده بر اساس دو روش بهینه و پایه، شاخص بهینه دوم که بر مبنای ضرایب رگرسیون ناقص صفات وارد شده به مدل رگرسیون گام‌به‌گام محاسبه شد و سودمندی نسبی بالاتری (۰/۹۹) نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت، ارایه شد که با نتایج مطالعات رحیمی و ربیعی (Rahimi and Rabiei, 2011) نیز مطابقت داشت.

جدول ۱- ارزش‌های اقتصادی نسبی صفات مورد مطالعه در شاخص‌های گزینشی مختلف

Table 1. Relative economic values of the studied traits for different selection indices

صفت Traits	شاخص ۱ Index 1	شاخص ۲* Index 2*	شاخص ۳** Index 3**	شاخص ۴*** Index 4***	شاخص ۵**** Index 5****
تعداد دانه در بوته Grain number per plant	1	0.01	0.61	0.88	0.85
عملکرد تک‌بوته (گرم) Plant yield (g)	1	0.09	0.31	0.89	0.83
وزن هزار دانه (گرم) 1000 – grain weight (g)	1	0.1	0.17	0.96	0.15
طول غلاف برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf sheath length (cm)	1	-0.1	-0.05	0.89	0.09
عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	1	1	1	0.93	1

* ضرایب رگرسیون ناقص برای صفات وارد شده به مدل رگرسیون گام‌به‌گام و عدد یک برای عملکرد، ** ضرایب رگرسیون ناقص استاندارد برای صفات وارد شده به مدل رگرسیون گام‌به‌گام و عدد یک برای عملکرد، *** وراثت‌پذیری عمومی صفات، **** ضریب همبستگی فنوتیپی صفات با عملکرد دانه.

* Partial regression coefficients for entered traits in stepwise regression model and 1 for grain yield, ** Standard partial regression coefficients for entered traits in stepwise regression model and 1 for grain yield, *** Broad sence heritability of the traits, **** Phenotypic correlation coefficients of the traits with grain yield.

در دو شاخص اسمیت- هیزل، بیشترین مقدار ضریب شاخصی مربوط به صفت وزن سنبله اصلی با علامت منفی بود که نشان می‌دهد این صفت با ضریب بالا و به‌صورت منفی در گزینش بر اساس این شاخص تأثیرگذار است، در شاخص پسک- بیکر همین صفت ولی با علامت مثبت بیشترین مقدار را داشت و در شاخص بهینه بیشترین مقدار ضریب شاخص مربوط به صفت عملکرد دانه با علامت مثبت بود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این جمعیت گزینش بر مبنای شاخص‌های اسمیت- هیزل تحت شرایط تنش خشکی منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با وزن سنبله کمتر، در شاخص پسک- بیکر منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با وزن سنبله بیشتر و در شاخص بهینه منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر می‌شود. صبوری و همکاران (Sabouri *et al.*, 2012) در یک مطالعه اظهار داشتند که عملکرد و همبستگی ژنتیکی معنی‌دار صفات با عملکرد دانه مهم‌ترین اجزای کارای یک شاخص گزینش می‌باشند و وراثت‌پذیری بالا در مرتبه‌های بعدی قرار دارد.

پس از محاسبه شاخص‌ها با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی صفات در هریک از شاخص‌ها مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ به‌دست آمد. سپس هر یک از شاخص‌ها به عنوان یک صفت مورد تجزیه واریانس قرارگرفت و پارامترهای آماری مربوط به هر یک از شاخص‌ها، همبستگی ژنتیکی شاخص‌ها با عملکرد و کارایی انتخاب بر اساس شاخص‌ها محاسبه شد. به‌دلیل زیاد بودن تعداد ژنوتیپ‌ها فقط ۱۰ درصد از ژنوتیپ‌های برتر (۳۰ ژنوتیپ) برای هر شاخص گزینش و در جدول ۴ ارایه شده است. بر این اساس، در شاخص‌های ۱ و ۲ اسمیت- هیزل، پسک- بیکر و بهینه به‌ترتیب ۲۲، ۲۲، ۱۲ و ۲۷ ژنوتیپ به‌عنوان ۱۰ درصد ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد بودند.

