

استفاده از شاخص‌های گزینش برای بهبود عملکرد دانه در توده‌های بومی کنجد

عبدالکریم طهماسبی^۱، رضا درویش‌زاده^{۲*}، امیر فیاض مقدم^۳، اسماعیل قلی‌نژاد^{۴*} و حسین عبدی^۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

۵- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳)

چکیده

انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات چندگانه، موضوعی اساسی و بخش مهمی از فرآیند به‌نژادی گیاهی می‌باشد. در پژوهش حاضر، کارایی شاخص‌های گزینش بر اساس صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برای بهبود عملکرد دانه در کنجد مورد مطالعه قرار گرفت. ارزیابی فنوتیپی ۲۵ توده بومی کنجد در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار تحت شرایط ارومیه در سال ۱۳۹۶ انجام شد. نتایج نشان داد که همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی بین عملکرد دانه و صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد شاخه‌های جانبی، دمای برگ، شاخص سطح برگ و وزن بیولوژیک، مثبت و معنی‌دار بود. با تجزیه رگرسیون، صفات تعداد کپسول و تعداد شاخه‌های جانبی به‌عنوان متغیرهای علت ردیف اول و صفات وزن بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و کلروفیل به‌عنوان متغیرهای علت ردیف دوم شناسایی شدند. جهت به‌دست آوردن شاخص‌های گزینشی از دو روش بهینه و پایه و نیز از ده بردار مختلف از ارزش‌های اقتصادی صفات استفاده شد. بردارها بر اساس اطلاعات تجزیه همبستگی، رگرسیون، علیت و وراثت‌پذیری صفات بودند. شاخص‌های سوم و چهارم که در آن‌ها متغیرهای علت ردیف اول وارد مدل شده بودند، سودمندی نسبی بالایی نشان دادند و از نظر این دو شاخص توده‌های شماره ۱۲، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ به‌عنوان مطلوب‌ترین توده‌ها شناسایی شدند. در نهایت پیشنهاد می‌گردد که کارایی این شاخص‌ها در شرایط مزرعه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تجزیه علیت، رگرسیون، شاخص‌های انتخاب، گزینش غیرمستقیم، همبستگی صفات

* نویسندگان مسئول، آدرس پست الکترونیکی: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir, e_gholinejad@pnu.ac.ir

مقدمه

کنجد (*Sesamus indicum* L.) از قدیمی‌ترین و یکی از مهم‌ترین دانه روغنی ایران و جهان به‌شمار می‌رود. این گیاه در میان دانه‌های روغنی، بیشترین میزان روغن را به خود اختصاص داده است (Dossa et al., 2018) و گزارش شده است که توده‌های بومی کنجد ایرانی حاوی حدود ۴۴ درصد روغن می‌باشند (Tahmasebi et al., 2021). وجود اسیدهای چرب اشباع‌نشده بالا، حضور برخی از آنتی‌اکسیدان‌ها و میزان کم کلسترول، کیفیتی مطلوب به روغن کنجد بخشیده است (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018). این موارد در کنار مقادیر بالای پروتئین، ویتامین‌ها و لیگنان‌های مختلف نظیر سیسامین و سیسامولین (Anilakumar et al., 2010) منجر شده است تا گیاه کنجد نقش بسیار مهمی در حفظ امنیت غذایی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای انسان‌ها داشته باشد (Li et al., 2018). با این حال، کنجد در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی از عملکرد نامطلوبی برخوردار است که لزوم انجام فعالیت‌های به‌نژادی گسترده در این گیاه را تأیید می‌نماید (Akhtar et al., 2009; Zeinalzadeh-Tabrizi et al., 2021).

با وجود آن‌که عملکرد برای بیشتر برنامه‌های به‌نژادی به‌عنوان مهم‌ترین صفت تلقی می‌گردد، اما در عمل به‌نژادگران گزینش‌های خود را بر مبنای چندین صفت انجام می‌دهند (Bos and Caligari, 2007). انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات چندگانه، موضوعی اساسی و بخش مهمی از فرآیند به‌نژادی گیاهی می‌باشد (Yan and Frégeau-Reid, 2018). ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر چندین صفت به دلیل وجود همبستگی‌های نامطلوب بین صفات به یکی از مهم‌ترین چالش‌های به‌نژادگران تبدیل شده است (Yan, 2014). چالش مذکور ناشی از این واقعیت است که صفات مهم در بیشتر مواقع به‌طور نامطلوبی با یکدیگر همبسته هستند و بهبود در یک صفت منجر به کاهش در یک یا چند صفت دیگر می‌شود (Yan and Frégeau-Reid, 2018). از طرفی دیگر، گرچه انتخاب بر اساس صفات مهمی که از طریق تجزیه‌های همبستگی، رگرسیون، ضرایب علیت شناسایی می‌شوند نقش مؤثری در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر داشته‌اند، اما این روش‌ها قادر به شناسایی ارقام برتر از نظر مجموعه‌ای از صفات نیستند (Mohammadi et al., 2020) و کاربرد گسترده آن‌ها با مشکل چندهم‌خطی بین صفات محدود می‌گردد (Alipour et al., 2021).

برای غلبه بر مشکل گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مختلف، روش‌های گوناگونی ابداع شده‌اند. در یکی از مناسب‌ترین شیوه‌ها، اسمیت (Smith, 1936) شاخص‌های انتخاب را پیشنهاد نمود که تابع خطی از ارزش‌های فنوتیپی بودند. این مفهوم از انتخاب توسط محققین مختلفی شرح و توسعه یافت (Hazel, 1943; Pesek and Baker, 1969; Baker, 1986, 1993). گرچه یان و فرگه-رید (Yan and Frégeau-Reid, 2018) کاربرد شاخص‌های گزینشی را به چالش کشیده‌اند، اما سودمندی این شاخص‌ها در بهبود عملکرد گیاهانی نظیر آفتابگردان (Khavari et al., 2018)، ذرت دانه‌ای (Khorasani and Mahdipoor, 2018) و برنج (Rabiei et al., 2012; Sabouri et al., 2004) نشان داده شده است.

نتایج مطالعات نشان می‌دهند که برخی از صفات با عملکرد دانه کنجد همبستگی مثبت و بعضی دیگر همبستگی منفی دارند (Dossa et al., 2017; Saljooghianpour and Javadzadeh, 2018). ژو و همکاران (Zhou et al., 2018) در مطالعه ۷۰۵ توده کنجد نتیجه گرفتند که انتخاب مستقیم برای صفات مرتبط با عملکرد دانه می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم بر عملکرد دانه اثر بگذارد، در حالی که تعداد کپسول، تعداد دانه و وزن دانه جهت افزایش عملکرد می‌توانند به‌طور مستقیم مورد گزینش قرار گیرند. بوریم‌ا و یائو (Boureima and Yaou, 2019) نشان دادند که عملکرد با تعداد شاخه در بوته همبستگی منفی دارد. با استفاده از نتایج تجزیه مسیر، منصوری و سلطانی نجف‌آبادی (Mansouri and Soltani Najafabadi, 2004) گزارش کردند که انتخاب جهت افزایش عملکرد دانه کنجد بر اساس افزایش تعداد کپسول در بوته و طول گل‌آذین اصلی، نتایجی مشابه با انتخاب از طریق کاهش ارتفاع اولین کپسول و تشکیل شاخه فرعی در ارتفاع پایین‌تر دارد. همچنین این محققین نشان دادند که گزینش بر مبنای تعداد دانه در کپسول، وزن هزارانه و تعداد شاخه فرعی در بوته می‌تواند موجب بهبود عملکرد گردد. صالحی و سعیدی (Salehi and Saeidi, 2013) در بررسی شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد دانه در کنجد گزارش نمودند که شاخص پیک-نسبت به شاخص اسمیت-هیزل از کارایی انتخاب بیشتری برای بهبود عملکرد برخوردارند، درحالی‌که جهت بهبود هم‌زمان صفات مختلف از جمله تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در

