

استفاده از گزینش شاخصی در یک جمعیت F_3 برنج

مریم فضلعلی پور^۱، بابک ربیعی^{۲*}، حبیب اله سمیع زاده لاهیجی^۳ و حسین رحیم سروش^۴
۱، ۲، ۳، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
۴، عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت)
(تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱۵ - تاریخ تصویب: ۸۶/۲/۱۲)

چکیده

گزینش همزمان برای چند صفت به منظور حصول حداکثر ارزش اقتصادی یک جمعیت، همیشه مورد نظر به‌نژادگران بوده است. یکی از مؤثرترین روش‌های گزینش جهت بهبود همزمان عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن، استفاده از شاخص‌های گزینش می‌باشد. در این تحقیق، ۱۱۷ خانواده F_3 حاصل از تلاقی بین دو رقم برنج ایرانی به اسامی هاشمی و کادوس، به منظور آرایه شاخص‌های گزینش مناسب برای اصلاح عملکرد و اجزای عملکرد در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز تا رسیدگی کامل، ارتفاع بوته، طول خوشه، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، تعداد خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد کل دانه در خوشه، وزن صد دانه، عملکرد دانه در واحد بوته، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، طول دانه و عرض دانه بود. برآورد بیست شاخص گزینش مختلف بر اساس دو روش بهینه و پایه 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 موجب افزایش ارزش اقتصادی جمعیت شود. بعلاوه نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از هر دو شاخص بهینه و پایه پیشرفت ژنتیکی تقریباً مشابهی برای صفات مورد مطالعه آرایه می‌دهند. معذالک استفاده از شاخص پایه به دلیل سهولت محاسبات و تفسیر نتایج بر شاخص بهینه ارجحیت داشته و پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه برنج، تجزیه علیت، شاخص‌های گزینش، شاخص پایه، شاخص بهینه.

مقدمه

عملکرد دانه و بسیاری از صفاتی که دارای اهمیت اقتصادی می‌باشند، به صورت کمی به توارث می‌رسند. این صفات پلی‌ژنیک بوده و معمولاً وراثت پذیری پایینی دارند، در نتیجه گزینش مستقیم برای آنها چندان مؤثر نیست (۱ و ۱۵). از طرف دیگر، زمانی که گزینش برای بهبود ارزش اقتصادی گیاهان به کار می‌رود، عموماً گزینش همزمان برای چندین صفت انجام می‌گیرد. این نوع گزینش

را معمولاً گزینش چند صفتی گویند که شامل گزینش نوبتی^۱، گزینش بر مبنای سطوح حذف مستقل^۲ و گزینش شاخصی^۳ می‌باشد (۴). با این حال، روشی که انتظار می‌رود سریع‌ترین پیشرفت را در ارزش اقتصادی یک گیاه یا یک جمعیت منجر شود، اعمال گزینش همزمان و توأم برای

1. Tandom selection
2. Independent culling levels
3. Index selection

E-mail: rabiei@guilan.ac.ir

*نویسنده مسئول: بابک ربیعی تلفن: ۰۱۳۱-۶۶۹۰۲۸۲

گراویس و مکینو (۱۹۹۳) برای بهبود و اصلاح عملکرد دانه در برنج از گزینش شاخصی استفاده کردند. آنها از اجزای عملکرد به عنوان معیارهایی برای انتخاب غیر مستقیم سود جستند (۱۲). بیکر (۱۹۹۴) با مطالعه سویا در دو محیط تحت تنش و بدون تنش و مقایسه روش‌های گزینش مستقیم و غیر مستقیم به منظور گزینش گیاهان متحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده مشاهده نمود که وقتی وراثت پذیری صفات در محیط بدون تنش بیشتر از محیط تحت تنش بود، استفاده از شاخص‌های گزینش بر مبنای داده‌های هر دو محیط موثرتر از گزینش مستقیم در محیط تحت تنش بود (۵). دولان و همکاران (۱۹۹۶) نیز شاخص‌های بهینه، پایه، محدود شده^۵ و ضربی^۶ را با گزینش بر مبنای سطوح حذف مستقل و گزینش مستقیم بر اساس عملکرد دانه در یک جمعیت گزینش دوره‌ای در یولاف مورد مطالعه قرار دادند و شاخص‌های بهینه و محدود شده را از نظر صفات ثانوی نظیر تاریخ گلدهی و ارتفاع بوته موثرتر از سایر روش‌های گزینش عنوان نمودند (۸). استفاده از تجزیه علیت^۷ برای شناسایی صفات با ارزشی که می‌توانند به عنوان معیارهایی مناسب برای بهبود و اصلاح یک صفت ویژه نظیر عملکرد دانه در نظر گرفته شوند، پیشنهاد شده است (۷). ۱۱ و ۲۰. ربیعی و همکاران (۲۰۰۴). بیست شاخص گزینشی مختلف را برای اصلاح شکل دانه در برنج در یک جمعیت F_2 مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گزینش غیر مستقیم بر مبنای سه صفت طول دانه، عرض دانه و ارتفاع بوته با استفاده از ضرایب علیت آنها به عنوان ارزش‌های اقتصادی و بر اساس دو شاخص بهینه و پایه، برای اصلاح شکل دانه موثرتر از گزینش مستقیم خواهد بود (۱۹).

در این تحقیق، یک جمعیت F_3 برنج برای دستیابی به دو هدف زیر مورد مطالعه قرار گرفت: (۱) بررسی ارتباط بین صفات مهم زراعی در یک جمعیت در حال تفرق برنج، (۲)

تمام صفات مورد مطالعه است. در این روش که گزینش شاخصی نامیده می‌شود، برای هر صفت بسته به اهمیت اقتصادی نسبی، وراثت پذیری، همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات مختلف امتیاز یا وزن مناسبی داده می‌شود. استفاده از شاخص‌های گزینش در گیاهان برای اولین بار توسط اسمیت (۱۹۳۶) مطرح شد. او از نظرات فیشر که مفهوم تابع تشخیص^۱ را عنوان کرده بود، استفاده کرد. وی به ارائه یک تابع خطی از ارزش‌های فنوتیپی قابل مشاهده که بتواند بهترین برآورد از ارزش ژنتیکی یک لاین (رگه) را به دست دهد، معتقد بود (۲۲). متعاقباً شاخص‌های گزینش پیشرفته‌تر معرفی و مورد ارزیابی قرار گرفت (۱) و (۴). شاخص پایه^۲ که توسط بریم و همکاران (۱۹۵۹) پیشنهاد و به وسیله ویلیامز (۱۹۶۲) نامگذاری شد، نیازی به برآورد پارامترهای ژنتیکی ندارد و چون به سادگی قابل حصول و تفسیر است، لذا از این نظر بر شاخص اسمیت ارجحیت دارد. گرافیوس (۱۹۶۵) چگونگی اختصاص ارزش و وزنه اقتصادی به ژنوتیپ‌ها را بر اساس دیدگاه کلی به-نژادگر نسبت به ارزش کلی هر ژنوتیپ عنوان کرد، به طوری که با در نظر گرفتن رتبه کلی ژنوتیپ به عنوان متغیر تابع و دیگر صفات به عنوان متغیرهای مستقل، از طریق رگرسیون چند متغیره ارزش و وزنه هر صفت تعیین می‌شد (۹). از شاخص‌های گزینش برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به بلاست در برنج استفاده شده است (۱۸). در مطالعات متعددی از جمله روش‌های گزینش دوره‌ای^۳ (۸، ۱۳، ۱۴ و ۱۷)، گزینش بر اساس همبستگی ژنتیکی بین چند محیط (۲۵) و گزینش در محیط‌های تنش‌دار (۵)، کارایی شاخص‌های گزینش گزارش شده است. کافمن و دادلی (۱۹۷۹) روش‌های گزینش مختلف را در دو سال در جمعیت‌های ذرت مورد مطالعه قرار دادند و ملاحظه نمودند که پیشگویی پیشرفت ژنتیکی برای هر یک از صفات مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های بهینه و پیشرفت مطلوب^۴، دقیق‌تر از گزینش مستقیم برای هر یک از صفات بود (۱۴).