شاخص بهینه نسبت به شاخص‌های ۱ و ۲ اسمیت- هیزل و شاخص پسک- بیکر از وراثت‌پذیری، همبستگی ژنتیکی با عملکرد و کارایی گزینش بالاتری برخوردار بود و پس از آن شاخص‌های ۱ و ۲ اسمیت- هیزل قرار داشتند (جدول ۵). بنابراین، شاخص بهینه به‌دلیل داشتن کارایی گزینش بالاتر (۰/۹۹) از سایر شاخص‌ها، مؤثرترین شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر بود و برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر معرفی می‌شود.

جدول ۲- پاسخ به گزینش مستقیم و همبسته برای صفات مورد مطالعه در گندم نان

Table 2. Direct and correlated response to selection for the studied traits in bread wheat

صفات Traits	پاسخ مستقیم Direct response	وراثت‌پذیری خصوصی Narrow sense heritability	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	کارایی نسبی گزینش غیرمستقیم به مستقیم Relative efficiency of indirect selection to direct selection
عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	2.59	0.47	-	-	-
وزن دانه‌های سنبله اصلی (گرم) Grain weight per main spike (g)	0.22	0.4	1.31	0.54	0.51
وزن دانه‌های تک‌بوته (گرم) Grain weight per plant (g)	4.29	0.47	1.8	0.69	0.69
تعداد دانه در بوته Grain number per plant	105.72	0.44	2.02	0.80	0.78
وزن هزار دانه (گرم) 1000 – grain weight (g)	4.69	0.48	0.82	0.31	0.32
تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	1.11	0.32	2.14	0.99	0.83
وزن سنبله اصلی (گرم) Main spike weight (g)	0.23	0.37	1.16	0.5	0.45
طول برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf length (cm)	0.36	0.19	1.31	0.79	0.51
طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	0.79	0.45	-1.03	-0.41	-0.40
عملکرد تک‌بوته (گرم) Plant yield (g)	8.49	0.45	1.8	0.71	0.69

جدول ۳- ضرایب شاخصی (bi) برای هر یک از صفات مورد مطالعه در شاخص‌های گزینش در لاین‌های مورد ارزیابی در گندم نان

Table3. Coefficient of different under studied traits based on selection indices in bread wheat lines

صفت Trait	اسمیت- هیزل ۱* Smith – Hazel 1*	اسمیت- هیزل ۲** Smith – Hazel 2**	پسک- بیکر Pesek – Baker	شاخص بهینه*** Optimum index
وزن دانه‌های سنبله اصلی (گرم) Grain weight per main spike (g)	49.11	21.35	-2.58	-
وزن دانه‌های تک‌بوته (گرم) Grain weight per plant (g)	16.23	7.34	-0.7	-
تعداد دانه در بوته Grain number per plant	0.31	0.13	0.03	-0.02
وزن هزار دانه (گرم) 1000 – grain weight (g)	-0.09	0.006	0.33	-0.03
تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	16.53	7.32	0.58	-
وزن سنبله اصلی (گرم) Main spike weight (g)	-145.08	-65.12	7.72	-
طول برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf length (cm)	-1.97	-1.27	-1.37	-
طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	-10.77	-4.67	2.75	-
عملکرد تک‌بوته (گرم) Plant yield (g)	0.22	0.11	0.13	-0.06
طول غلاف برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf sheath length (cm)	-	-	-	0.004
عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	-	-	-	3.58

* اسمیت- هیزل ۱: وزنه‌های اقتصادی همه صفات در این شاخص برابر با یک بود، ** اسمیت- هیزل ۲: وزنه‌های اقتصادی صفات در این شاخص برابر با وراثت‌پذیری خصوصی آن‌ها بود، *** شاخص بهینه: این شاخص بر مبنای صفات واردشده به مدل رگرسیون گام‌به‌گام به‌همراه عملکرد تهیه شد و ضرایب رگرسیون ناقص صفات (برای عملکرد عدد یک) به‌عنوان وزنه‌های اقتصادی در نظر گرفته شدند.