کپسول و وزن دانه، شاخص اسمیت-هیزل مناسب‌تر از شاخص پسک-بیکر بود. در پژوهشی دیگر پیشنهاد شد که صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و طول کپسول به‌عنوان شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد دانه کنگد به‌کار روند (Masoudi, 2019). نظر به اهمیت کنگد در کشور و فرآیندهای به‌نژادی ضعیف این گیاه، در تحقیق حاضر کاربرد شاخص‌های گزینشی مختلف برای انتخاب ژنوتیپ‌های کنگد مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

۲۵ توده بومی کنگد (جدول ۱) از نقاط مختلف کشور جمع‌آوری و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار در تاریخ خرداد ماه ۱۳۹۶ در محوطه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه با عرض جغرافیایی $37^{\circ}32'$ شمالی و طول جغرافیایی $45^{\circ}05'$ شرقی و ۱۳۱۳ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد در شرایط گلدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. میزان بارندگی سال زراعی محل آزمایش برابر با $241/8$ میلی‌متر و متوسط دمای آن $10/5$ درجه سانتی‌گراد بود. صفات فنولوژیک شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و تعداد روز تا ۵۰ درصد کپسول‌دهی بود. دمای سطح برگ و میزان کلروفیل برگ به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های ترمومتر و SPAD اندازه‌گیری شدند. پس از رسیدگی، ارتفاع بوته‌ها برحسب سانتی‌متر ثبت و تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و تعداد شاخه‌های جانبی شمارش شدند. وزن ۲۰۰ دانه و وزن کل دانه‌ها در بوته (عملکرد در بوته) برحسب گرم با ترازوی دیجیتالی توزین و اندازه‌گیری شدند. با تقسیم وزن دانه‌ها بر وزن بیولوژیک، شاخص برداشت محاسبه گردید. در نهایت، درصد روغن از طریق دستگاه سوکسله تعیین شد.

شاخص‌های انتخاب از طریق رابطه $I = \sum b_i p_i$ محاسبه شدند؛ که در آن b_i ضرایب شاخصی و p_i ارزش فنوتیپی مربوط به هر صفت می‌باشند. در این مطالعه از دو روش گزینش شاخصی بهینه (Smith, 1936) و پایه (Brim et al., 1959) استفاده شد. در شاخص بهینه، ضرایب شاخصی از رابطه $b = P^{-1} Ga$ محاسبه گردید؛ که در آن P و G به‌ترتیب ماتریس واریانس-کوواریانس فنوتیپی و ژنوتیپی بودند و a بردار ارزش‌های اقتصادی صفات بودند. بردار ارزش‌های اقتصادی صفات بر اساس نتایج تجزیه علیت، همبستگی و وراثت‌پذیری تعریف شدند (Rabiei et al.,

2004). در شاخص پایه، از ارزش‌های اقتصادی صفات به‌جای ضرایب شاخصی استفاده گردید و مجموع حاصل ضرب این ارزش‌ها در ارزش‌های فنوتیپی صفات هر فرد به‌عنوان شاخص از طریق رابطه $I = \sum a_i P_i = \sum b_i P_i$ محاسبه شد. جهت ارزیابی و مقایسه شاخص‌ها، چهار معیار برآورد گردید. ضریب همبستگی بین شاخص (I) و ارزش اصلاحی (H) برای شاخص‌های بهینه از طریق رابطه $R_{HI} = \frac{\sigma_{HI}}{\sqrt{\sigma_I^2 \times \sigma_H^2}} = \frac{\sigma_I}{\sigma_H}$ و برای شاخص‌های پایه از طریق معادله $R_{HI} = \sqrt{\frac{\Delta Ga}{\Delta Pa}}$ محاسبه شدند؛ که در آن σ_{HI} و σ_H^2 به‌ترتیب واریانس شاخص، واریانس ارزش اصلاحی و کوواریانس بین این دو بود. از آنجایی که هدف از این تحقیق علاوه بر عملکرد دانه، اصلاح و بهبود هم‌زمان ارزش ژنتیکی چندین صفت بود، بنابراین معیار مقایسه‌ای دیگری به نام پیشرفت ژنتیکی مجتمع صفات برای هر شاخص از طریق رابطه $\Delta H = k R_{HI} \sigma_H$ به‌دست آمد؛ که در آن k دیفرانسیل گزینش در واحد استاندارد و σ_H انحراف معیار ارزش اصلاحی می‌باشند. به‌علاوه، پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در اثر استفاده از شاخص بر مبنای رابطه $H = \frac{kGb}{\sqrt{bPb}}$ محاسبه گردید. آخرین معیار ارزیابی شاخص‌ها، محاسبه سودمندی نسبی شاخص نسبت به انتخاب مستقیم بر مبنای عملکرد بود. این شاخص از طریق رابطه $RE = \frac{R_I}{R_A} = \frac{r_{G(A)I}}{h(A)}$ برآورد شد؛ که در آن R_I و R_A به‌ترتیب پاسخ مورد انتظار به گزینش بر اساس شاخص و پاسخ مورد انتظار به گزینش از طریق عملکرد بود. $h(A)$ جذر وراثت‌پذیری عملکرد می‌باشد و $r_{G(A)I}$ ضریب همبستگی عملکرد با شاخص بود که از طریق رابطه $r_{G(A)I} = \frac{bG}{\sqrt{\sigma_{G(A)}^2 \times bPb}}$ محاسبه شد و در آن G و $\sigma_{G(A)}^2$ به‌ترتیب بردار ستونی کوواریانس ژنتیکی صفات با عملکرد و واریانس عملکرد بودند (Fazlalipour et al., 2008; Sabouri et al., 2010, 2012). ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات با استفاده از بسته reyzaguirre/st4gi در نرم‌افزار R ver. 3.5.2 محاسبه شدند. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در نرم‌افزار SPSS ver. 25 و تجزیه علیت در بسته نرم‌افزاری biotools در نرم‌افزار R ver. 3.5.2 انجام گرفت (Da Silva et al., 2017). همچنین شاخص‌ها و آماره‌های مربوط به آن‌ها با استفاده از جبر ماتریس در نرم‌افزار Excel تشکیل و برآورد شدند.

جدول ۱- مشخصات توده‌های بومی کنجد مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of sesame studied landraces studied