5. Restricted index
6. Multiplicative index
7. Path analysis

1. Discriminant function
2. Base index
3. Recurrent selection
4. Desired gain index

بودند که بر اساس دستورالعمل استاندارد ارزیابی صفات در برنج^{۱۵} (۲۳) ثبت گردیدند.

تجزیه‌های آماری

به منظور ارزیابی فرض نرمال بودن داده‌ها، آزمون چولگی^{۱۴} و کشیدگی^{۱۷} به کمک نرم افزار کامپیوتری MSTATC انجام شد. ماتریس واریانس- کواریانس فنوتیپی همه صفات برای والدین، بوته‌های F₁ و نتاج F₃ برآورد شد. برای به دست آوردن ماتریس واریانس- کواریانس ژنتیکی- نتاج F₃ ابتدا ماتریس واریانس- کواریانس محیطی از طریق فرمول $E=(P_1+P_2+F_1)/3$ محاسبه شد که در آن P₁، P₂ و F₁ به ترتیب ماتریس واریانس- کواریانس فنوتیپی والدین و بوته‌های F₁ می-باشند. سپس ماتریس واریانس- کواریانس ژنتیکی جمعیت F₃ از رابطه $G=P-E$ به دست آمد که در آن P و G به ترتیب ماتریس واریانس- کواریانس فنوتیپی و ژنتیکی جمعیت F₃ می‌باشند. از این ماتریس‌ها برای ارزیابی شاخص‌های گزینش در جمعیت F₃ استفاده شد (۱۹).

وراثت پذیری عمومی^{۱۸} صفات بر اساس فرمول $h_m^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_m^2}$ محاسبه شد که در آن σ_{pi}^2 و σ_{gi}^2 به ترتیب واریانس ژنتیکی و فنوتیپی صفت i ام می‌باشند. ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی برای هر جفت از صفات با استفاده از واریانس‌ها و کواریانس‌های فنوتیپی و ژنتیکی و از طریق فرمول‌های زیر محاسبه گردید (۹):

$$r_p = \frac{\sigma_{pij}}{\sqrt{\sigma_{pi}^2 \times \sigma_{pj}^2}} \quad \text{و} \quad r_g = \frac{\sigma_{gij}}{\sqrt{\sigma_{gi}^2 \times \sigma_{gj}^2}}$$

که σ_{pij} کواریانس فنوتیپی و σ_{gij} کواریانس ژنتیکی و σ_{pi}^2 و σ_{pj}^2 کواریانس فنوتیپی بین دو متغیر i و j است.

به منظور بررسی تأثیر هر یک از صفات مورد نظر بر روی متغیر تابع و همچنین جهت به تعدیل رساندن

ارزیابی شاخص‌های گزینش مختلف و معرفی بهترین شاخص برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برنج.

مواد و روشها

مواد گیاهی و صفات مورد مطالعه

مواد گیاهی آزمایش شامل والدین، نتاج F₁ و F₁ و ۱۱۷ خانواده F₃ حاصل از تلاقی بین رقم اصلاح شده کادوس به عنوان والد مادری و رقم بومی هاشمی به عنوان والد پدری بود. آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۷ متر از سطح دریای آزاد انجام شد. عملیات کاشت، داشت و برداشت مطابق معمول منطقه انجام شد. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ابعاد کرت‌ها ۳×۲ متر بود. در والدین و جمعیت F₁ تعداد ۱۰ بوته از هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای به طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در جمعیت F₃ به دلیل تنوع درون خانواده‌ها و به منظور گزینش بوته‌های دارای فنوتیپ و ژنوتیپ مناسب، ارزیابی‌ها به صورت تک بوته انجام شد تا در نهایت ۱۰٪ از بوته‌های برتر در تمامی خانواده‌ها گزینش شوند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز تا رسیدگی کامل (MD)^۱، ارتفاع بوته (PH)^۲، طول خوشه (PL)^۳، طول برگ پرچم (FL)^۴، عرض برگ پرچم (FW)^۵، تعداد خوشه در بوته (PP)^۶، تعداد دانه پر در خوشه (GP)^۷، تعداد کل دانه در خوشه (SP)^۸، وزن صد دانه (GW)^۹، عملکرد دانه در واحد بوته (GY)^{۱۰}، عملکرد بیولوژیک (BM)^{۱۱}، شاخص برداشت (HI)^{۱۲}، طول دانه (GL)^{۱۳} و عرض دانه (GB)^{۱۴}

1. Maturity date
2. Plant height
3. Panicle length
4. Flag leaf length
5. Flag leaf width
6. Number of panicle per plant
7. Number of grain per panicle
8. Number of spikelet per panicle
9. 100-grain weight
10. Grain yield per plant.
11. Biomass
12. Harvest index

13. Grain length
14. Grain breadth
15. Standard Evaluation System for Rice
16. Skewness
17. Kurtosis
18. Broad sense heritability

در این بررسی از پنج معیار مختلف R_{HI} ، Δ ، ΔH ، RE و CV_1 برای ارزیابی شاخص‌ها استفاده شد. همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی از رابطه زیر محاسبه شد (۴ و ۹):

$$R_{HI} = \frac{\sigma_{HI}}{\sqrt{\sigma_I^2 \times \sigma_H^2}} = \frac{\sigma_I}{\sigma_H} = \sqrt{\frac{b'Ga}{a'Ga}}$$

که در آن σ_I^2 ، σ_H^2 و σ_{HI} به ترتیب واریانس شاخص، واریانس ارزش اصلاحی و کوواریانس شاخص و ارزش اصلاحی می‌باشد.

پاسخ مورد انتظار از شاخص نیز از رابطه زیر به دست آمد (۴ و ۹):

$$\Delta H = Kr_{HI}\sigma_H$$

که در آن، K دیفرانسیل گزینش در واحد استاندارد، σ_H انحراف معیار ارزش اصلاحی و r_{HI} ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی می‌باشد. میزان پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت بر مبنای شاخص از رابطه زیر محاسبه شد (۱ و ۴):

$$\Delta = \frac{KGb}{\sqrt{b'Pb}}$$

ضریب همبستگی ژنتیکی عملکرد با شاخص از رابطه زیر برآورد شد (۴):

$$r_{G(A)I} = \frac{b'g}{\sqrt{\sigma_{G(A)}^2 \times b'Pb}}$$

که در این رابطه g و $\sigma_{G(A)}^2$ به ترتیب بردار ستونی کوواریانس ژنتیکی صفات با عملکرد و واریانس ژنتیکی صفت عملکرد می‌باشد.

کارایی نسبی گزینش بر اساس شاخص، نسبت به گزینش مستقیم برای عملکرد به صورت زیر محاسبه شد (۴):

$$RE = \frac{R_I}{R_A} = \frac{r_{G(A)I}}{h(A)}$$

که RI و RA به ترتیب پاسخ مورد انتظار بر اساس گزینش شاخصی و پاسخ مورد انتظار به گزینش از طریق خود صفت و $h(A)$ جذر وراثت پذیری صفت A (عملکرد) می‌باشد.

متغیرهای مستقل، تجزیه رگرسیون گام به گام^۱ انجام شد. در این بررسی عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع یا وابسته (Y) و ۱۳ صفت اندازه‌گیری شده دیگر به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. تفکیک ضرایب همبستگی ژنوتیپی بین صفات و عملکرد به اثرات مستقیم و غیر مستقیم^۲ به روش دوی و لو (۱۹۵۹) انجام شد. مدل نهایی دیاگرام علیت بر اساس متغیرهای پیشگویی کننده^۳ (متغیرهای مستقل) و متغیر تابع رسم گردید. از نتایج تجزیه علیت برای برآورد ضرایب اقتصادی در به دست آوردن شاخص‌های گزینش جهت بهبود و اصلاح عملکرد دانه استفاده شد (۱۹).