* Smith – Hazel 1: The economic weights for all traits in this index werre equal to one, **: Smith – Hazel 2: Narrow sense heritability of the traits was used as the economic weight, ***: Optimum index: This index was constructed based on the entered traits to stepwise regression model together with grain yield and the partial regression coefficients of traits (1 for grain yield) were considered as economic weights.

گرانات و همکاران (Granate *et al.*, 2002) سه شاخص گزینش اسمیت- هیزل، پسک - بیکر و ویلیامز را در ذرت بررسی و کارایی گزینش از طریق این سه شاخص را با گزینش مستقیم برای عملکرد دانه مقایسه کردند. نتایج این بررسی نشان داد که شاخص اسمیت- هیزل بیشترین کارایی گزینش را داشت و پس از آن شاخص پسک - بیکر قرار گرفت.

بهره مورد انتظار از شاخص برای مجموع صفات با استفاده از (ΔH) و برای تک‌تک صفات براساس (ΔG) محاسبه شد (جدول ۶). در شاخص‌های اسمیت- هیزل ۱ و ۲ صفت وزن دانه‌های تک‌بوته بیشترین پاسخ به گزینش را داشت. بنابراین انتخاب براساس شاخص اسمیت- هیزل بیشتر از سایر صفات باعث افزایش وزن دانه‌های تک‌بوته می‌شود. در شاخص پسک- بیکر صفت وزن دانه‌های تک‌بوته بیشترین پاسخ به گزینش را با علامت منفی و پس از آن صفت تعداد دانه‌های تک‌بوته با علامت مثبت داشت، بنابراین انتخاب بر اساس شاخص پسک-بیکر باعث افزایش تعداد دانه‌های تک‌بوته و کاهش وزن دانه‌های تک‌بوته می‌شود. در شاخص بهینه صفت عملکرد دانه بیشترین پاسخ به گزینش را داشت، می‌توان چنین نتیجه گرفت که گزینش بر مبنای این شاخص در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. بهره مورد انتظار از شاخص برای مجموع صفات (ΔH) در شاخص اسمیت- هیزل ۱ نسبت به سه شاخص دیگر بیشتر بود و پس از آن شاخص اسمیت- هیزل ۲ قرار گرفت. در مطالعه‌ای به منظور مقایسه شاخص‌های انتخاب در جو، بازده بالاتری برای شاخص اسمیت- هیزل نسبت به شاخص پسک-بیکر گزارش شد (Emrani *et al.*, 2008).

جدول ۴- عملکرد دانه و شاخص‌های گزینشی در ۳۰ ژنوتیپ برتر گندم نان در مقایسه با ارقام شاهد

Table 4. Grain yield and selection indices in 30 elite genotypes compared with control varieties of bread wheat