توده Population	محل جمع‌آوری Gathering place	استان Province	طول جغرافیایی Latitude	عرض جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Altitude (m)
1	هلیل Halil	کرمان Kerman	30° 29' N	57° 32' E	1755
2	داراب ۲ Darab 2	فارس Fars	28° 75' N	54° 53' E	1180
3	داراب ۱ Darab 1	فارس Fars	28° 75' N	54° 53' E	1180
4	دشتستان ۲ Dashtestan 2	بوشهر Bushehr	29° 26' N	51° 02' E	80
5	زارع محله Zare Mahaleh	گرگان Gorgan	36° 83' N	54° 43' E	160
6	اولتان Oltan	گرگان Gorgan	36° 83' N	54° 43' E	160
7	نازک تک شاخه Nazok tak shakheh	گرگان Gorgan	36° 83' N	54° 43' E	160
8	جاجرم ۱ Jajrom 1	خراسان شمالی North Khorasan	36° 95' N	56° 27' E	1000
9	تنگه راز Tangeh Raz	خراسان شمالی North Khorasan	37° 57' N	56° 56' E	1023
10	توشالی سفلی Toshali Sofla	خراسان شمالی North Khorasan	38° 08' N	56° 47' E	1019
11	یکه سعود پایین Yekeh Sudde Payien	خراسان شمالی North Khorasan	38° 10' N	56° 41' E	893
12	اسفراین Esfarayen	خراسان شمالی North Khorasan	36° 40' N	56° 57' E	1260
13	یکتا Yekta	خراسان شمالی North Khorasan	37° 39' N	57° 93' E	1326
14	بدرانلو Badranlu	خراسان شمالی North Khorasan	37° 31' N	57° 05' E	911
15	قره بالجوq Qara Baljuq	خراسان شمالی North Khorasan	37° 19' N	56° 29' E	922
16	تاتار Tatar	خراسان شمالی North Khorasan	37° 31' N	57° 07' E	922
17	گزه‌ای ایزدی Gazehei Ezadi	خراسان شمالی North Khorasan	37° 07' N	56° 49' E	1087
18	جاجرم ۲ Jajrom 2	خراسان شمالی North Khorasan	37° 07' N	56° 49' E	1000
19	مانه سملقان Maneh Samolgham	خراسان شمالی North Khorasan	37° 06' N	56° 91' E	850
20	یکه سعود گرم‌سیر Yekeh Sudde Garmsir	خراسان شمالی North Khorasan	38° 10' N	56° 41' E	893
21	برازجان Borazjan	کرمان Kerman	30° 29' N	57° 32' E	1755
22	کرمان Kerman	کرمان Kerman	30° 29' N	57° 32' E	1755
23	پاناما Panama	کرمان Kerman	29° 23' N	57° 41' E	1740
24	پنجاب Punjab	کرمان Kerman	۳۰° ۲۹' N	57° 32' E	1755
25	مغان Moghan	اردبیل Ardabil	39° 42' N	48° 10' E	45

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی صفات: بررسی ضرایب همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داد که در اکثر موارد ضرایب همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی نزدیک به هم بود. این نتیجه می‌تواند ناشی از شرایط تقریباً کنترل شده گلخانه‌ای و افزایش دقت در نتیجه تعداد تکرار بالا باشد. بین تاریخ گلدهی و تاریخ کپسول‌دهی همبستگی مثبت و بالایی وجود داشت در حالی‌که بین این دو با شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده شد. تسریع در مراحل فنولوژیک، انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه را محدود می‌سازد که منجر به کاهش بخش اقتصادی گیاه نسبت به سایر اندام‌ها شده است. بین ارتفاع بوته و صفات تعداد شاخه‌های جانبی، شاخص برگ و وزن بیولوژیک همبستگی مثبت بود و بیانگر آن است که افزایش ارتفاع بوته با افزایش شاخه، برگ و در نهایت وزن بیولوژیک همراه است. در مطالعه بوریم‌ا و یائو (Boureima and Yaou, 2019) نیز بالاترین همبستگی مثبت در میان صفات کنگد مربوط به ضریب همبستگی ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی بود. دوسا و همکاران (Dossa et al., 2017) گزارش کردند که ارتفاع بوته با تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول و پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند. عملکرد دانه با اکثر صفات از جمله تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد شاخه‌های جانبی، دمای برگ، شاخص برگ و وزن بیولوژیک همبستگی مثبت و تقریباً بالایی داشت (جدول ۲). همبستگی این صفات با عملکرد دانه کنگد قبلاً در سایر مطالعات گزارش شده است (Saljooghianpour and Javadzadeh, 2018; Zhou et al., 2018). همبستگی این صفات با عملکرد دانه می‌تواند به دلیل وجود پیوستگی قوی بین ژن‌های کنترل‌کننده این صفات با عملکرد دانه و یا پلیوتروپی در بروز این صفات باشد. از طرفی دیگر، بین عملکرد دانه و وزن ۲۰۰ دانه همبستگی وجود نداشت که در مطالعه فرح‌بخش و فرح‌بخش (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014) نیز رابطه بین وزن هزاردانه و عملکرد این گونه بود.

عسکری و همکاران (Askari et al., 2016) با مطالعه ژنوتیپ‌های کنگد در دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش مشاهده کردند که در شرایط تنش آبیاری رابطه بین صفت عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول در بوته و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. علاوه بر موارد فوق برخی دیگر از همبستگی‌ها میان صفات وجود داشت،

اما وزن ۲۰۰ دانه، محتوای کلروفیل و درصد روغن به‌جز موارد معدود با هیچ‌کدام از صفات همبستگی نداشتند. چنین نتیجه‌ای می‌تواند ناشی از اندازه‌گیری طیف گسترده‌ای از صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و اجزای عملکرد باشد که ممکن است بین آن‌ها روابط غیر مستقیم وجود داشته باشد. این یافته‌ها برخلاف نتایج مسعودی (Masoudi, 2019) بود. همچنین به جز دو مورد تمامی همبستگی‌های معنی‌دار، دارای مقادیر مثبتی بودند، این موضوع در مطالعه رضائی و منصوری (Ramazani and Mansouri, 2017) قبلاً گزارش شده است.

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام: به‌منظور بررسی تغییرات عملکرد دانه با استفاده از صفات مورد بررسی و تعیین اهمیت این صفات در تغییرات مربوط به عملکرد، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. برحسب نتایج تغییرات عملکرد دانه توسط دو متغیر تعداد کپسول و تعداد شاخه‌های جانبی به میزان ۶۳ درصد توجیه شد (جدول ۳). این دو متغیر به‌عنوان متغیرهای علت ردیف اول انتخاب شدند. سپس برای هر یک از متغیرهای علت ردیف اول و با حذف عملکرد دانه و سایر صفات ردیف اول، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام دیگر انجام شد.

در تجزیه رگرسیون بر روی تعداد کپسول در بوته (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیرهای مستقل) به جز عملکرد و تعداد شاخه‌های جانبی، نشان داد که صفات وزن بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص برگ، ارتفاع بوته و کلروفیل وارد مدل رگرسیونی شدند که ۹۱ درصد از تغییرات تعداد کپسول در بوته را توجیه می‌کردند (جدول ۴). در سویی دیگر، در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بر روی صفت تعداد شاخه‌های جانبی (متغیر وابسته) و سایر صفات به‌جز عملکرد و تعداد کپسول در بوته (متغیرهای مستقل)، تنها صفت وزن بیولوژیک وارد مدل شد که ۲۳ درصد از تغییرات وابسته را توجیه می‌کرد (جدول ۵)؛ بنابراین بر طبق نتایج فوق صفات وزن بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص برگ، ارتفاع بوته و کلروفیل به‌عنوان متغیرهای علت ردیف دوم شناسایی شدند. در پژوهشی، تأثیر تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در شاخه فرعی و عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه کنگد نشان داده شده است (Masoudi, 2019). در همین باره، زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2006) از تعداد کپسول در بوته به‌عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد دانه کنگد یاد کرده‌اند.

