doi: 10.22124/cr.2021. 15705.1568

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۹ (۳۲-۱۹)

گزینش لاین‌های نوترکیب پرمحصول و برتر نسل F_{11} برنج با استفاده از روش گزینش شاخصی

وحید جوکارفرد[۱] و بابک ربیعی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

مهم‌ترین هدف اصلاحی در بیش‌تر گیاهان زراعی، افزایش عملکرد دانه است، با این‌حال ماهیت ژنتیکی پیچیده عملکرد و تاثیرپذیری آن از صفات دیگر موجب می‌شود که گزینش مستقیم بر مبنای عملکرد دانه چندان موفقیت‌آمیز نباشد. از این‌رو، لازم است صفات دیگری با توارث ساده‌تر و وراثت‌پذیری بالاتر از عملکرد به‌عنوان معیارهای گزینشی معرفی شوند تا گزینش غیرمستقیم بر مبنای آن‌ها در نهایت بتواند موجب بهبود عملکرد دانه در جمعیت مورد مطالعه شود. هدف از این تحقیق، شناسایی و معرفی معیارهای گزینش مناسب به‌منظور اصلاح عملکرد دانه در یک جمعیت نسل F_{11} برنج با استفاده از شاخص گزینش پایه بود. مواد گیاهی تحقیق، ۱۴۱ لاین نوترکیب نسل F_{11} حاصل از تلاقی دو رقم برنج ایرانی سپیدرود و غریب بودند که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۷ کشت شدند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و تعداد خوشه در بوته، طول خوشه، تعداد دانه پر، پوک و تعداد کل دانه در خوشه، درصد باروری خوشه، وزن هزار دانه، طول، عرض و شکل دانه و عملکرد دانه بود. نتایج تجزیه علیت فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد که صفات تعـــداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه دارای بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار بر عملکرد دانه بودند. بررسی شاخص‌های انتخاب پایه و مقایسه آن‌ها بر مبنای معیارهای مختلف ارزیابی شده، به‌ویژه میزان پیشرفت ژنتیکی هر یک از صفات و سودمندی نسبی گزینش بر مبنای شاخص در مقایسه با گزینش مستقیم بر مبنای عملکرد دانه، نشان داد که استفاده از شاخص‌های گزینش پایه بر مبنای ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی معنی‌دار با عملکرد دانه و نیز ضرایب علیت صفات تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه، مطلوب‌ترین شاخص‌ها جهت گزینش لاین‌های پرمحصول در جمعیت نسل F_{11} مورد مطالعه بودند.

واژه‌های کلیدی: پیشرفت ژنتیکی، تجزیه علیت، سودمندی نسبی، همبستگی ژنوتیپی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

* نویسنده مسئول: rabiei@guilan.ac.ir

مقدمه

هدف اصلی در برنامه‌های اصلاحی بیش‌تر گیاهان زراعی، افزایش عملکرد دانه است. برای رسیدن به این مهم، ضروری است دانش ما از ژنتیک و اصلاح صفات کمی به‌ویژه عملکرد دانه و اجزای آن افزایش یابد. اصلاح عملکرد دانه باید بر اساس اصلاح مجموعه‌ای از صفات همبسته با آن صورت گیرد تا نتایج حاصل مطلوب باشد. اصلاح بر اساس یک صفت ممکن است بر سایر صفات تاثیر منفی داشته باشد که دلیل آن همبستگی بین صفات به‌دلیل پیوستگی و پلیوتروپی ژن‌های کنترل کننده صفات است (Falconer, 1989). به‌طور کلی، انتخاب مستقیم برای عملکرد معمولاً موثر نیست، زیرا وراثت‌پذیری این صفت به‌دلیل پیچیده بودن ماهیت ژنتیکی آن بسیار کم است. از این‌رو به‌نظر می‌رسد که انتخاب غیرمستقیم از طریق سایر صفات مرتبط با عملکرد و با وراثت‌پذیری بیش‌تر برای بهبود عملکرد دانه موثرتر باشد. بنابراین، برای اصلاح عملکرد دانه ابتدا لازم است صفات دارای ارتباط معنی‌دار با عملکرد و با وراثت‌پذیری بالا شناسایی شوند (Patel *et al.*, 2018).