رتبه ژنوتیپ Genotype rank	عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	شماره ژنوتیپ Genotype No.	اسمیت –هیزل ۱ Smith – Hazel 1	شماره ژنوتیپ Genotype No.	اسمیت – هیزل ۲ Smith – Hazel 2	شماره ژنوتیپ Genotype No.	پسک- بیکر Pesek – Baker	شماره ژنوتیپ Genotype No.	شاخص بهینه Optimum index	شماره ژنوتیپ Genotype No.
1	23.27	293	981.5433	311	426.2203	311	76.98447	195	70.20077	259
2	23.24	249	904.9652	282	393.3471	282	72.1181	42	59.47627	249
3	23.23	311	781.8337	195	339.0583	195	70.04416	274	58.90899	138
4	21.91	259	767.6012	249	330.9348	249	68.13756	169	58.74347	293
5	20.98	128	669.841	293	284.6632	293	67.5912	152	56.83178	128
6	20.75	138	605.4451	125	258.5167	125	66.59064	172	56.74248	311
7	19.55	247	532.3935	145	228.1253	145	65.97152	128	50.52582	247
8	18.72	294	521.3376	288	221.1543	288	65.67306	142	50.19883	294
9	18.43	282	501.918	200	211.943	200	65.61015	249	48.16114	35
10	17.57	91	488.4582	59	207.6854	59	65.60023	309	46.98423	91
11	17.30	35	457.7422	142	194.9828	142	64.97299	305	41.78963	125
12	16.76	125	456.6485	301	193.009	301	63.16696	67	41.77361	153
13	16.42	288	438.9137	258	186.6321	85	63.01252	294	41.75183	76
14	16.39	76	438.4879	85	184.733	172	62.84708	282	41.60416	282
15	16.28	142	437.9625	172	182.5431	258	62.71354	247	41.25387	124
16	16.12	124	425.5188	220	180.3569	220	62.00771	106	41.03471	216
17	15.89	301	412.0865	124	173.8794	124	61.08442	156	40.28689	142

جدول ۴- ادامه

Table 4. Continued

رتبه ژنوتیپ Genotype rank	عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	شماره ژنوتیپ Genotype No.	اسمیت – هیزل ۱ Smith – Hazel 1	شماره ژنوتیپ Genotype No.	اسمیت – هیزل ۲ Smith – Hazel 2	شماره ژنوتیپ Genotype No.	پسک- بیکر Pesek – Baker	شماره ژنوتیپ Genotype No.	شاخص بهینه Optimum index	شماره ژنوتیپ Genotype No.
18	15.87	145	393.8828	247	164.7301	131	60.35526	138	39.94591	298
19	15.68	153	392.1866	131	164.2075	247	60.26916	318	39.46455	149
20	15.65	216	384.5652	153	162.3771	153	60.15233	30	38.94384	306
21	15.43	131	370.0934	273	155.4654	273	59.68675	271	38.80112	145
22	15.41	195	345.1671	179	142.3013	179	59.29999	35	38.45109	273
23	15.16	109	329.089	216	138.2229	216	59.02612	266	38.39536	288
24	14.93	172	319.771	91	132.3238	74	58.74644	293	37.51371	131
25	14.81	298	313.5985	74	132.2595	91	58.7453	263	37.49573	136
26	14.69	4	311.8069	128	128.1885	128	58.63752	124	37.48782	4
27	14.56	149	309.0043	109	127.3065	292	58.62416	57	36.80295	109
28	14.45	273	306.3332	25	126.8007	25	57.86428	201	36.77813	301
29	14.14	179	303.1683	292	125.6451	151	57.60559	60	36.71333	25
30	14.05	25	299.0376	151	124.609	109	57.54444	220	36.51938	185
98	9.81	روشن	52.02	روشن	30.87	روشن	52.78	روشن	24.67	روشن
147	7.45	فلات	-87.36	فلات	-96.93	فلات	43.3	فلات	17.799	فلات
70	11.27	مهدوی	54.57	مهدوی	28.12	مهدوی	58.11	مهدوی	26.8	مهدوی
153	7.26	شاه‌پسند	-46.24	شاه‌پسند	-60.16	شاه‌پسند	48.28	شاه‌پسند	16.27	شاه‌پسند