جدول ۲- ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) بین صفات مورد مطالعه در توده‌های کنجد

Table 2. Phenotypic (top diameter) and genotypic (bottom diameter) correlation coefficients between studied traits in sesame landraces

صفات Traits	DF	DC	PH	NC	NS	NB	WS	GY	LT	CL	LI	BY	HI	OP
DF	1.00	0.95**	-0.08 ^{ns}	-0.00 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.46*	0.03 ^{ns}
DC	0.98**	1.00	-0.14 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.41*	0.01 ^{ns}
PH	-0.09 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	1.00	0.24 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.46*	0.16 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.55**	0.50*	-0.28 ^{ns}	0.08 ^{ns}
NC	0.04 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.00	0.26 ^{ns}	0.37*	-0.12 ^{ns}	0.76**	0.23 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.66**	0.76**	0.19 ^{ns}	0.11 ^{ns}
NS	0.24 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.31 ^{ns}	1.00	0.48*	-0.22 ^{ns}	0.44*	0.47*	-0.02 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.32 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.10 ^{ns}
NB	-0.09 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.49*	0.33 ^{ns}	0.55**	1.00	0.15 ^{ns}	0.54**	0.22 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.49*	-0.00 ^{ns}	-0.13 ^{ns}
WS	-0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	0.17 ^{ns}	1.00	0.05 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.15 ^{ns}
GY	0.10 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.78**	0.52*	0.57**	0.03 ^{ns}	1.00	0.41*	-0.17 ^{ns}	0.53**	0.75**	0.14 ^{ns}	-0.11 ^{ns}
LT	0.01 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.69**	0.28 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	0.54**	1.00	-0.36*	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.39*
CL	0.37*	0.41*	0.35 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.61**	1.00	0.09 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	0.10 ^{ns}
LI	0.25 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.58**	0.71**	0.39*	0.29 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.56**	0.27 ^{ns}	0.10 ^{ns}	1.00	0.74**	0.34 ^{ns}	-0.00 ^{ns}
BY	0.19 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.51*	0.79**	0.36*	0.50*	-0.05 ^{ns}	0.76**	0.34 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.76**	1.00	-0.34 ^{ns}	-0.02 ^{ns}
HI	-0.56**	-0.51*	-0.29 ^{ns}	0.25 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.00 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	-0.37*	-0.37*	1.00	0.17 ^{ns}
OP	0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.20 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.66**	0.11 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.22 ^{ns}	1.00

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

DF: روز تا گلدهی؛ DC: روز تا کپسول‌دهی؛ PH: ارتفاع بوته؛ NC: تعداد کپسول در بوته؛ NS: تعداد دانه در کپسول؛ NB: تعداد شاخه‌های جانبی؛ GY:

عملکرد دانه؛ WS: وزن ۲۰۰ دانه؛ LT: دمای برگ؛ CL: کلروفیل؛ LI: شاخص برگ؛ BY: عملکرد بیولوژیک؛ HI: شاخص برداشت و OP: درصد روغن

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

DF: Day to flowering; DC: Day to capsuling; PH: Plant height; NC: No. of capsules per plant; NS: No. of seeds per capsule; NB: No. of branches per plant; WS: Weight of two hundred seeds; LT: Leaf temperature; GY: Yield; CL: Chlorophyll; LI: Leaf index; BY: Biological yield; HI: Harvest index; and OP: Oil percentages

جدول ۳- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه کنجد (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیرهای مستقل)

Table 3. Stepwise regression analysis for sesame seed yield (dependent variable) and other traits (independent variables)

صفات Traits	ضریب رگرسیون Regression coefficients	انحراف معیار Standard Deviation	ضریب تبیین Coefficient of determination	مقدار آزمون t t-test value	مقدار p P-value
تعداد کپسول No. of capsules	0.11	0.023	0.58	4.86	0.000
تعداد شاخه‌های جانبی No. of branches	1.23	0.562	0.63	2.20	0.039
عرض از مبدا Intercept	3.17	3.16		1.00	0.328

جدول ۴- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفت تعداد کپسول (متغیر وابسته) و سایر صفات به جز عملکرد و تعداد شاخه‌های

جانبی (متغیرهای مستقل)

Table 4. Stepwise regression analysis of trait number of capsules (dependent variable) and other traits except seed yield and number of lateral branches (independent variables)

صفات Traits	ضریب رگرسیون Regression coefficients	انحراف معیار Standard Deviation	ضریب تبیین Coefficient of determination	مقدار آزمون t t-test value	مقدار p p-value
وزن بیولوژیک Biological yield	1.10	0.15	0.58	7.40	0.000
شاخص برداشت Harvest index	4.07	0.54	0.81	7.51	0.000
شاخص برگ Leaf index	0.01	0.00	0.86	3.85	0.001
ارتفاع بوته Plant height	-0.53	0.17	0.89	-3.07	0.006
کلروفیل Chlorophyll	0.54	0.23	0.91	2.37	0.029
عرض از مبدا Intercept	-55.18	29.71		-1.86	0.079

جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفت تعداد شاخه‌های جانبی (متغیر وابسته) و سایر صفات به جز عملکرد و متغیرهای علت ردیف اول (متغیرهای مستقل)

Table 5. Stepwise regression analysis of trait number of lateral branches (dependent variable) and other traits except seed yield and first-order cause variables (independent variables)

صفات Traits	ضریب رگرسیون Regression coefficients	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تبیین Coefficient of determination	مقدار آزمون t t-test value	مقدار p p-value
وزن بیولوژیک Biological yield	0.03	0.01	0.24	2.67	0.014
عرض از مبدا Intercept	1.42	0.91		1.56	0.131

متغیرهایی است که وارد مدل نشده‌اند (جدول ۷). چنانچه مشاهده شد برای دیگر متغیر علت ردیف اول یعنی تعداد شاخه جانبی، تنها صفت وزن بیولوژیک وارد مدل رگرسیونی شده بود، بنابراین کل اثر آن بر روی عملکرد دانه به‌عنوان اثر مستقیم در نظر گرفته شد.

شاخص‌های گزینش: برای بدست آوردن بهترین شاخص‌های گزینشی، بردارهای مختلفی از ارزش‌های اقتصادی صفات از جمله ضرایب همبستگی ژنوتیپی، ضرایب رگرسیون گام‌به‌گام، اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی هر یک از صفات مورد مطالعه در تجزیه علت عملکرد دانه و وراثت‌پذیری صفات در ترکیب-های مختلفی از آن‌ها در حالت حضور و عدم حضور عملکرد در نظر گرفته شدند (جدول ۸). سپس، بیست شاخص گزینشی مختلف بر اساس دو روش بهینه و پایه با استفاده از ده ترکیب برگزیده، محاسبه شدند و چهار معیار برای مقایسه شاخص‌ها برآورد گردید (جدول ۹).

در شاخص اول، ارزش‌های اقتصادی برای کلیه صفات برابر با یک در نظر گرفته شد. مطابق با شاخص بهینه، همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی و همچنین سودمندی نسبی شاخص در حد پایین بود چرا که پیشرفت ژنتیکی کمی را برای عملکرد دانه نشان داد اما از آنجایی که پیشرفت ژنتیکی برای اکثر صفات از جمله مراحل فنولوژیک و ارتفاع بوته بالاترین مقدار را داشت؛ بنابراین پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای مجتمع صفات نیز در حد بسیار مطلوبی به‌دست آمد. این نتایج با اندکی تغییرات مشابه نتایج شاخص پایه بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب بر اساس این شاخص باعث ایجاد گیاهان

تجزیه علت: جهت درک بهتر و تفسیر دقیق‌تر نتایج به‌دست آمده از همبستگی‌ها و رگرسیون گام‌به‌گام، متغیرهای وارد شده در مدل نهایی رگرسیون مورد تجزیه علت قرار گرفتند. جدول ۶ میزان اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مستقل بر عملکرد دانه را بر اساس همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی نشان می‌دهد. تعداد کپسول و تعداد شاخه‌های جانبی به‌ترتیب بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشتند و میزان آثار غیرمستقیم این صفات به‌خصوص تعداد کپسول در بوته از طریق صفات دیگر کم و مثبت بود، لذا از این صفات می‌توان به‌عنوان معیاری جهت گزینش مستقیم برای افزایش عملکرد دانه در بوته سود برد. استفاده از تجزیه علت برای درک اثر متغیرها بر صفات مهم کنجد قبلاً توسط قلی‌نژاد و درویش‌زاده (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2020) گزارش شده است.