استفاده از گزینش چندصفتی برای به‌دست آوردن بالاترین ارزش اقتصادی برای یک جمعیت در پژوهش‌های مختلفی استفاده شده است. مفیدترین روش گزینش برای بهبود عملکرد دانه و اجزای آن، استفاده از شاخص‌های گزینش است. در این روش، یک شاخص بر اساس چندین صفت با توجه به میزان اهمیت نسبی هر یک از صفات تهیه و سپس از آن برای گزینش گیاهان یا ژنوتیپ‌های برتر جمعیت استفاده می‌شود. از آن‌جایی که بهبود عملکرد دانه مهم‌ترین هدف به‌نژادی در گیاهان زراعی است، از این‌رو شاخص‌های گزینش باید شامل صفاتی باشند که در نهایت بتوانند موجب بهبود و اصلاح جمعیت مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه شوند. به این ترتیب، گزینش صفات موجود در شاخص‌ها و اهمیت نسبی هر یک از آن‌ها در تهیه شاخص‌های گزینشی بسیار مهم است. برای گزینش صفات می‌توان از روش‌های آماری مانند تحلیل رگرسیون چند متغیره، ضرایب همبستگی، تجزیه علیت و حتی پارامترهای ژنتیکی مانند وراثت‌پذیری استفاده کرد. به هر حال، در صورتی که شاخص گزینش مورد نظر بر اساس نوع صفات و ارزش‌های اقتصادی آن‌ها به‌درستی تهیه شود، می‌تواند در گزینش ژنوتیپ‌های برتر جمعیت برای بهبود ارزش ژنتیکی آن و در نهایت اصلاح جمعیت سودمند باشد (Falconer, 1989).

ربیعی و همکاران (Rabiei *et al.*, 2004) بیست شاخص گزینشی مختلف را برای اصلاح شکل دانه برنج در یک جمعیت F_2 بررسی کردند و نشان دادند که گزینش بر مبنای شاخص‌های بهینه می‌تواند به پاسخ بیش‌تری نسبت به شاخص‌های پایه منجر شود، اما این برتری معنی‌دار نبود و در نهایت استفاده از شاخص پایه را به‌دلیل سادگی ساختار و سهولت محاسباتی توصیه کردند.

فضلعلی‌پور و همکاران (Fazlalipour *et al.*, 2008) جهت به حداکثر رساندن ارزش اقتصادی در برنج، از گزینش همزمان برای چند صفت استفاده کردند و بیان داشتند که بهره‌گیری از یک شاخص بر مبنای صفات عملکرد زیستی، شاخص برداشت، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و تعداد خوشه در بوته، می‌تواند باعث افزایش ارزش اقتصادی جمعیت شود.

رحیمی و ربیعی (Rahimi and Rabiei, 2011) با مطالعه دو شاخص بهینه و پایه در یک جمعیت برنج نشان دادند که استفاده از شاخص‌های گزینشی با در نظر گرفتن ضرایب علیت (آثار مستقیم فنوتیپی) صفاتی مانند تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه بر عملکرد دانه به‌عنوان ارزش‌های اقتصادی، در اصلاح و بهبود ارزش ژنتیکی جمعیت مفید خواهد بود. آن‌ها همچنین بیان کردند که استفاده از دو شاخص بهینه و پایه، پیشرفت ژنتیکی تقریباً مشابهی برای صفات مورد مطالعه ارایه دادند، اما استفاده از شاخص پایه به‌دلیل سهولت محاسبات و تفسیر نتایج بر شاخص بهینه برتری داشت.

آلام و همکاران (Alam *et al.*, 2014) پس از بررسی همبستگی و تجزیه علیت در یک جمعیت برنج بیان داشتند که تعداد پنجه‌های بارور، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه، بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد برنج داشتند و در نتیجه این صفات را به‌عنوان شاخص‌های گزینش مناسب جهت اصلاح عملکرد برنج معرفی کردند.

دوی و همکاران (Devi *et al.*, 2017) با تحلیل ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در برنج بیان کردند که عملکرد دانه بیش‌ترین ارتباط مثبت را با تعداد دانه پر در خوشه، ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، تعداد پنجه‌های بارور و عرض برگ پرچم داشت که نشان دهنده اهمیت این صفات برای بهبود عملکرد است. تجزیه و تحلیل ضرایب علیت نیز نشان داد که وزن هزار دانه،

تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه اثر مستقیم مثبت بالایی بر عملکرد دانه داشتند و بنابراین استفاده از شاخص‌های گزینشی که شامل این صفات باشد، می‌تواند در اصلاح عملکرد دانه موثر باشد.