در مطالعه‌ای روی گندم تحت شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی، شرایط تولید بازده مورد انتظار برای محیط حداکثر از طریق شاخص اسمیت-هیزل تعیین و گزینش بر اساس شاخص تعیین‌شده در نهایت منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیشتر در هر دو شرایط رطوبتی شد (Ud-Din *et al.*, 1992). گبر و لاتر (Gebre and Later,1996) نشان دادند که گزینش بر اساس شاخص اسمیت- هیزل برای بهبود عملکرد دانه در گندم نسبت به گزینش مستقیم برتری دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که گزینش غیرمستقیم بر مبنای شاخص‌های اسمیت- هیزل می‌تواند کارایی بیشتری برای بهبود عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی نسبت به گزینش مستقیم داشته باشد. در نهایت بر اساس شاخص‌های ارزیابی‌شده، لاین‌های ۲۵، ۴۲، ۹۱، ۱۰۹، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۸، ۱۳۱، ۱۴۲، ۱۴۵، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۶۹، ۱۷۲، ۱۷۹، ۱۹۵، ۲۱۶، ۲۴۷، ۲۴۹، ۲۶۳، ۲۶۶، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۸۲، ۲۸۸، ۲۹۲، ۲۹۳، ۳۰۱، ۳۰۹ و ۳۱۱ به‌عنوان ۳۰ لاین برتر این آزمایش برای ارزیابی‌های بیشتر جهت قرار گرفتن در فرآیند معرفی به زارعین معرفی شدند. علاوه بر آن، هفت لاین ۱۲۴، ۱۲۸، ۱۴۲، ۲۴۷، ۲۴۹، ۲۸۲ و ۲۹۳ که از نظر عملکرد دانه و هر چهار شاخص گزینشی مورد مطالعه به‌عنوان لاین‌های برتر انتخابی در این تحقیق بودند، از نظر عملکرد دانه نسبت به ارقام شاهد این آزمایش ۱۲۰ درصد برتری داشتند و به‌عنوان لاین‌های امیدبخش برای مطالعات تکمیلی زراعی و فیزیولوژیک جهت قرار گرفتن در فرایند معرفی به زارعین و نیز استفاده در برنامه-های به‌نژادی معرفی می‌شوند. در مقابل، لاین‌هایی که بر اساس گزینش مستقیم عملکرد انتخاب شدند، ۹۲/۷۴ درصد برتری نسبت به شاهدها داشتند، در صورتی‌که هفت لاین امیدبخش که به‌طور توأم بر اساس چهار شاخص انتخاب شدند، ۱۲۰ درصد نسبت به شاهدها برتری داشتند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که در فرآیند انتخاب بر اساس شاخص‌های گزینشی بهتر است بیشتر به ژنوتیپ‌هایی توجه شود که جز ژنوتیپ‌های برتر انتخابی در همه روش‌ها هستند.

جدول ۵- پارامترهای ارزیابی‌شده برای شاخص‌های گزینشی و عملکرد دانه گندم نان تحت شرایط تنش خشکی

Table 5. Evaluated parameters for selection indices and grain yield of bread wheat under drought stress

پارامترهای ارزیابی‌شده Evaluated parameters	انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه Direct selection for grain yield	اسمیت- هیزل ۱ Smith – Hazel 1	اسمیت- هیزل ۲ Smith – Hazel 2	پسک- بیکر Pesek – Baker	شاخص بهینه Optimum index
واریانس ژنتیکی Genetic variance	9.3	15889.56	3066.07	7.36	79.7
وراثت‌پذیری خصوصی Narrow sense heritability	0.47	0.43	0.43	0.30	0.47
همبستگی ژنتیکی با عملکرد Genetic correlation with grain yield	-	0.84	0.85	0.59	0.98
پاسخ همبسته Correlated response	-	2.09	2.1	1.23	5.15
کارایی گزینش غیرمستقیم Relative efficiency of indirect selection	-	0.81	0.81	0.47	0.996
درصد برتری عملکرد لاین‌های انتخابی نسبت به شاهدها Relative superiority of grain yield in selected elite lines compared to control varieties	92.74	76.3	76.3	55.53	91.39

جدول ۶- بهره مورد انتظار از شاخص برای هر صفت (ΔG) و برای مجموع صفات (ΔH)

Table 6. Expected efficiency of selection index for each trait (ΔG) and for all traits (ΔH)