در تحقیق حاضر، بیست شاخص گزینش مختلف بر اساس دو روش بهینه و پایه (ده شاخص در هر روش) و بر مبنای نتایج حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه محاسبه گردید. در شاخص‌های بهینه، ضرایب شاخص^۴ از حل همزمان سری معادلات زیر به دست آمد (۲۲):

$$\begin{aligned} b_1P_{11} + b_2P_{12} + \dots + b_nP_{1n} &= a_1G_{11} + a_2G_{12} + \dots + a_nG_{1n} \\ b_1P_{21} + b_2P_{22} + \dots + b_nP_{2n} &= a_1G_{21} + a_2G_{22} + \dots + a_nG_{2n} \end{aligned}$$

$$b_1P_{n1} + b_2P_{n2} + \dots + b_nP_{nn} = a_1G_{n1} + a_2G_{n2} + \dots + a_nG_{nn}$$

که در این روابط P_{ij} ، P_{ii} و G_{ij} به ترتیب نشان دهنده واریانس فنوتیپی، کوواریانس فنوتیپی، واریانس ژنتیکی و کوواریانس ژنتیکی صفات i ام و j ام می‌باشند. فرم ماتریسی این روابط به صورت زیر می‌باشد:

$$bP = Ga$$

که در آن b بردار ضرایب شاخصی، P ماتریس واریانس-کوواریانس فنوتیپی، G ماتریس واریانس-کوواریانس ژنتیکی صفات و a بردار ارزش‌های اقتصادی ۵ صفات می‌باشد. ارزش‌های اقتصادی مورد استفاده در جدول ۴ درج شده‌اند.

1. Stepwise regression analysis
2. Indirect and direct effects
3. Predictor variables
4. Index coefficients
5. Economic values

داشتند به عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شد و برای سایر صفات از ضریب همبستگی ژنتیکی آنها (در صورت معنی‌دار بودن) به عنوان ارزش اقتصادی استفاده گردید (جدول ۴).

دومین نوع شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص پایه بود (۶). در این شاخص‌ها به جای ضرایب شاخصی، مستقیماً از ارزش‌های اقتصادی صفات استفاده گردید و مجموع حاصلضرب ارزش‌های اقتصادی در ارزش‌های فنوتیپی صفات هر فرد به عنوان شاخص آن فرد محاسبه شد و لذا نیازی به برآورد پارامترهای ژنتیکی نبود. بر این اساس، ده شاخص پایه بر مبنای همان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده برای شاخص بهینه (جدول ۴) محاسبه شدند. در این شاخص، ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی (دقت شاخص) از رابطه زیر محاسبه گردید (۴):

$$R_{im} = \sqrt{\frac{a'Ga}{a'Pa}}$$

در تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزار MATLAB نسخه 6.5 برای محاسبه اثرات مستقیم ژنتیکی صفات در تجزیه و تحلیل صفات و از نرم‌افزار SPSS نسخه 9.0 برای محاسبه ضرایب همبستگی فنوتیپی، رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت استفاده شد. برای محاسبه ضرایب همبستگی ژنتیکی، به دست آوردن ماتریس‌ها و تشکیل شاخص‌های گزینش مختلف از نرم افزار SAS نسخه 6.12 استفاده گردید.

نتایج و بحث

میانگین ارزش‌های فنوتیپی صفات مورد مطالعه برای والدین، بوته‌های F_1 و جمعیت F_3 در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تنها ارتفاع بوته در والد هاشمی بیشتر از والد کادوس بود و در بقیه صفات، والد کادوس ارزش فنوتیپی بیشتری نسبت به والد هاشمی داشت. وراثت پذیری عمومی صفات نیز در جدول ۱ آمده است. وراثت پذیری تمام صفات در حد بالایی برآورد شد که احتمالاً به دلیل اختلاط اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط، به دلیل انجام آزمایش در یکسال و اندازه‌گیری صفات بر مبنای تک بوته بوده است. شاخص برداشت و عرض برگ پرچم به

آخرین معیار ارزیابی شاخص‌ها، محاسبه ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص بود که از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$CV_1 = \left(\frac{\sigma_1}{\bar{X}} \right) \times 100$$

که در آن σ_1 ، انحراف معیار فنوتیپی شاخص و \bar{X} میانگین امتیازات به دست آمده برای افراد در اثر استفاده از شاخص می‌باشد. CV_1 که بیانگر دقت و پایداری شاخص گزینش می‌باشد، برای نخستین بار به عنوان معیار مقایسه شاخص‌ها تعریف شد و مورد استفاده قرار گرفت.

ارزش‌های اقتصادی صفات در شاخص‌های بهینه بر مبنای نتایج حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه (جدول ۳) محاسبه و در جدول ۴ ارایه شده‌اند. در شاخص اول، ارزش اقتصادی تمامی صفات وارد شده در مدل علیت مساوی یک و برای صفات دیگر ارزش صفر در نظر گرفته شد. در شاخص دوم، تنها برای صفات ردیف اول تجزیه علیت یعنی عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عرض دانه، ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای صفات دیگر ارزش صفر در نظر گرفته شد. در شاخص سوم، برای صفاتی که وراثت پذیری بیشتری از عملکرد داشتند، ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای صفات دیگر ارزش صفر در نظر گرفته شد. در شاخص‌های چهارم و پنجم، برای صفات ردیف اول در مدل تجزیه علیت، ضریب ۰/۵ و برای صفات ردیف دوم ارزش ۰/۲۵ منظور شد. برای شاخص‌های ششم و هفتم، به ترتیب اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی صفات ردیف اول حاصل از تجزیه علیت، به عنوان ارزش‌های اقتصادی این صفات در نظر گرفته شد. در شاخص هشتم، ضریب علیت صفاتی که به عنوان صفات ردیف اول در تجزیه علیت عملکرد دانه معرفی شدند (جدول ۳)، به عنوان ارزش‌های اقتصادی و برای بقیه صفات، ضریب همبستگی ژنتیکی این صفات با عملکرد دانه در بوته در صورت معنی‌دار بودن آن (جدول ۲)، به عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شد. در شاخص نهم، ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده مشابه شاخص هشتم بود، با این تفاوت که در این شاخص برای عرض دانه با داشتن ضریب علیت غیرمعنی‌دار، ارزش صفر در نظر گرفته شد. در شاخص دهم، ضریب علیت صفاتی که وراثت پذیری بالاتر از عملکرد

صفات مهم و مؤثر برای افزایش و اصلاح عملکرد دانه در بوته جهت استفاده در شاخص‌های گزینش در نظر گرفته شوند. صفت عرض دانه اثر مستقیم مثبت و غیرمعنی‌دار بر عملکرد دانه در بوته نشان داد. همبستگی ژنتیکی این صفت با عملکرد دانه در بوته نیز مثبت و غیر معنی‌دار بود. به طور کلی نتایج حاصل از تجزیه علیت نشان داد که گزینش بر مبنای صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه، تعداد روز تا رسیدگی و عرض دانه به عنوان معیارهای گزینشی جهت افزایش و اصلاح عملکرد دانه در بوته می‌توانند مورد توجه قرار گیرند.

بسیست شاخص گزینش مختلف بر اساس دو روش بهینه و پایه با ده ترکیب مختلف از صفات مورد بررسی به همراه ارزش‌های اقتصادی (جدول ۴)، محاسبه شد که نتایج در جداول ۵ و ۶ آورده شده‌اند.

در شاخص اول، بیشترین پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار از شاخص (ΔH) از طریق وارد کردن اطلاعات حاصل از تمام صفات وارد شده در مدل تجزیه علیت به چرخه انتخاب حاصل شد. ارزش‌های اقتصادی برای تمام صفات وارد شده در مدل مساوی یک و برای دیگر صفات ارزش صفر در نظر گرفته شد (جدول ۴).

ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی (R_{Hi})، پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار از شاخص (ΔH) و همچنین ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص (CV_1) در حد بسیار مطلوبی بود، اما سودمندی نسبی (RE) این شاخص در مقایسه با شاخص‌های دیگر در حد بسیار پایینی بود چرا که در بین شاخص‌ها پیشرفت ژنتیکی کمی را برای صفت عملکرد دانه نشان داد. پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای طول دانه، عرض دانه و عرض برگ پرچم بسیار ناچیز و برای صفات دیگر در حد مطلوب بود، اما برای ارتفاع بوته و زمان رسیدگی پیشرفت بسیار زیادی در جهت افزایش ارتفاع بوته و زمان رسیدگی (به ترتیب $8/71$ سانتیمتر و $2/06$ روز) به دست آمد (جدول‌های ۵ و ۶). از آنجا که کوتاهی ارتفاع و زودرسی در برنج صفات مطلوبی محسوب می‌شوند، به این ترتیب این شاخص از این نظر نامطلوب تشخیص داده شد.

ترتیب با $0/983$ و $0/811$ بیشترین و کمترین میزان وراثت پذیری عمومی را در بین صفات داشتند. میزان بالای وراثت پذیری شاخص برداشت نشان می‌دهد که واریانس ژنتیکی سهم بسیار زیادی از تغییرات فنوتیپی را توجیه می‌نماید. در بین صفات مورد مطالعه، علاوه بر شاخص برداشت، صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد کل دانه در خوشه و عملکرد بیولوژیک نیز وراثت پذیری عمومی بالاتری نسبت به عملکرد دانه در بوته نشان دادند (جدول ۱).

بررسی روابط همبستگی بین عملکرد دانه در بوته و دیگر صفات مورد مطالعه نشان داد که همبستگی ژنتیکی بین عملکرد دانه در بوته با صفات شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه، تعداد خوشه، طول برگ پرچم و تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار و با صفات تعداد کل دانه در خوشه، طول خوشه، عرض دانه، طول دانه، عرض برگ پرچم و ارتفاع بوته غیر معنی‌دار بود. (جدول ۲). لازم به توضیح است که اگر چه صفاتی نظیر تعداد روز تا رسیدگی، طول برگ پرچم، تعداد خوشه و حتی وزن صد دانه همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند، معادالک مقادیر این همبستگی‌ها پایین است و تنها به دلیل تعداد زیاد افراد مورد مطالعه، این مقادیر از نظر آماری معنی‌دار شده‌اند. به این دلیل، از تجزیه علیت برای شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد دانه و محاسبه میزان اثرات مستقیم و غیر مستقیم آنها استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عرض دانه در حدود $83/25$ درصد از تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه کردند و به عنوان متغیرهای علت ردیف اول عملکرد دانه در مدل تجزیه علیت انتخاب شدند. در مرحله بعد با در نظر گرفتن هر یک از این سه متغیر به عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به عنوان متغیرهای مستقل، رگرسیون گام به گام جداگانه‌ای برای هر کدام از متغیرهای فوق انجام شد (جدول ۳). با توجه به نتایج تجزیه علیت می‌توان گفت که صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با اثرات مستقیم بالا، همبستگی‌های ژنتیکی مثبت و معنی‌دار و میزان بالای وراثت پذیری می‌توانند به عنوان

جدول ۱- میانگین ارزش‌های فنوتیپی والدین، بوته‌های F_1 ، جمعیت F_3 و وراثت پذیری عمومی صفات مورد مطالعه

صفات ^a	والد نر (هاشمی) (m ± S.E.)	والد ماده (کادوس) (m ± S.E.)	F_1 (m ± S.E.)	F_3 (m ± S.E.)	وراثت پذیری عمومی (h_b^2)
PH	۱۴۷/۵۲ ± ۰/۷۴	۱۲۰/۰ ± ۰/۵۵	۱۵۱/۸۳ ± ۱/۰۵	۱۳۹/۸ ± ۱/۷۷	۰/۹۸۰
PL	۲۸/۴۲ ± ۰/۴۸	۲۸/۹۳ ± ۰/۵۷	۳۴/۱۷ ± ۰/۲۸	۳۱/۴۶ ± ۰/۳۵	۰/۸۵۲
FL	۳۳/۰ ± ۰/۹۵	۳۰/۹۰ ± ۰/۴۹	۳۸/۵۷ ± ۰/۵۳	۳۲/۹۷ ± ۰/۶۵	۰/۹۰۵
FW	۰/۸۳۳ ± ۰/۰۲	۱/۳۷ ± ۰/۰۲	۱/۲۳ ± ۰/۰۴	۱/۱۲ ± ۰/۰۲	۰/۸۱۱
PP	۱۲/۳۳ ± ۰/۴۸	۱۶/۷۷ ± ۰/۴۸	۱۹/۷۷ ± ۰/۳۶	۱۶/۳۲ ± ۰/۴۰	۰/۸۹۴
MD	۱۲۱/۷۷ ± ۰/۱۸	۱۲۴/۷۷ ± ۰/۴۸	۱۲۲/۷۷ ± ۰/۳۶	۱۲۵/۴۱ ± ۰/۵۰	۰/۹۵۵
GP	۱۰۲/۰ ± ۱/۷۶	۱۲۸/۰ ± ۱/۴۵	۹۱/۳۳ ± ۱/۴۳	۸۹/۷۷ ± ۲/۷۳	۰/۹۷۰
SP	۱۱۴/۰ ± ۱/۷۶	۱۴۶/۷۷ ± ۱/۸۰	۱۲۲/۷۷ ± ۱/۴۹	۱۵۴/۸۵ ± ۳/۶۳	۰/۹۸۱
GW	۲/۴۳ ± ۰/۰۳	۲/۴۹ ± ۰/۰۶	۲/۸۷ ± ۰/۰۲	۲/۳۱ ± ۰/۰۷	۰/۹۲۸
GY	۲۹/۲۲ ± ۰/۵۲	۳۳/۹۸ ± ۱/۲۳	۳۴/۳ ± ۰/۴۱	۲۷/۳۹ ± ۱/۰۷	۰/۹۳۱
BM	۶۲/۸۲ ± ۰/۶۱	۶۹/۵۷ ± ۱/۴۳	۷۰/۸۳ ± ۰/۶۶	۷۹/۷۷ ± ۲/۳۸	۰/۹۷۸
HI	۴۶/۴۸ ± ۰/۳۷	۴۸/۷۴ ± ۰/۷۶	۴۸/۴۱ ± ۰/۱۵	۳۴/۳۳ ± ۱/۱۶	۰/۹۸۳
GL	۷/۳۵ ± ۰/۰۳	۷/۷۷ ± ۰/۰۶	۷/۹۷ ± ۰/۰۷	۷/۲۹ ± ۰/۰۵	۰/۸۹۹
GB	۱/۸۷ ± ۰/۰۲	۱/۸۷ ± ۰/۰۱	۱/۹۳ ± ۰/۰۱	۱/۷۵ ± ۰/۰۱	۰/۹۳۱

PH: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، PL: طول خوشه (سانتی‌متر)، FL: طول برگ پرچم (سانتی‌متر)، FW: عرض برگ پرچم (میلی‌متر)، PP: تعداد خوشه، MD: تعداد روز تا رسیدگی، GP: تعداد دانه پر در خوشه، SP: تعداد کل دانه در خوشه، GW: وزن صد دانه (گرم)، GY: عملکرد دانه در بوته (گرم)، BM: عملکرد بیولوژیک (گرم)، HI: شاخص برداشت (درصد)، GL: طول دانه (میلی‌متر)، GB: عرض دانه (میلی‌متر).