آلمو و همکاران (Almu *et al.*, 2019) ضمن بررسی تنوع ژنتیکی و همبستگی بین صفات در برنج، صفات تعداد پنجه کل در بوته، تعداد خوشه در بوته و وزن هزار دانه را به‌عنوان معیارهای گزینش مناسب جهت بهبود عملکرد دانه معرفی کردند. بهاتا و همکاران (Bhutta *et al.*, 2019) نیز جهت تهیه شاخص‌های گزینشی مناسب برای بهبود عملکرد دانه در برنج بیان کردند که همبستگی بین ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، وزن دانه در خوشه، تعداد خوشه و وزن هزار دانه با عملکرد دانه در تمام ژنوتیپ‌ها تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، وزن دانه در خوشه و سپس تعداد خوشه در بوته دارای اثر مستقیم مثبت و بالا در هر دو شرایط تنش و نرمال بودند. در نهایت، از مجموع نتایج حاصل از ضرایب همبستگی و تجزیه علیت، صفات وزن دانه در خوشه، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته را به‌عنوان شاخص‌های گزینش مناسب جهت بهبود مقاومت به خشکی معرفی کردند. کازرانی و همکاران (Kazerani *et al.*, 2019) نیز با استفاده از تجزیه علیت صفات در ۹۶ لاین جهش‌یافته برنج گزارش کردند که وزن هزار دانه به‌دلیل اثر مستقیم بالا بر عملکرد دانه و تعداد دانه پر به‌دلیل اثر غیرمستقیم بالا از طریق وزن هزار دانه، می‌توانند به‌عنوان صفات مهم برای افزایش عملکرد مورد توجه قرار گیرند.

با توجه به اهمیت گیاه برنج به‌عنوان یک گیاه استراتژیک در کشور و لزوم بهبود و افزایش عملکرد آن، این تحقیق اجرا شد که هدف از آن، بررسی روابط بین صفات، ارزیابی شاخص‌های گزینش مختلف و ارایه بهترین شاخص‌ها برای بهبود عملکرد دانه و در نهایت معرفی لاین‌های پرمحصول جهت ادامه برنامه به‌نژادی به‌منظور معرفی رقم در یک جمعیت F_{11} برنج بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق شامل ۱۴۱ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب نسل F_{11} حاصل از تلاقی دو رقم برنج بومی (غریب) و اصلاح شده (سپیدرود) بود. تلاقی بین والدین غریب و سپیدرود و تهیه نسل‌های مختلف تا رسیدن به نسل F_{11} قبلاً توسط رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2012)، ربیعی و همکاران (Rabiei *et al.*, 2014) و دانش‌گیلوایی و همکاران (Daneshgilvaei *et al.*, 2016) انجام شده بود. بذر لاین‌های مورد مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال زراعی ۱۳۹۷ کشت و کلیه عملیات زراعی شامل آبیاری، کوددهی، وجین و مبارزه با آفات و بیماری‌ها طبق توصیه موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرت‌هایی با ابعاد ۱×۴ متر انجام شد و فاصله بین بوته‌ها ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بود و در هر کرت چهار ردیف و در هر ردیف ۱۶بوته به‌صورت تک‌نشا کشت شد. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (NDF)، تعداد روز تا رسیدگی کامل (NDM)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد خوشه در بوته (NPP)، تعداد پنجه در بوته (NTP)، طول خوشه (PL)، تعداد دانه پر در خوشه (NGP)، تعداد دانه پوک در خوشه (NUGP)، تعداد کل دانه در خوشه (NSP)، درصد باروری خوشه (PFP)، وزن هزار دانه (TGW)، طول دانه (GL)، عرض دانه (GW)، شکل دانه (GS) و عملکرد دانه (GY) بودند که بر اساس دستورالعمل استاندارد ارزیابی صفات برنج (SES, 2005) اندازه‌گیری و ثبت شدند.

محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت تجزیه داده‌ها، ابتدا ماتریس واریانس-کواریانس فنوتیپی و ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده در جمعیت F_{11} برآورد شد و سپس وراثت‌پذیری عمومی (h_b^2) و خصوصی (h_n^2) هر صفت بر اساس روابط (۱) و (۲) محاسبه شد. واریانس‌های محیطی، ژنتیکی، افزایشی و فنوتیپی و نیز ضرایب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی صفات نیز به‌ترتیب با استفاده از روابط (۳) تا (۸) بر اساس امید ریاضی جدول تجزیه واریانس طرح آزمایش محاسبه شدند (Rabiei *et al.*, 2004; Valizadeh and Moghaddam, 2016):

$$h^2_{b(i)} = \frac{\sigma^2_{G(i)}}{\sigma^2_{P(i)}} \quad (۱)$$

$$h^2_{n(i)} = \frac{\sigma^2_{A(i)}}{\sigma^2_{P(i)}} \quad (۲)$$

$$\sigma^2_{E(i)} = MS_{E(i)} \quad (۳)$$

$$\sigma^2_{G(i)} = \frac{MS_{G(i)} - MS_{E(i)}}{r} \quad (۴)$$

$$\sigma^2_{A(i)} = \frac{1}{2}\sigma^2_{G(i)} \quad (۵)$$

$$\sigma^2_{P(i)} = \sigma^2_{G(i)} + \frac{\sigma^2_{E(i)}}{r} \quad (۶)$$

$$CV_{G(i)} = \frac{\sqrt{\sigma^2_{G(i)}}}{\overline{X}_i} \times 100 \quad (۷)$$

$$CV_{P(i)} = \frac{\sqrt{\sigma^2_{P(i)}}}{\overline{X}_i} \times 100 \quad (۸)$$

در این روابط، $h^2_{b(i)}$ و $h^2_{n(i)}$ به‌ترتیب وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، $\sigma^2_{E(i)}$، $\sigma^2_{G(i)}$، $\sigma^2_{A(i)}$ و $\sigma^2_{P(i)}$ به‌ترتیب واریانس‌های حقیقی محیطی، ژنوتیپی، افزایشی و فنوتیپی، $CV_{G(i)}$ و $CV_{P(i)}$ به‌ترتیب ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی، $MS_{G(i)}$ و $MS_{E(i)}$ به‌ترتیب میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها و خطای آزمایش و $\overline{X}_i$ میانگین صفت i در جمعیت F_{11} هستند و r نیز تعداد تکرار آزمایش و برابر با سه است.

ضرایب همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات با استفاده از واریانس‌ها و کواریانس‌های فنوتیپی و ژنتیکی، به‌ترتیب از طریق روابط (۹) و (۱۰) محاسبه شدند (Fazlalipour *et al.*, 2008):

$$r_{G(ij)} = \frac{\sigma_{G(ij)}}{\sqrt{\sigma^2_{G(i)} \times \sigma^2_{G(j)}}} \quad (۹)$$

$$r_{P(ij)} = \frac{\sigma_{P(ij)}}{\sqrt{\sigma^2_{P(i)} \times \sigma^2_{P(j)}}} \quad (۱۰)$$

که در آن‌ها، $\sigma_{G(ij)}$ و $\sigma_{P(ij)}$ به‌ترتیب کواریانس ژنتیکی و فنوتیپی بین دو متغیر i و j هستند و برای محاسبه آن‌ها از روابط (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) استفاده شد (Rahimi and Rabiei, 2011):

$$\sigma_{G(ij)} = \frac{MP_G - MP_E}{r} \quad (۱۱)$$

$$\sigma_{P(ij)} = \sigma_{G(ij)} + \frac{MP_E}{r} \quad (۱۲)$$

$$MP_E = \sigma_{E(ij)} \quad (۱۳)$$

در این روابط، MP_G و MP_E به‌ترتیب میانگین حاصل‌ضرب ژنوتیپ‌ها و خطای آزمایش بین دو متغیر i و j هستند و از طریق جدول تجزیه کوواریانس همزمان دو متغیر i و j محاسبه شدند.

برای بررسی تاثیر هر یک از صفات مورد مطالعه روی عملکرد دانه و شناسایی صفات با اثر معنی‌دار، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد و در آن عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات اندازه‌گیری شده به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. لازم به توضیح است که قبل از انتخاب مدل در تجزیه رگرسیون، ابتدا وجود چندهم‌خطی با استفاده از شاخص‌های تحمل و عامل تورم واریانس نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس آن، بهترین مدل رگرسیونی توجیه کننده تغییرات متغیر وابسته انتخاب شد. برای انجام تجزیه علیت و تفکیک ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی بین هر یک از صفات با عملکرد دانه به آثار مستقیم و غیرمستقیم از روش دوی و لو (Dewey and Lu, 1959) استفاده شد. از نتایج تجزیه علیت برای برآورد ضرایب اقتصادی در به‌دست آوردن شاخص‌های انتخاب مناسب جهت بهبود و اصلاح عملکرد دانه استفاده شد.