تجزیه مسیر بر روی متغیر علت ردیف اول (تعداد کپسول در بوته) انجام شد. صفت ارتفاع بوته تنها متغیری بود که اثر مستقیم منفی داشت در حالی که وزن بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص برگ و کلروفیل به‌ترتیب دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت بودند. با وجود اینکه شاخص برداشت، کلروفیل و وزن بیولوژیک در مجموع اثرات غیرمستقیم منفی داشتند اما اثر غیرمستقیم منفی آن‌ها تا حدود زیادی توسط اثر مستقیم مثبت خشتی شده است. با مقایسه ضرایب علت ژنتیکی و فنوتیپی استنباط می‌شود که بین این دو تا حدودی اختلاف بوده و بدیهی است که ضرایب علت ژنتیکی مقادیر بالاتری را داشته باشند. از طرف دیگر اثرات باقی‌مانده در تجزیه علت فنوتیپی دو برابر مقدار مشابه در تجزیه علت ژنتیکی بود و نشان از تأثیر سایر

شاخص دوم بر مبنای صفاتی با وراثت‌پذیری مساوی و بالاتر از عملکرد دانه محاسبه شد که برای این صفات ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای دیگر صفات ارزش صفر در نظر گرفته شد. میزان پیشرفت عملکرد به‌دست آمده از به‌کار بردن این بردار در شاخص بهینه بیشتر از شاخص پایه بود. این برتری برای تمام صفات ارزیابی شده نیز دیده شد که در توافق با نتایج صبوری و همکاران (Sabouri *et al.*, 2010) است.

دیردرس با ارتفاع بیشتر خواهد شد. صبوری و همکاران (Sabouri *et al.*, 2012) در تفسیر نخستین شاخص که در آن وزن اقتصادی صفات برابر با یک در نظر گرفته شده بود، عنوان داشتند که به‌دلیل وارد شدن تمام صفات به چرخه انتخاب، اندازه‌گیری تمام صفات ضروری و مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است که از نظر اصلاحی اقتصادی نمی‌باشد. بدین منظور شاخص‌های دیگر بایستی مورد بررسی قرار گیرند.

جدول ۶- تجزیه ضرایب علیت ژنوتیپی و فنوتیپی برای متغیرهای علت ردیف اول بر روی عملکرد دانه کنجد

Table 6. Analysis of genotypic and phenotypic path coefficients for first-order causal variables on sesame seed yield

Table 3: Analysis of genotypic and phenotypic path coefficients for first order causal variables on sesame seed yield					
صفات Traits	اثرات مستقیم Direct effects	NC	NB	اثرات غیرمستقیم Indirect effects	اثر کل Total effect
ضرایب ژنوتیپی Genotypic coefficient					
NC	0.658	--	0.117	0.117	0.775
NB	0.354	0.218	--	0.218	0.572
اثرات باقی مانده Residual Effects			0.54		
ضرایب فنوتیپی Phenotypic coefficient					
NC	0.652	--	0.110	0.110	0.762
NB	0.296	0.242	--	0.242	0.538
اثرات باقی مانده Residual Effects			0.59		

NC: تعداد کپسول در بوته، NS: تعداد دانه در کپسول، NB: تعداد شاخه‌های جانبی

NC: No. of capsules per plant, NS: No. of seeds per capsule, NB: No. of branches per plant

جدول ۷- تجزیه ضرایب علیت ژنوتیپی و فنوتیپی متغیرهای علت ردیف دوم بر روی عملکرد دانه (تعداد کپسول در بوته)

Table 7. Analysis of genotypic and phenotypic path coefficients of second-order cause variables on seed yield (number of capsules per plant)

(number of capsules per plant)								
صفات	اثرات مستقیم	PH	C	LI	BY	HI	اثرات غیرمستقیم	اثر کل
Traits	Direct effects						Indirect effects	Total effect
ضرایب ژنوتیپی								
Genotypic coefficient								
PH	-0.264	--	0.047	0.231	0.381	-0.158	0.501	0.237
CL	0.174	-0.072	--	0.038	0.067	-0.166	-0.133	0.041
LI	0.416	-0.147	0.016	--	0.569	-0.194	0.244	0.660
BY	0.767	-0.131	0.015	0.308	--	-0.196	-0.004	0.763
HI	0.571	0.073	-0.050	-0.141	-0.264	--	-0.382	0.189
اثرات باقی مانده			0.30					
Residual effects								
ضرایب فنوتیپی								
Phenotypic coefficient								
PH	-0.450	--	0.122	0.339	0.417	-0.222	0.656	0.206
CL	0.347	-0.158	--	0.062	0.074	-0.269	-0.292	0.055
LI	0.589	-0.259	0.036	--	0.632	-0.281	0.128	0.717
BY	0.815	-0.231	0.032	0.457	--	-0.284	-0.026	0.789
HI	0.761	0.131	-0.123	-0.217	-0.304	--	-0.513	0.248
اثرات باقی مانده			0.18					
Residual effects								

PH: ارتفاع بوته؛ CL: کلروفیل؛ LI: شاخص برگ BY: وزن بیولوژیک و HI: شاخص برداشت

PH: Plant height; CL: Chlorophyll; LI: Leaf index; BY: Biological yield and HI: Harvest index

جدول ۸- ارزش‌های اقتصادی نسبی صفات برای محاسبه‌ی شاخص‌های گزینشی مختلف

Table 8. Relative economic values of traits for calculating different selective indices

صفات Treats	شاخص Index									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DF	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DC	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PH	1	1	0	0	0.5	0.5	-0.22	-0.13	0	0
NC	1	0	1	0.11	1	1	0.66	0.65	0.66	0.65
NS	1	1	0	0	0	0	0	0	0.44	0.52
NB	1	1	1	1.23	1	1	0.30	0.35	0.30	0.35
WS	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LT	1	0	0	0	0	0	0	0	0.41	0.54
CL	1	0	0	0	-0.5	-0.5	0.17	0.09	0	0
LI	1	1	0	0	0.5	0.5	0.29	0.21	0.53	0.56
BY	1	1	0	0	0.5	0.5	0.41	0.38	0.57	0.76
HI	1	1	0	0	0.5	0.5	0.38	0.28	0	0
OP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DF: روز تا گلدهی؛ DC: روز تا کیسول‌دهی؛ PH: ارتفاع بوته؛ NC: تعداد کیسول در بوته؛ NS: تعداد دانه در کیسول؛ NB: تعداد شاخه‌های جانبی؛ GY: عملکرد دانه؛ WS: وزن ۲۰۰ دانه؛ LT: دمای برگ؛ CL: کلروفیل؛ LI: شاخص برگ؛ BY: وزن بیولوژیک؛ HI: شاخص برداشت و OP: درصد روغن

DF: Day to flowering; DC: Day to capsuling; PH: Plant height; NC: No. of capsules per plant; NS: No. of seeds per capsule; NB: No. of branches per plant; WS: Weight of two hundred seeds; LT: Leaf temperature; GY: Yield; CL: Chlorophyll; LI: Leaf index; BY: Biological yield; HI: Harvest index and OP: Oil percentage

جدول ۹- برآورد آماره‌های مربوط به شاخص‌های مورد مطالعه بر مبنای شدت انتخاب ۱۰ درصد ($k = 1/76$)

Table 9. Estimation of statistics related to the studied indices based on 10% selection intensity ($k = 1.76$)