جدول ۲- همبستگی ژنتیکی بین صفات مطالعه شده در جمعیت F_3

صفات ^a	PH	PL	FL	FW	PP	MD	GP	SP	GW	GY	BM	HI	GL	GB
PH	۱													
PL	۰/۴۹۳ ^{**}	۱												
FL	۰/۰۹۵ ^{NS}	۰/۵۴۹ ^{**}	۱											
FW	۰/۰۳۸ ^{NS}	۰/۱۷۴ ^{NS}	۰/۳۶۲ ^{**}	۱										
PP	-۰/۱۵۲ ^{NS}	-۰/۰۲۷ ^{NS}	۰/۰۸۱ ^{NS}	-۰/۱۲۶ ^{NS}	۱									
MD	۰/۲۲۲ [*]	۰/۲۹۷ ^{**}	۰/۲۵۸ ^{**}	۰/۲۱۴ [*]	-۰/۰۰۵ ^{NS}	۱								
GP	-۰/۰۷۴ ^{NS}	۰/۱۴۵ ^{NS}	۰/۳۰۷ ^{**}	۰/۲۶۸ ^{**}	-۰/۱۴۵ ^{NS}	۰/۰۲۰ ^{NS}	۱							
SP	۰/۰۵۲ ^{NS}	۰/۴۵۱ ^{**}	۰/۴۶۸ ^{**}	۰/۴۵۴ ^{**}	-۰/۲۰۲ [*]	۰/۲۸۲ ^{**}	۰/۶۳۹ ^{**}	۱						
GW	۰/۰۸۸ ^{NS}	۰/۱۳۵ ^{NS}	۰/۱۸۰ ^{NS}	۰/۰۴۱ ^{NS}	-۰/۱۴۱ ^{NS}	-۰/۱۴۳ ^{NS}	۰/۳۲۴ ^{**}	۰/۲۰۳ [*]	۱					
GY	۰/۰۷۰ ^{NS}	۰/۱۵۳ ^{NS}	۰/۱۹۰ [*]	۰/۰۹۸ ^{NS}	۰/۲۹۹ ^{**}	-۰/۱۸۲ [*]	۰/۴۶۴ ^{**}	۰/۱۵۸ ^{NS}	۰/۳۶۴ ^{**}	۱				
BM	۰/۲۵۳ ^{**}	۰/۳۸۹ ^{**}	۰/۳۱۲ ^{**}	۰/۱۱۱ ^{NS}	۰/۵۴۹ ^{**}	۰/۱۴۳ ^{NS}	۰/۲۱۲ [*]	۰/۲۳۷ [*]	۰/۰۳۶ ^{NS}	۰/۵۷۸ ^{**}	۱			
HI	-۰/۲۴۹ ^{**}	-۰/۱۹۲ [*]	-۰/۰۷۲ ^{NS}	-۰/۰۵۲ ^{NS}	-۰/۰۴۹ ^{NS}	-۰/۳۸۳ ^{**}	۰/۴۲۷ ^{**}	۰/۰۴۸ ^{NS}	۰/۴۸۲ ^{**}	۰/۶۰۹ ^{**}	-۰/۱۴۶ ^{NS}	۱		
GL	۰/۰۷۸ ^{NS}	-۰/۰۳۶ ^{NS}	-۰/۰۳۳ ^{NS}	-۰/۰۳۲ ^{NS}	-۰/۰۲۰ ^{NS}	-۰/۱۶۷ ^{NS}	-۰/۱۵۶ ^{NS}	-۰/۱۴۸ ^{NS}	۰/۲۶۴ ^{**}	۰/۰۹۸ ^{NS}	۰/۰۶۱ ^{NS}	۰/۰۵۲ ^{NS}	۱	
GB	-۰/۰۱۳ ^{NS}	-۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۵۹ ^{NS}	۰/۰۱۷ ^{NS}	-۰/۰۱۷ ^{NS}	۰/۰۱۷ ^{NS}	۰/۰۹۱ ^{NS}	۰/۰۹۵ ^{NS}	۰/۲۶۳ ^{**}	۰/۱۱۹ ^{NS}	-۰/۰۷۱ ^{NS}	۰/۱۱۱ ^{NS}	-۰/۰۶۰ ^{NS}	۱

^a: صفات مورد مطالعه در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ^{NS}: غیر معنی‌دار، *^{*}: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ^{**}: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۳- میزان اثرات مستقیم (اعدادی که زیر آنها خط کشیده شده است) و اثرات غیر مستقیم متغیرهای علت رده اول و دوم عملکرد دانه در مدل تجزیه علیت

میزان اثر مستقیم روی عرض دانه (GB)	اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر روی شاخص برداشت (HI)			اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر روی عملکرد بیولوژیک (BM)				اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر روی عملکرد دانه (GY)			
	GP	PH	SP	MD	GW	GP	PH	PL	GB	BM	HI
۰/۱۱۹	۰/۱۱۳	-۰/۱۵۵	-۰/۰۰۵	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
۰/۰۳۲	-۰/۱۸۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۵۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
۰/۰۷۴	۰/۲۹۱	-۰/۰۰۹	-۰/۲۴۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴	۰/۱۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
-۰/۰۵۲	۰/۰۰۹	-۰/۰۴۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۵۲	-۰/۰۵۲	۰/۱۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
۰/۲۶۳	۰/۱۴۷	-۰/۰۱۶	-۰/۰۴۹	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶

۳: صفات مورد مطالعه در جدول ۱ معرفی شده‌اند

جدول ۴- ارزش‌های اقتصادی نسبی صفات برای محاسبه شاخص‌های گزینشی

صفات	ارزش‌های اقتصادی نسبی برای شاخص‌های گزینشی مختلف									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
PH	۱	۰	-۱	-۰/۲۵	-۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
PL	۱	۰	۰	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FL	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FW	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
PP	۱	۰	۰	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰/۲۹۹	۰/۲۹۹	۰
MD	۱	۰	۱	-۰/۲۵	-۰/۲۵	۰	۰	-۰/۱۸۲	-۰/۱۸۲	-۰/۱۸۲
GP	۱	۰	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰	۰	۰/۴۶۴	۰/۴۶۴	۰/۴۶۴
SP	۱	۰	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
GW	۱	۰	۰	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰/۳۶۴	۰/۳۶۴	۰
GY	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
BM	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۶۸۲	۰/۶۸۶	۰/۶۸۶	۰/۶۸۶	۰/۶۸۶
HI	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۳	۰/۶۹۹	۰/۶۹۹	۰/۶۹۹	۰/۶۹۹
GL	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
GB	۱	۱	۰	۰/۵	۰	۰/۰۸۱	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰	۰

۴: صفات مورد مطالعه در جدول ۱ معرفی شده‌اند.

جدول ۵- میزان پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در اثر استفاده از شاخص بهینه (Δ) بر مبنای شدت انتخاب ۱۰ درصد ($k=1/176$). R_{HI} همبستگی بین شاخص (I) و ارزش اصلاحی (H)، ΔH پاسخ مورد انتظار از شاخص، CV_I ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص و RE سودمندی نسبی شاخص مورد نظر نسبت به گزینش بر مبنای عملکرد می‌باشند.

پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در هر شاخص (Δ)