شاخص Index	ΔG					
	وزن دانه‌های سنبله اصلی Grain weight per main spike (g)	وزن دانه‌های تک‌بوته Grain weight per plant (g)	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن هزار دانه 1000- grain weight (g)	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	وزن سنبله اصلی Main spike weight (g)
اسمیت- هیزل ۱ Smith – Hazel 1	14.11	117.37	66.05	-0.17	53.25	-52.43
اسمیت- هیزل ۲ Smith – Hazel 2	6.2	52.99	28.54	0.01	23.69	-23.82
پسک- بیکر Pesek – Baker	-0.4	-1.82	1.72	0.92	0.56	1.38
شاخص بهینه Optimum index	-	-	-2.42	-0.09	-	-

Table 6. Continued

جدول ۶- ادامه

شاخص Index	ΔG					ΔH
	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	عملکرد تک‌بوته (گرم) Plant yield (g)	طول غلاف برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf sheath length (cm)	عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ha)	
اسمیت- هیزل ۱ Smith – Hazel 1	-3.95	8. 5	2.72	-	-	205.45
اسمیت- هیزل ۲ Smith – Hazel 2	-2.58	3.67	1.36	-	-	90.07
پسک- بیکر Pesek – Baker	-0.74	1.38	0.68	-	-	3.67
شاخص بهینه Optimum index	-	-	-0.67	-0.0005	18.45	15.27

References

Alexander, W. L., Smith, E. L. and Dhanasobhan, C. 1984. A comparison of yield and yield component selection in winter wheat. **Euphytica** 33: 953-961.

Baker, R. J. 1986. Selection indices in plant breeding. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 218 p.

Blum, A. 1999. Towards standards assays of drought resistance in crop plants. Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water Limited Environment. CIMMYT. Mexico. pp: 23-27.

Brim, C. A., Johnson, H. W. and Cockerham, C. C. 1959. Multiple selection criteria in soybean. **Agronomy Journal** 51: 42-46.

Chapman, S. C. and Edmeades, G. O. 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations. **Crop Science** 39: 1315-1324.

Cone, A. E., Slafer, G. A. and Halloran, G. M. 1995. Effects of moisture stress on leaf appearance, tillering and other aspects of development in *Triticum tauschii*. **Euphytica** 86: 55-64.

Dabholkar, A. R. 1992. Elements of biometrical genetics. Concept Publishing Company, New Delhi, 431 p.

Dawari, N. H. and Luthra, O. P. 1991. Character association studies under high and low environments in wheat (*Triticum aestivum L.*). **Indian Journal of Agricultural Research** 25: 68-72.

Emrani, S., Rezai, A. and Arzani A. 2008. Comparison of selection indices for yield and related traits of barley under nitrogen stress and non-stress conditions. **Journal of Science and Technology of**

Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 11: 183-194. (In Persian with English Abstract).

Falconer, D. S. and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. Longman. Harlow, UK. pp: 187-246.

Fazlalipour, M., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H. and Rahim Souroush, H. 2007. Index selection in an F3 rice population. **Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture)** 38 (2): 385-397. (In Persian with English Abstract).

Gebre, H. and Later, E. N. 1996. Genetic response to index selection for grain yield, kernal weight and percent protein in four wheat crosses. **Plant Breeding** 115: 459-464.

Granate, M. J., Cruz, C. D. and Pacheco, C. A. P. 2002. Prediction of genetic gain with different selection indices in popcorn CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37 (7): 1001-1008.

Hazel, L. 1943. The genetic basis for construction selection indices. **Genetics** 28: 476-490.

Holland, J. B., Frey, K. J. and Hammond, E. G. 2001. Correlated response of fatty acid composition, grain quality and agronomic traits to nine cycles of recurrent selection for increased oil content in oat. **Euphytica** 122: 69-79.

Kendell, B., Rasmusson, D. C. and Galla-Meagher, M. 2000. Enhancing yield of semidwarf barley. **Crop Science** 40: 352-358.