شاخص‌های بهینه Optimum indices	Δ														R_{HI}	ΔH	RE
	DF	DC	PH	NC	NS	NB	WS	GY	LT	CL	LI	BY	HI	OP			
1	0.75	0.42	16.3	36.8	3.15	0.69	-0.02	4.97	0.41	1.46	1716	28.3	-2.93	-0.06	0.977	1806	0.605
2	0.75	0.44	16.3	35.3	3.11	0.67	-0.03	4.85	0.42	1.46	1717	28.0	-2.96	-0.05	0.976	1806	0.590
3	0.13	-0.94	8.40	64.9	3.50	1.02	-0.004	7.53	0.07	-3.60	937	26.4	-0.56	-0.49	1.294	1043	0.915
4	0.17	-0.70	10.1	59.4	4.49	1.44	0.003	8.54	0.33	-4.61	951	28.6	-0.64	-0.68	1.140	1057	1.038
5	0.72	0.34	16.2	38.8	3.21	0.72	-0.02	5.21	0.41	1.04	1712	28.7	-2.86	-0.09	0.978	1805	0.633
6	0.72	0.34	16.2	38.5	3.19	0.71	-0.03	5.15	0.41	1.09	1713	28.6	-2.87	-0.08	0.978	1805	0.626
7	0.74	0.37	15.7	39.3	3.21	0.70	-0.03	5.26	0.41	1.06	1710	28.8	-2.83	-0.09	0.978	1804	0.640
8	0.73	0.32	15.7	40.9	3.28	0.73	-0.02	5.45	0.41	0.88	1705	29.3	-2.80	-0.11	0.980	1800	0.662
9	0.75	0.40	16.0	37.6	3.18	0.69	-0.03	5.09	0.42	1.21	1715	28.6	-2.92	-0.08	0.977	1806	0.619
10	0.76	0.41	16.0	37.5	3.18	0.69	-0.03	5.08	0.42	1.23	1715	28.5	-2.92	-0.08	0.977	1806	0.617

شاخص‌های پایه

Base indices																	
1	0.77	0.53	15.5	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.70	0.40	1.55	1711	27.8	-2.71	-0.04	0.971	1797	0.605
2	0.77	0.53	15.5	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.70	0.40	1.55	1711	27.8	-2.72	-0.04	0.972	1797	0.571
3	0.11	0.41	4.89	41.4	2.10	0.63	-0.01	5.73	0.39	0.61	1068	24.7	1.58	0.28	0.852	1151	0.696
4	0.15	0.44	5.34	41.4	2.48	0.75	-0.01	6.30	0.46	-0.08	1069	25.7	1.48	0.17	0.880	1154	0.767
5	0.77	0.53	15.4	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.71	0.40	1.54	1711	27.8	-2.71	-0.04	0.969	1797	0.573
6	0.77	0.53	15.4	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.71	0.40	1.54	1711	27.8	-2.71	-0.04	0.969	1797	0.573
7	0.77	0.54	15.4	34.3	2.94	0.62	-0.03	4.71	0.40	1.54	1711	27.8	-2.70	-0.04	0.968	1797	0.573
8	0.77	0.54	15.4	34.3	2.94	0.62	-0.03	4.72	0.40	1.54	1711	27.8	-2.70	-0.04	0.967	1797	0.574
9	0.77	0.53	15.4	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.71	0.40	1.54	1711	27.8	-2.71	-0.04	0.970	1797	0.572
10	0.77	0.53	15.4	34.2	2.94	0.62	-0.03	4.71	0.40	1.54	1711	27.8	-2.71	-0.04	0.970	1797	0.572

Δ : پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در هر شاخص؛ R_{HI} : همبستگی بین شاخص (I) و ارزش اصلاحی مجتمع (H)؛ ΔH : پیشرفت

ژنتیکی مورد انتظار برای مجتمع صفات و RE: سودمندی نسبی شاخص؛ DF: روز تا گلدهی؛ DC: روز تا کیسول‌دهی؛ PH: ارتفاع بوته؛ NC: تعداد کیسول در بوته؛ NS: تعداد دانه در کیسول؛ NB: تعداد شاخه‌های جانبی؛ GY: عملکرد دانه؛ WS: وزن ۲۰۰ دانه؛ LT: دمای برگ؛ CL: کلروفیل؛ LI: شاخص برگ؛ BY: عملکرد بیولوژیک؛ HI: شاخص برداشت و OP: درصد روغن

Δ : Expected genetic progress for each trait in each index; R_{HI} : Correlation between index (I) and complex breeding value (H); ΔH : Expected genetic progress for traits complex; RE: Relative efficiency of the index. DF: Day to flowering; DC: Day to capsuling; PH: Plant height; NC: No. of capsules per plant; NS: No. of seeds per capsule; NB: No. of branches per plant; WS: Weight of two hundred seeds; LT: Leaf temperature; GY: Grain yield; CL: Chlorophyll; LI: Leaf index; BY: Biological yield; HI: Harvest index and OP: Oil percentage

با توجه به این که بیش از نیمی از صفات بررسی شده وراثت-پذیری بالاتری از عملکرد داشتند، نتایج حاصل از این شاخص برای محاسبه پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت مشابه شاخص نخست بود. همچنین به دلیل زمان‌بر بودن و هزینه زیاد اندازه-گیری تمام صفات، به کار بردن این شاخص نیز همانند شاخص قبلی اقتصادی نمی‌باشد. صالحی و سعیدی (Salehi and Saeidi, 2013) در بررسی شاخص‌های انتخاب برای بهبود عملکرد دانه در ارقام کنجد به این نتیجه رسیدند که چنانچه ارزش‌های اقتصادی نسبی صفات برابر وارث‌پذیری صفات منظور شود و یا ارزش اقتصادی نسبی برای تمامی صفات یکسان و برابر با یک در نظر گرفته شود، تفاوت چندانی در نتایج حاصل نخواهد شد. در شاخص سوم برای تمام صفات علت ردیف اول و عملکرد ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای دیگر صفات ارزش صفر در نظر گرفته شد. گرچه پیشرفت ژنتیکی مجتمع صفات کم بود اما برای عملکرد دانه پیشرفت بیشتری نسبت به دو شاخص پیشین به دست آمد که بالا بودن سودمندی نسبی این شاخص در مقایسه با شاخص‌های دیگر، مؤید این موضوع می‌باشد؛ بنابراین سودمندی نسبی شاخص‌ها، متأثر از اهمیت صفات وارد شده به شاخص است. شاخص چهارم همانند شاخص سوم بر مبنای صفات علت ردیف اول بود که ضرایب اقتصادی همان ضرایب رگرسیون گام به گام صفات بود و ضریب اقتصادی یک هم برای عملکرد دانه منظور گردید (جدول ۱۰). نتایج این شاخص مشابه نتایج شاخص پیشین بود. رحیمی و ربیعی (Rahimi and Rabiei, 2011) در بررسی کاربرد شاخص‌های گزینشی اظهار داشتند که استفاده از ضرایب رگرسیون گام به گام به عنوان ارزش‌های اقتصادی شاخص، منجر به پیشرفت ژنتیکی بیشتر برای عملکرد دانه می‌شود. ضرایب اقتصادی که برای شاخص پنجم در نظر گرفته شد بر مبنای اهمیت صفات ردیف اول و دوم وارد شده در تجزیه علت عملکرد دانه بود. در این شاخص برای صفات ردیف اول که اهمیت بیشتری در افزایش عملکرد دانه داشتند، ضریب ۱ و برای صفات ردیف دوم ارزش ۰/۵ منظور شد. ضرایب در نظر گرفته شده برای صفات، هم علامت با همبستگی ژنتیکی آن‌ها با صفت عملکرد دانه بود. معیارهای مورد مطالعه برای این شاخص در

حد متوسطی برآورد شدند. در شاخص ششم، ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده همانند شاخص پنجم بود، با این تفاوت که در شاخص ششم برای عملکرد دانه ارزش اقتصادی صفر در نظر گرفته شد تا برای افزایش و اصلاح عملکرد دانه نیازی به اندازه‌گیری خود عملکرد نباشد. این شاخص پس از شاخص اول و دوم دارای بیشترین پیشرفت ژنتیکی مجتمع برای صفات بود و بعد از این شاخص‌ها نیز کمترین سودمندی نسبی را به خود اختصاص داد.