شاخص ^a	PH	PL	FL	FW	PP	MD	GP	SP	GW	GY	BM	HI	GL	GB	R_{HI}	ΔH	RE	CV_I
۱	۸/۷۱	۳/۳۴	-۵/۸۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۲/۰۶	۳۸/۳۹	۵۴/۹۲	۰/۲۷	۹/۶۵	۲۱/۳۴	۵/۱۵	-۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۹۸۶	۱۴۳/۹۵	۰/۶۰	۱۲/۳۹
۲	۳/۲۴	۱/۶۷	۳/۰۵	۰/۰۲	۲/۹۱	-۰/۹۱	۲۱/۸۸	۱۴/۹۲	۰/۲۵	۱۴/۹۱	۲۸/۸۳	۹/۶۹	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۸۲	۵۳/۴۲	۰/۹۴	۱۸/۹۱
۳	-۵/۵۰	۱/۹۱	۵/۳۱	۰/۱۰	۰/۱۶	۱/۱۲	۲۲/۰۳	۵۵/۲۴	۰/۲۵	۹/۱۵	۱۶/۳۵	۷/۹۸	-۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۹۸۶	۱۳۷/۳۷	۰/۵۷	۲۱/۶۷
۴	-۲/۷۸	۱/۹۳	۴/۷۲	۰/۰۷	۱/۳۸	-۰/۴۹	۳۷/۵۵	۴۱/۲۳	۰/۲۹	۱۳/۱۱	۲۲/۴۳	۱۰/۵۰	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۸۱	۵۱/۰۵	۰/۸۲	۲۸/۷۸
۵	-۳/۱۳	۱/۷۸	۴/۵۷	۰/۰۸	۱/۱۷	-۰/۵۸	۳۸/۱۶	۴۱/۶۳	۰/۲۹	۱۳/۰۷	۲۱/۶۷	۱۰/۸۱	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۸۱	۵۰/۱۸	۰/۸۲	۳۱/۹۹
۶	۳/۱۲	۱/۶۲	۲/۹۷	۰/۰۲	۲/۷۹	-۰/۰۲	۲۲/۲۰	۱۴/۲۰	۰/۲۵	۱۵/۱۸	۲۷/۹۷	۱۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۸۱	۴۱/۳۴	۰/۹۵	۱۹/۶۲
۷	۳/۱۱	۱/۶۲	۲/۹۷	۰/۰۲	۲/۷۹	-۰/۰۲	۲۲/۲۰	۱۴/۲۰	۰/۲۵	۱۵/۱۸	۲۷/۹۶	۱۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۸۱	۴۱/۵۱	۰/۹۵	۱۹/۶۱
۸	۰/۸۹	۱/۵۶	۳/۶۸	۰/۰۴	۱/۸۳	-۰/۹۹	۳۵/۶۵	۲۶/۸۲	۰/۳۰	۱۴/۴۵	۲۴/۲۲	۱۱/۳۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۸۱	۵۶/۳۶	۰/۹۱	۲۲/۷۶
۹	۰/۹۰	۱/۵۶	۳/۶۸	۰/۰۴	۱/۸۳	-۰/۹۹	۳۵/۶۵	۲۶/۸۲	۰/۳۰	۱۴/۴۵	۲۴/۲۲	۱۱/۳۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۸۱	۵۶/۳۶	۰/۹۱	۲۲/۷۹
۱۰	۱/۰۶	۱/۵۶	۳/۶۵	۰/۰۵	۱/۶۰	-۰/۹۹	۳۶/۲۷	۲۷/۶۳	۰/۳۰	۱۴/۴۲	۲۳/۷۵	۱۱/۴۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۸۳	۵۵/۷۴	۰/۹۰	۲۳/۶۱

^a شاخص‌های فوق بر مبنای ضرایب اقتصادی موجود در جدول ۴ محاسبه شده‌اند.

جدول ۶- میزان پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در اثر استفاده از شاخص پایه (Δ) بر مبنای شدت انتخاب ۱۰ درصد ($k=1/176$). R_{HI} همبستگی بین شاخص (I) و ارزش اصلاحی (H)، ΔH پاسخ مورد انتظار از شاخص، CV_I ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص و RE سودمندی نسبی شاخص مورد نظر نسبت به گزینش بر مبنای عملکرد می‌باشند.

ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در هر شاخص پیشرفت (Δ)

شاخص ^a	PH	PL	FL	FW	PP	MD	GP	SP	GW	GY	BM	HI	GL	GB	R_{HI}	ΔH	RE	CV_I
۱	۸/۶۴	۲/۱۱	۵/۵۷	۰/۱۰	-۰/۲۵	۲/۰۶	۳۸/۳۵	۵۴/۴۴	۰/۲۸	۹/۸۰	۲۱/۱۴	۵/۳۰	-۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۹۸۲	۱۴۳/۴	۰/۶۱	۱۲/۰۲
۲	۲/۹۴	۱/۴۱	۲/۷۸	۰/۰۲	۳/۱۱	-۰/۹۸	۲۱/۶۱	۱۵/۱۲	۰/۲۷	۱۴/۹۴	۲۸/۳۹	۹/۶۹	۰/۰۸۲	۰/۰۱	۰/۹۷۴	۵۳/۰۳	۰/۹۴	۲۲/۱۸
۳	-۵/۳۳	۱/۶۵	۴/۹۸	۰/۱	-۰/۴۰	۱/۱۲	۴۱/۷۰	۵۴/۶۱	۰/۲۶	۹/۳۳	۱۶/۳۶	۸/۰۴	-۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۹۸۰	۱۳۶/۴۹	۰/۵۸	۲۱/۷۲
۴	-۲/۷۵	۱/۶۲	۴/۳۴	۰/۰۷	۱/۶۵	-۰/۵۳	۳۶/۸۲	۴۰/۶۸	۰/۳۰	۱۳/۱۸	۲۲/۲۰	۱۰/۴۴	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۷۰	۵۰/۶۱	۰/۸۳	۳۲/۷۹
۵	-۳/۰۹	۱/۴۸	۴/۱۸	۰/۰۷	۱/۴۴	-۰/۶۱	۳۷/۴۱	۴۰/۸۷	۰/۳۱	۱۳/۱۳	۲۱/۴۶	۱۰/۷۳	-۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۷۰	۴۹/۷۴	۰/۸۲	۳۷/۶۸
۶	۲/۸۱	۱/۳۴	۲/۷۱	۰/۰۲	۳/۰۰	-۰/۰۹	۲۱/۸۷	۱۴/۶۰	۰/۲۷	۱۵/۱۸	۲۷/۵۱	۱۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۷۰	۴۱/۰۰	۰/۹۵	۲۲/۳۰
۷	۲/۸۰	۱/۳۴	۲/۷۱	۰/۰۲	۳/۰۰	-۰/۰۹	۲۱/۸۸	۱۴/۶۰	۰/۲۷	۱۵/۱۸	۲۷/۵۱	۱۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۷۰	۴۱/۱۷	۰/۹۵	۲۳/۲۸
۸	۰/۸۰	۱/۲۸	۳/۳۷	۰/۰۵	۲/۰۷	-۰/۱۰	۳۵/۰۶	۲۶/۷۵	۰/۳۱	۱۴/۴۶	۲۳/۱۹	۱۱/۲۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۷۰	۵۵/۹۰	۰/۹۱	۲۵/۶۵
۹	۰/۸۰	۱/۲۸	۳/۳۷	۰/۰۵	۲/۰۷	-۰/۱۰	۳۵/۰۶	۲۶/۷۴	۰/۳۱	۱۴/۴۶	۲۳/۱۹	۱۱/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۷۰	۵۵/۹۰	۰/۹۱	۲۵/۶۸
۱۰	۰/۹۸	۱/۳۰	۳/۴	۰/۰۵	۱/۸۴	-۰/۰۱	۳۵/۸	۲۷/۶۰	۰/۳۲	۱۴/۴۶	۲۳/۵۰	۱۱/۳۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۷۰	۵۵/۳۳	۰/۹۱	۲۶/۴۶

^a شاخص‌های فوق بر مبنای ضرایب اقتصادی موجود در جدول ۴ محاسبه شده‌اند.

بالاتر از صفت عملکرد دانه محاسبه شد، به طوری که برای این صفات ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای صفات دیگر ارزش صفر در نظر گرفته شد، به استثنای ارتفاع بوته که با توجه به پیشرفت ژنتیکی زیاد به دست آمده توسط دو شاخص قبلی، ضریب منفی یک در نظر گرفته شد. در این شاخص، پاسخ مورد انتظار از شاخص در حد بالایی بود، اما سودمندی نسبی آن کمتر از دیگر شاخص‌ها بود و در بین تمامی شاخص‌ها کمترین پیشرفت ژنتیکی را برای صفت عملکرد دانه نتیجه داد. علاوه بر آن، در بین شاخص‌های محاسبه شده کمترین پیشرفت ژنتیکی را برای بیوماس و شاخص برداشت ارابه داد (جدول‌های ۵ و ۶).