McNeal, F. H., Qualset, C. O., Baldrigge, D. E. and Stewart, V. R. 1978. Selection for yield and yield components in wheat. **Crop Science** 18: 795-799.

Pesek, J. and Baker, R. J. 1969. Desired improvement in relation to selection indices. **Canadian Journal of Plant Science** 49: 803-804.

Rahimi, M. and Rabiei, B. 2011. The application of selection indices on improvement of grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). **Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)** 90: 39-46. (In Persian with English Abstract).

Rezai, A. M. 1994. Selection indices in plant breeding. Proceeding of 3th Iranian Crop Science and Plant Breeding Congress. Tabriz University. pp: 105-134. (In Persian).

Rezai, A. A. and Yousefi Azar, M. 2008. Comparison of direction and indirection selection methods based on selection indices in wheat lines in drought and non drought condition. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 45: 21-32. (In Persian with English Abstract).

Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. **Plant Growth Regulation** 20: 157-166.

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 (4): 303-310.

Sabouri, H., Mohammadi-Nejad, G. and Fazlalipour, M. 2012. Selection for yield improvement using of multivariation statistical methods in rice. **Iranian Journal of Field Crops Research** 9: 639-650. (In Persian with English Abstract).

Sanchez-Diaz, M., Garcia, J. L., Antolin, M. C. and Araus, J. L. 2002. Effects of soil drought and atmospheric humidity on yield, gas exchange and stable carbon isotope composition of barley. **Photosynthesis** 40: 415-421.

Smith, H. F. 1936. A discrimination function for plant selection. **Annals of Eugenics** 7: 240-250.

Ud-Din, N., Carver, B. F. and Clutter, A. C. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought stressed and irrigated environments. **Euphytica** 62: 89-96.

Williams, J. S. 1962. The evaluation of a selection index. **Biometrics** 18: 375-393.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 2, Summer 2017 (171-183)

Selection of elite lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using selection indices under drought stress conditions

Maryam Dorrani-Nejad[1], Ghasem Mohammadi-Nejad[2*] and Babak Nakhoda[3]

Received: June 15, 2015 Accepted: April 9, 2016

Abstract

The most effective approach for genetic improvement of grain yield as a polygenic trait is indirect selection by other traits and simultaneous selection based on the suitable selection indices. The objective of this research was to select the elite lines of bread wheat by selection indices approach. 305 pure lines of bread wheat derived from a cross between Roshan × Falat as well as four check varieties, Roshan, Falat, Mahdavi and Shahpasand, were evaluated as an augmented design at research field of Shahid Bahonar University of Kerman 2013-2014 growing season. In order to apply drought stress, irrigation was cut-off at the emergence stage of the spike and grain yield and other agronomic traits were measured. Among the studied traits, grain weight of main spike, grain weight of single plant, number of grain per plant, 1000- grain weight, number of spike per plant, main spike weight, flag leaf length, spike length and plant weight showed highly genetic correlations with grain yield. Direct and correlated response to selections for grain yield for these traits were calculated. The results indicated that number of spike per plant and number of grain per plant had the highest efficiency for indirect selection. The different selection indices constructed by these traits had the high genetic correlation with grain yield. Moreover, relative efficiency of selection and expected gain of selection index using the Smith-Hazel index was higher than the Pesek-Baker index. Therefore, using the optimum index can be effective in breeding programs of wheat to improve grain yield under drought stress. Finally, 30 elite lines were selected based on each selection index and from their comparison, seven superior and promising lines were identified for further evaluations and introduction to farmers.

Keywords: Cut-off irrigation, Pesek-Baker index, Simultaneous selection, Smith-Hazel index

1. Ph. D. Student, Member of Young Researcher Association, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. Assoc. Prof., Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP) and Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3. Assist. Prof., Dept. of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[*] Corresponding author: mohammadinejad@uk.ac.ir