برای شاخص‌های هفتم و هشتم به ترتیب اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی صفات ردیف اول و دوم حاصل از تجزیه علت، به عنوان ارزش‌های اقتصادی صفات در نظر گرفته شد. منتهی اثرات ردیف دوم به نصف کاهش یافته و به عنوان ارزش اقتصادی لحاظ شدند. این ترکیب از ارزش‌های اقتصادی در میان سایر مطالعات مشابه گزارش نشده است و در این پژوهش به دلیل تعداد کم متغیر علت ردیف اول از نصف اثرات مستقیم علت ردیف دوم نیز استفاده گردید. نتایج حاصل از هر دو شاخص تقریباً نزدیک به هم بودند چرا که ضرایب اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی صفات نزدیک به هم برآورد شدند. گرچه برای این دو شاخص پیشرفت ژنتیکی برای برخی از صفات نظیر وزن بیولوژیک بیشتر بود اما از نظر سایر معیارها در وضعیت متوسطی بودند. در شاخص نهم و دهم به ترتیب از اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی صفات ردیف اول در تجزیه علت عملکرد دانه به عنوان ارزش‌های اقتصادی و برای بقیه صفات ضریب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی این صفات با عملکرد دانه در صورت معنی دار بودن آن‌ها به عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شدند. بر طبق نتایج سودمندی نسبی این دو شاخص کم و اختلاف چندانی با اکثر شاخص‌ها نداشت. در تضاد با این نتایج صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2010) در استفاده از این نوع شاخص، سودمندی نسبی و پیشرفت برای عملکرد را خوب توصیف کردند؛ اما رحیمی و ربیعی (Rahimi and Rabiei, 2011)، با لحاظ کردن همبستگی فنوتیپی صفات با عملکرد به عنوان ضرایب اقتصادی صفات وارد شده در مدل رگرسیونی، سودمندی نسبی و همچنین پیشرفت ژنتیکی پایینی را برای عملکرد مشاهده نمودند.

جدول ۱۰- مقدار شاخص و رتبه ۲۵ توده بومی کنجد با انتخاب بر اساس شاخص‌های سوم و چهارم

Table 10. Index value and rank of 25 sesame landraces selected by the third and fourth indices

توده Population	مقدار شاخص سوم (رتبه)			مقدار شاخص چهارم (رتبه)	
	Third index value (rank)			Fourth index value (rank)	
	بهینه Optimal	پایه Basic		بهینه Optimal	پایه Basic
1	1946.2 (23)	9933.4 (25)	.	397.1 (17)	1587.1 (25)
2	1959.8 (20)	12720.1 (24)	.	391.4 (22)	1707.1 (24)
3	1988.6 (14)	16427.3 (20)	.	400.9 (14)	2213.0 (19)
4	1926.1 (25)	16131.4 (21)	.	384.9 (25)	2090.4 (21)
5	2033.7 (5)	20798.7 (13)	.	412.6 (5)	2870.4 (12)
6	1964.1 (17)	20274.3 (15)	.	401.3 (13)	2870.5 (11)
7	1958.2 (21)	13950.6 (22)	.	386.5 (24)	1813.0 (23)
8	1996.2 (13)	18951.3 (16)	.	398.7 (16)	2455.6 (17)
9	2018.3 (9)	16436.6 (19)	.	403.2 (11)	2208.3 (20)
10	1934.1 (24)	13279.8 (23)	.	387.5 (23)	1841.9 (22)
11	1962.8 (19)	18839.0 (17)	.	394.5 (19)	2554.4 (16)
12	2071.4 (2)	27760.8 (1)	.	418.5 (2)	3713.9 (1)
13	2030.8 (6)	21294.9 (10)	.	402.3 (12)	2764.8 (15)
14	2002.6 (12)	24838.0 (5)	.	406.4 (8)	3407.7 (5)
15	2016.3 (10)	24342.4 (6)	.	407.5 (7)	3286.2 (6)
16	2022.2 (7)	20350.3 (14)	.	407.9 (6)	2782.7 (14)
17	2042.2 (3)	26271.0 (2)	.	412.7 (3)	3545.3 (2)
18	2019.4 (8)	26143.5 (3)	.	405.5 (9)	3441.5 (3)
19	2081.7 (1)	23991.6 (7)	.	420.4 (1)	3234.9 (7)
20	1970.0 (16)	22608.9 (9)	.	395.6 (18)	2985.3 (8)
21	2041.9 (4)	21217.6 (11)	.	412.7 (4)	2890.6 (10)
22	2005.6 (11)	22410.0 (9)	.	404.9 (10)	2961.7 (9)
23	1958.1 (22)	26046.8 (4)	.	393.4 (21)	3438.3 (4)
24	1983.0 (15)	21165.4 (12)	.	399.1 (15)	2837.7 (13)
25	1963.4 (18)	17784.6 (18)	.	393.5 (20)	2335.6 (18)

شدند، با استفاده از این دو شاخص توده‌های کنجد مورد ارزیابی قرار گرفتند. چنانچه ملاحظه می‌شود بین شاخص‌های پایه و بهینه در کنار تفاوت‌های جزئی، شباهت‌های زیادی نیز وجود دارد. برترین توده‌ها از لحاظ شاخص سوم (بهینه) توده‌های شماره ۱۲، ۱۷ و ۱۹ بودند و از نظر شاخص سوم (پایه) توده‌های شماره ۱۲، ۱۷ و ۱۸ به‌عنوان مطلوب‌ترین توده‌ها شناسایی شدند. همچنین نتایج شاخص چهارم در رتبه‌بندی ارقام مشابه با نتایج شاخص سوم بود.

در میان معیارهای مورد مقایسه به نظر می‌رسد همبستگی شاخص با ارزش اصلاحی و سودمندی نسبی از اهمیت بیشتری برخوردارند. همچنین با مقایسه شاخص‌های بهینه و پایه استنباط می‌شود که معیارهای برآورد شده برای شاخص‌های پایه کمتر از شاخص‌های بهینه می‌باشد؛ اما شاخص‌های پایه از سهولت محاسبه و سادگی ساختار برخوردار هستند. در نهایت از آنجایی که شاخص‌های سوم و چهارم در مجموع به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی

References

- Ahmadpour, S., Darvishzadeh, R. and Sofalian, O. (2018). Selection indices for yield improvement of sunflower under normal and salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **10(25)**: 91-100 (In Persian).
- Akhtar, K.P., Sarwar, G., Dickinson, M., Ahmad, M., Haq, M.A., Hameed, S. and Iqbal, M.J. (2009). Sesame phyllody disease: its symptomatology, etiology, and transmission in Pakistan. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **33(5)**: 477-486.
- Alipour, H., Abdi, H. and Bihamta, M.R. (2021). Path analysis of wheat grain yield with overcoming multi-collinearity of traits. *Journal of Crop Breeding*, **13(39)**: 122-129 (In Persian).
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S. (2010). Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds - an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, **75(4)**: 159-168.