ضرایب اقتصادی که برای شاخص چهار و پنج در نظر گرفته شد بر مبنای اهمیت کلیه صفات وارد شده در تجزیه علیت عملکرد دانه بود. به طوری که برای صفات ردیف اول که اهمیت بیشتری در افزایش عملکرد دانه داشتند، ضریب ۰/۱۵ و برای صفات ردیف دوم ارزش ۰/۲۵ منظور شد. ضرایب در نظر گرفته شده برای صفات، هم علامت با همبستگی ژنتیکی آنها با صفت عملکرد دانه در بوته بود. از آنجا که کوتاهی ارتفاع در برنج صفت مطلوبی محسوب می‌شود، علامت ارزش اقتصادی ارتفاع بوته در هر دو شاخص فوق منفی در نظر گرفته شد (جدول ۴). پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت در هر دو شاخص تقریباً نزدیک به هم بودند، اما هر دو شاخص از نظر کارایی نسبی (RE) و ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص (CV_i) در حد مناسبی قرار نداشتند (جدول‌های ۵ و ۶).

برای شاخص‌های شش و هفت، به ترتیب اثرات مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی صفات ردیف اول حاصل از تجزیه علیت، به عنوان ارزش‌های اقتصادی این صفات در نظر گرفته شد (جدول ۴). نتایج حاصل از هر دو شاخص تقریباً نزدیک به هم بودند، به طوری که هر دو شاخص بالاترین کارایی نسبی (RE) را ارابه دادند و از نظر ضریب تغییرات فنوتیپی (CV_i) نیز در حد مطلوبی بودند، اما کمترین پیشرفت ژنتیکی را برای تعداد دانه‌های پر و کل دانه‌ها در خوشه در

شاخص دوم بر مبنای صفات حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه محاسبه شد. این صفات دارای اثرات مستقیم و غیر مستقیم بالا بر روی عملکرد دانه بودند و لذا به عنوان مؤثرترین صفات جهت افزایش و اصلاح عملکرد دانه در نظر گرفته شدند. در این شاخص، برای تمام صفات ردیف اول ارزش اقتصادی یکسان و مساوی یک و برای دیگر صفات مورد مطالعه ارزش صفر در نظر گرفته شد (جدول ۴). پاسخ مورد انتظار از شاخص، از بسیاری از شاخص‌های دیگر کمتر بود، چرا که فقط صفات ردیف اول که ارزش اقتصادی یک داشتند در ارزش ارثی شاخص وارد شدند. در این شاخص نیز همبستگی ارزش اصلاحی و شاخص و همچنین ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص در حد خوبی بود. برای صفت عملکرد دانه در بوته پیشرفت ژنتیکی بیشتری نسبت به شاخص اول به دست آمد که بالا بودن سودمندی نسبی این شاخص در مقایسه با شاخص اول، گویای این مطلب می‌باشد. در این شاخص نیز همانند شاخص اول، پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای عرض دانه، طول دانه و عرض برگ پرچم بسیار ناچیز و برای صفات دیگر در حد مطلوبی بود، اما برای صفت ارتفاع بوته پیشرفت مطلوب‌تری در مقایسه با شاخص اول به دست آمد، چرا که میزان افزایش ارتفاع (به عنوان یک خصوصیت نامطلوب) در اثر استفاده از این شاخص در حدود ۳ سانتیمتر بوده و در حدود ۵ سانتیمتر کمتر از شاخص اول بود (جدول‌های ۵ و ۶). با مقایسه این دو شاخص می‌توان دریافت که افزایش تعداد صفات در شاخص دلیلی بر افزایش سودمندی نسبی شاخص نیست. آنچه که در سودمندی نسبی شاخص می‌تواند مؤثر باشد، اهمیت صفات وارد شده به شاخص است (۱۶).

در انتخاب صفات وارد شده در شاخص، وراثت پذیری صفات می‌تواند به عنوان معیار مهمی مد نظر قرار گیرد. در صورتی که صفات وارد شده در شاخص وراثت پذیری پایینی داشته باشند، باعث پوشاندن همبستگی ژنتیکی صفات می‌شوند و از آنجائی که همبستگی ژنتیکی صفات در تعیین صفات وارد شده در شاخص نقش مؤثری دارند، بنابراین اهمیت وراثت پذیری مورد تأکید قرار می‌گیرد. با عنایت به این موضوع، شاخص سوم بر مبنای صفاتی با وراثت پذیری

است، میزان بالای وراثت پذیری صفات وارد شده در شاخص و همبستگی ژنتیکی معنی‌دار این صفات با عملکرد دانه می‌باشد (۴). نتایج حاصل از این تحقیق نیز این مطلب را تأیید نمود، به طوری که مطلوب‌ترین شاخص‌ها، شاخص‌هایی بودند که بر مبنای صفات با وراثت پذیری بالا و همبستگی ژنتیکی معنی‌دار با عملکرد دانه محاسبه شدند. بر این اساس در هر دو روش بهینه و پایه، به ترتیب شاخص‌های هشتم، نهم و دهم به عنوان برترین شاخص‌ها معرفی می‌گردند. بعلاوه، مقایسه شاخص‌های بهینه (جدول ۵) و پایه (جدول ۶) نشان داد که ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی (R_{HI}) و پاسخ مورد انتظار از شاخص (ΔH) در شاخص‌های بهینه اندکی بیشتر از شاخص‌های پایه بود، اما پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار صفات (Δ)، برتری نسبی (RE) و ضریب تغییرات فنوتیپی شاخص (CV_I) در هر دو روش بهینه و پایه تقریباً مشابه بود. از آنجا که در شاخص‌های پایه پارامترهای ژنتیکی برآورد نمی‌شوند و لذا تهیه این شاخص‌ها به سادگی امکان‌پذیر بوده و نتایج حاصل از آنها نیز به سهولت قابل تفسیر است، به این ترتیب استفاده از یکی از شاخص‌های پایه هشتم، نهم و یا دهم به عنوان بهترین شاخص‌ها برای اصلاح جمعیت پیشنهاد می‌شوند:

شاخص هشتم

$$I=0.299PP-0.182MD+0.464GP+0.364GW+GY+0.686BM+0.699HI+0.09GB$$

شاخص نهم

$$I=0.299PP-0.182MD+0.464GP+0.364GW+GY+0.686BM+0.699HI$$

شاخص دهم

$$I=-0.182MD+0.464GP+GY+0.686BM+0.699HI$$

در این شاخص‌ها PP تعداد خوشه در بوته، MD روز تا رسیدگی، GP تعداد دانه پر در خوشه، GW وزن صد دانه (گرم)، GY عملکرد دانه در بوته، BM عملکرد بیولوژیک (گرم)، HI شاخص برداشت و GB عرض دانه می‌باشند.

نتایج تقریباً مشابهی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است. قنادها و همکاران (۱۳۷۷) با بررسی روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در نسل‌های F₂ و F₃ حاصل از سه تلاقی مختلف در برنج نشان دادند که تعداد خوشه در

بین کلیه شاخص‌ها داشتند. بعلاوه پیشرفت زیادی نیز در افزایش ارتفاع بوته نشان دادند که مطلوب نبود.

در شاخص هشتم، ضریب علیت صفاتی که به عنوان صفات ردیف اول در تجزیه علیت عملکرد دانه معرفی شدند، به عنوان ارزش‌های اقتصادی و برای بقیه صفات، ضریب همبستگی ژنتیکی این صفات با عملکرد دانه در بوته در صورت معنی‌دار بودن آن، به عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شد (جدول ۴). در این شاخص پیشرفت ژنتیکی مطلوبی برای عملکرد دانه و صفت ارتفاع بوته مشاهده شد. بعلاوه درجه دقت (R_{HI}) و سودمندی نسبی (RE) شاخص در حد بسیار خوبی بود و به ویژه از نظر شاخص برداشت و وزن هزار دانه نیز برتری محسوسی نسبت به شاخص‌های قبلی داشت که در مجموع این شاخص را نسبت به دیگر شاخص‌ها برتر می‌نمود.

در شاخص نهم، ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده مشابه شاخص هشتم بود، با این تفاوت که در این شاخص برای عرض دانه با داشتن ضریب علیت غیرمعنی‌دار، ارزش صفر در نظر گرفته شد. از نظر هر پنج معیار مقایسه‌ای تفاوت محسوسی بین دو شاخص مشاهده نشد (جدول‌های ۵ و ۶). لذا هر دو شاخص می‌توانند از جمله شاخص‌های برتر معرفی گردند.

در شاخص دهم، ضریب علیت صفاتی که وراثت پذیری بالاتری از عملکرد داشتند به عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شد و برای سایر صفات از ضریب همبستگی ژنتیکی آنها (در صورت معنی‌دار بودن) به عنوان ارزش اقتصادی استفاده گردید (جدول ۴). این شاخص تنها از نظر ضریب همبستگی بین شاخص و ارزش اصلاحی در مقایسه با شاخص‌های هشتم و نهم برتر بود، اما از نظر معیارهای مقایسه‌ای دیگر و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت به ویژه عملکرد دانه و ارتفاع بوته، شاخص‌های هشتم و نهم برتر بودند. اما در کل در مقایسه با شاخص‌های دیگر، این شاخص نیز می‌تواند به عنوان یک شاخص برتر معرفی گردد.

همان طور که اشاره شد، افزایش تعداد صفات در شاخص نمی‌تواند دلیلی بر افزایش سودمندی نسبی شاخص باشد. از طرف دیگر آنچه که در کارایی یک شاخص مهم

علیت و یا صفاتی که وراثت پذیری بالایی داشته و همبستگی ژنتیکی معنی‌داری با عملکرد دارند، می‌تواند موجب اصلاح و پیشرفت ژنتیکی جمعیت گردد (۱۹).

به هر حال، برای حصول نتایج دقیق‌تر و آرایه شاخص‌های بهتر پیشنهاد می‌شود اولاً اندازه‌گیری صفات در سال‌ها و محیط‌های مختلفی انجام شود تا اثر متقابل ژنوتیپ × محیط محاسبه و وراثت پذیری‌های واقعی برآورد گردند، ثانیاً شاخص‌های دیگری نظیر شاخص‌های رابینسون و بیکر نیز محاسبه و کارایی این شاخص‌ها با شاخص‌های بهینه و پایه مقایسه شوند.

سپاسگزاری

از مدیریت و کلیه همکاران بخش اصلاح بذر مؤسسه تحقیقات برنج کشور و مدیر قطب علمی برنج کشور سپاسگزاری می‌گردد.

بوته و تعداد دانه پر در خوشه بیشترین اثر مستقیم را بر روی عملکرد دانه دارند و می‌توانند برای اصلاح عملکرد دانه در برنج مورد استفاده قرار گیرند (۳). رحیم سروش و همکاران (۱۳۸۳) نیز گزینش بر مبنای تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه را برای اصلاح عملکرد دانه در برنج پیشنهاد دادند (۲). ساراجی و همکاران (۱۹۹۷) انتخاب غیر مستقیم بر مبنای تعداد دانه پر در خوشه و شاخص برداشت را برای اصلاح عملکرد دانه مفید دانستند (۲۱). به اعتقاد سورک و بسر (۲۰۰۳) صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از جمله صفات بسیار مهم و مؤثر در جهت افزایش و بهبود عملکرد دانه می‌باشند (۲۴). ربیعی و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعات خود بر روی ۲۹۴ گیاه F_2 برنج به حصول نتایج مشابه اشاره نمودند و بیان داشتند که گزینش همزمان بر مبنای صفات ردیف اول مدل تجزیه

منابع مورد استفاده

REFERENCES

۱. رضائی، ع. ۱۳۷۳. شاخص‌های انتخاب در اصلاح نباتات. مجموعه مقالات کلیدی سومین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تبریز. ۱۲ تا ۱۷ شهریور ۱۳۷۳. صفحات ۱۳۴-۱۰۵.
۲. رحیم سروش، ح.، م. مصباح و ع. حسین زاده. ۱۳۸۳. مطالعه روابط میان عملکرد و اجزای عملکرد در برنج. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه ۹۹۳-۹۸۳.
۳. قنادها، م.، س. بختیاری و غ. کیانوش. ۱۳۷۷. بررسی روابط فیمابین اجزای عملکرد و عملکرد در برنج و تعیین وراثت پذیری این صفات. چکیده مقالات پنجمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، صفحه ۱۴۷.
4. Baker, R. J. 1986. Selection indices in plant breeding. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 218 P.
5. Baker, R. J. 1994. Breeding methods and selection indices for improved tolerance to biotic and abiotic stresses in cool season food legumes. *Euphytica* 73: 67-72.
6. Brim, C. A., H. W. Johnson, & C. C. Cockerham. 1959. Multiple selection criteria in soybean. *Agron. J.* 51: 42-46.
7. Dewy, D. R. & K. H. Lu. 1959. A correlation and path analysis of crested grass seed production. *Agron. J.* 51: 515-518.
8. Dolan, D. J., D. D. Stuthman, F. L. Kolb, & A. D. Hewings. 1996. Multiple trait selection in recurrent selection population in oat (*Avena sativa* L.). *Crop Sci.* 36: 1207-1211.
9. Falconer, D. S. 1989. Introduction to quantitative genetics. (Third Edition). Longman Scientific and Technical, New York. 415 p.
10. Grafius, J. E. 1965. A geometric approach to the selection index. P. 31-41. In: A geometric of plant breeding. Michigan State Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. 7.
11. Gravois, K. A. & R. S. Helms. 1992. Path analysis of rice yield component as affected by seeding rate. *Agron. J.* 84(1): 1-4.
12. Gravois, K. A. & R.W. McNew. 1993. Genetic relationship among and selection for rice yield and yield component. *Crop Sci.* 33: 249-252.

13. Johanson, B., C. O. Gardner, & K. C. Wrede. 1988. Application of an optimization model to multi-trait selection programs. *Crop Sci.* 28: 723-728.
14. Kauffman, K. D. & J. W. Dudley. 1979. Selection indices for grain yield, percent protein and Kernel Weight. *Crop Sci.* 19: 583-588.
15. Lin, C. Y. 1978. Index selection for genetic improvement of quantitative character. *Theor. Appl. Genet.* 52: 49-56.
16. Mishra, A. K. & R. B. Prasad. 1994. Genetic gain through to selection indices in dairy cows. *Indian J. Dairy Sci.* 47 (11): 950-953.
17. Moll, R. H., C. W. Stuber, & W. D. Hanson. 1975. Correlated response and response index selection involving yield and ear height of maize. *Crop Sci.* 15: 243-248.
18. Mukherjee, A. K., B. K. Mohapatra, & P. Nayak. 1996. The use of selection indices for identification of slow-blasting rice genotypes. *International Journal of Tropical Plant Diseases* 14 (2):179-187.
19. Rabiei, B., M. Valizadeh, B. Ghareyazie, & M. Moghaddam. 2004. Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. *Field Crops Research* 89: 359-367.
20. Samonte, S. O. P. B., L. T. Wilson, & A. M. McClung. 1998. Path analysis of yield and yield-related traits of fifteen diverse rice genotypes. *Crop Sci.* 38: 1130-1136.
21. Sarawgi, A. K., N. K. Rastogi, & D. K. Soni. 1997. Correlation and path analysis in rice accessions from Madhya Pradesh. *Field Crops Research* 52: 161-167.
22. Smith, H. F. 1936. A discriminant function for plant selection. *Ann. Eugen.* 7: 240-250.
23. Standard Evaluation System for Rice (SES). 1996. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
24. Surek, H. & N. Beser. 2003. Correlation and path coefficient analysis for yield-related traits in rice (*Oryza sativa* L.) under Thrace conditions. *Turk. J. Agric.* 27: 77-83.
25. Vansanford, D. A., T. W. Pfeiffer, & P. L. Cornelius. 1993. Selection index based on genetic correlation among environments. *Crop Sci.* 33: 1244-1248.
26. Williams, J. S. 1962. The evaluation of a selection index. *Biometrics* 18: 375-393.