- Askari, A., Zabet, M., Ghaderi, M.G., Samadzadeh, A.R. and Shorvazdi, A. (2016). Choose the most important traits affecting on yield of some sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in normal and stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **8(18)**: 78-87 (In Persian).
- Baker, R.J. (1986). *Selection Indices in Plant Breeding*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Baker, R.J. (1993). Breeding methods and selection indices for improved tolerance to biotic and abiotic stresses in cool season food legumes. *Euphytica*, **73(1-2)**: 67-72.
- Bos, I. and Caligari, P. (2007). *Selection Methods in Plant Breeding*. 2nd Edn. Springer, Berlin, DE.
- Boureima, S. and Yaou, A. (2019). Genotype by yield*trait combination biplot approach to evaluate Sesame genotypes on multiple traits basis. *Turkish Journal of Field Crops*, **24(2)**: 237-244.
- Boureima, S., Diouf, S., Amoukou, M. and Van Damme, P. (2016). Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, **4(1)**: 45-60.
- Brim, C.A., Johnson, H.W. and Cockerham, C.C. (1959). Multiple selection criteria in soybeans. *Agronomy Journal*, **51(1)**: 42-46.
- Da Silva, A.R., Malafaia, G. and Menezes, I.P.P. (2017). Biotoools: an R function to predict spatial gene diversity via an individual-based approach. *Genetics and Molecular Research*, **16(2)**: 1-6.
- Dossa, K., Wei, X., Niang, M., Liu, P., Zhang, Y., Wang, L., Liao, B., Cissé, N., Zhang, X. and Diouf, D. (2018). Near-infrared reflectance spectroscopy reveals wide variation in major components of sesame seeds from Africa and Asia. *The Crop Journal*, **6(2)**: 202-206.
- Dossa, K., Yehouessi, L.W., Likeng-Li-Ngue, B.C., Diouf, D., Liao, B., Zhang, X., Cissé, N. and Bell, J.M. (2017). Comprehensive screening of some west and central African sesame genotypes for drought resistance probing by agro-morphological, physiological, biochemical and seed quality traits. *Agronomy*, **7(4)**: 83.
- Farahbakhsh, S. and Farahbakhsh, H. (2014). Effect of drought stress on yield and yield components of sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, **12(4)**: 776-783 (In Persian).
- Fazlalipour, M., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H. and Rahim Soroush, H. (2008). Multi-trait selection for screening elite genotypes of an F2 rice population. *Journal of Water and Soil Science*, **11(42)**: 41-52 (In Persian).
- Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R. (2018). Investigation the drought tolerance of sesame (*Sesamum indicum* L.) local landraces based on drought stress tolerance indices in different levels of irrigation and mycorrhizae. *Journal of Crop Breeding*, **10(26)**: 185-194 (In Persian).
- Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R. (2020). Path analysis of effective traits on oil and protein yield in sesame genotypes under different moisture conditions and mycorrhiza utilization. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **51(1)**: 177-194 (In Persian).
- Hazel, L.N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, **28(6)**: 476-490.
- Khavari Khorasani, S. and Mahdipoor, A. (2018). Genetic improvement of grain yield by determination of selection index in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Plant Genetic Researches*, **5(1)**: 1-18 (In Persian).
- Li, D., Dossa, K., Zhang, Y., Wei, X., Wang, L., Zhang, Y., Liu, A., Zhou, R. and Zhang, X. (2018). GWAS uncovers differential genetic bases for drought and salt tolerances in sesame at the germination stage. *Genes*, **9(2)**: 87.
- Mansouri, S. and Soltani Najafabadi, M. (2004). Study and systemic analysis on yield and yield components association for sesame (*Sesamum indicum* L.) Breeding. *Seed and Plant Improvement Journal*, **20(2)**: 149-165 (In Persian).
- Masoudi, B. (2019). An evaluation of the relationship between seed yield and oil percentage with some important agronomic traits in sesame by using path analysis and principal component analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, **17(1)**: 99-110 (In Persian).
- Mohammadi, R., Geravandi, M., Haghparast, R., Rajabi, R., Abdulahi, A., Mahmodi, F., Malekhosseini, R., Yarkarami, K. and Shahsavari, B. (2020). Study of grain yield and agro-physiological characteristics of some promising rainfed bread wheat genotypes under no-till condition. *Journal of Crop Breeding*, **11(32)**: 207-217 (In Persian).
- Pesek, J. and Baker, R.J. (1969). Desired improvement in relation to selection indices. *Canadian Journal of Plant Science*, **49(6)**: 803-804.

- Rabiei, B., Valizadeh, M., Ghareyazie, B. and Moghaddam, M.** (2004). Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. *Field Crops Research*, **89(2-3)**: 359-367.
- Rahimi, M. and Rabiei, B.** (2011). The application of selection indices on improvement of grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, **90**: 39-49 (In Persian).
- Ramazani, S.M.R. and Mansouri, S.** (2017). Relationships of quantitative traits in advanced lines of Sesame. *Journal of Crop Breeding*, **9(23)**: 58-66 (In Persian).
- Sabouri, H., Biabani, A., Fazlalipour, M. and Sabouri, A.** (2010). Determination of best selection indices for facilitating selection in rice. *Journal of Plant Production*, **17(4)**: 1-25 (In Persian).
- Sabouri, H., Mohammadinejad, G. and Fazlalipour, M.** (2012). Selection for yield improvement using of multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Field Crops Research*, **9(4)**: 639-650 (In Persian).
- Salehi, M. and Saeidi, G.** (2013). Selection indices for seed yield improvement in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, **10(4)**: 667-673 (In Persian).
- Saljooghianpour, M. and Javadzadeh, S.M.** (2018). Morpho-agronomical diversity in some sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under drought stress conditions. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, **6(4)**: 1-8.
- Smith, H.F.** (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, **7(3)**: 240-250.
- Tahmasebi, A.K., Darvishzadeh, R., Fayaz Moghaddam, A., Gholinezhad, E. and Abdi, H.** (2021). Phenotypic variation of indigenous sesame landraces in Urmia climate. *Journal of Crop Breeding*, **12(36)**: 30-38 (In Persian).
- Yan, W.** (2014). *Crop Variety Trials: Data Management and Analysis*. John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Yan, W., Fréreau-Reid, J.** (2018). Genotype by yield*trait (gyt) biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, **8(1)**: 1-10.
- Zeinali, H., Mir Elahi, A. and Safaei, L.** (2006). Evaluation of relationship between grain yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Research in Agricultural Science*, **2(1)**: 1-9 (In Persian).
- Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S. and Fallah-Toosi, A.** (2021). Evaluation of seed yield stability of promising sesame lines using different parametric and nonparametric methods. *Plant Genetic Researches*, **8(1)**: 43-60.
- Zhou, R., Dossa, K., Li, D., Yu, J., You, J., Wei, X. and Zhang, X.** (2018). Genome-wide association studies of 39 seed yield-related traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, **19(9)**: 2794.

Use of Selection Indices for Improving Grain Yield in Sesame Local Populations

Abdul Karim Tahmasebi¹, Reza Darvishzadeh^{2*}, Amir Fayaz Moghaddam³, Esmail Gholinezhad^{4*} and Hossein Abdi⁵

1- Former M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

4- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

5- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: January 4, 2022 – Accepted: March 14, 2022)

Abstract

The selection of genotypes based on multiple traits is a fundamental issue and an important part of the process of plant breeding. In the present study, the efficiency of selection indices based on phenological, morphological and physiological traits was studied to improve sesame grain yield. The evaluation of 25 sesame populations was realized in a completely randomized design with 10 replications under Urmia conditions in 2017. The results showed that phenotypic and genotypic correlations between grain yield and No. of capsules per plant, No. of grains per capsule, No. of branches, leaf temperature, leaf index and biological weight were positive and significant. By regression and path analysis, the No. of capsules and No. of branches were identified as the variables of the first-order cause and biological weight, harvest index, leaf index, plant height and chlorophyll as the second-order cause variables, among which only plant height had a direct negative effect. In order to obtain selection indices, two optimal and basic methods and ten different vectors of economic values of traits were used. The vectors were based on the analysis of correlation, regression, path and broad sense heritability. The third and fourth indices, in which the first-order cause entered the model, showed high relative efficiency and in terms of these two indices, and the sesame populations with code number of 12, 17, 18 and 19 populations were identified as the most desirable populations. Finally, it is suggested that the efficiency of these selection indices be evaluated in the field.

Keywords: Path analysis, Regression, Selection indices, Indirect selection, Trait's correlation

* Corresponding Authors, E-mail: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir, e_gholinejad@pnu.ac.ir