شاخص‌های گزینشی نیز با در نظر گرفتن ارزش‌های فنوتیپی و ضرایب اقتصادی برای هر صفت با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شدند (Rabiei *et al.*, 2004):

$$I = \sum a_i p_i = a'P \quad (۱۴)$$

در این رابطه، a_i و p_i به‌ترتیب ضریب اقتصادی و ارزش فنوتیپی صفت i، a' برگردان بردار ضرایب اقتصادی صفات و P ماتریس داده‌های فنوتیپی صفات در ۱۴۱ لاین F_{11} مورد مطالعه هستند.

در این تحقیق، ضرایب اقتصادی که اهمیت و وزنه هر صفت را در شاخص نشان می‌دهند و مهم‌ترین عامل در تهیه شاخص‌های پایه هستند، بر مبنای ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات با عملکرد دانه، آثار مستقیم صفات در تجزیه علیت عملکرد و وراثت‌پذیری صفات در نظر گرفته شدند. به این ترتیب، شاخص‌های متفاوتی بر اساس ضرایب اقتصادی مختلف تهیه شدند. برای مقایسه شاخص‌ها و معرفی بهترین آن‌ها نیز معیارهای مختلفی محاسبه شدند که شامل پیشرفت ژنتیکی یا بهره مورد انتظار از شاخص برای کل صفات (ΔH)، پیشرفت مورد انتظار برای هر صفت در اثر استفاده از شاخص (Δ) و نیز سودمندی نسبی (RE) شاخص گزینش نسبت به انتخاب مستقیم بر مبنای صفت (عملکرد) بودند که بر اساس روابط (۱۵) تا (۲۱) محاسبه شدند. برای این منظور، ابتدا ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی (R_{HI}) با رابطه (۱۵) محاسبه شد (Rabiei *et al.*, 2004):

$$R_{HI} = \frac{\sigma_{HI}}{\sqrt{\sigma_I^2 \times \sigma_H^2}} = \frac{\sigma_I}{\sigma_H} \quad (۱۵)$$

که در آن، σ_I^2، σ_H^2 و σ_{HI} به‌ترتیب واریانس شاخص، واریانس ارزش اصلاحی کل و کواریانس بین شاخص و ارزش اصلاحی و σ_I و σ_H به‌ترتیب انحراف معیار شاخص و ارزش اصلاحی کل هستند. R_{HI}، σ_I^2 و σ_H^2 با استفاده از جبر ماتریس به‌ترتیب از طریق روابط (۱۶) تا (۱۸) محاسبه شدند (Rabiei *et al.*, 2004):

$$R_{HI} = \sqrt{\frac{a'Ga}{a'Pa}} \quad (۱۶)$$

$$\sigma_I^2 = a' \times G \times a \quad (۱۷)$$

$$\sigma_H^2 = a' \times P \times a \quad (۱۸)$$

میزان پیشرفت ژنتیکی یا بهره مورد انتظار از شاخص برای کلیه صفات (ΔH) از رابطه (۱۹) به‌دست آمد (Fazlalipour *et al.*, 2007):

$$\Delta H = K \times R_{HI} \times \sigma_H \quad (۱۹)$$

که در آن K دیفرانسیل گزینش در واحد استاندارد، σ_H انحراف معیار ارزش اصلاحی و R_{HI} ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی است. K (دیفرانسیل گزینش استاندارد) بر اساس گزینش ۱۰ درصد از بهترین لاین‌های مورد مطالعه برابر با ۱/۷۶ در نظر گرفته شد.

میزان پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت بر مبنای شاخص نیز از رابطه (۲۰) محاسبه شد (Fazlalipour *et al.*, 2008):

$$\Delta = \frac{KGb}{\sqrt{a'Pa}} \quad (۲۰)$$

سودمندی نسبی (RE) گزینش بر اساس شاخص نسبت به گزینش مستقیم برای عملکرد با استفاده از رابطه (۲۱) محاسبه شد (Rabiei et al., 2004):

$$RE = \frac{R_I}{R_A} = \frac{r_{G(A),I}}{h_A} \quad (۲۱)$$

که در آن، R_I پاسخ مورد انتظار بر مبنای استفاده از شاخص گزینش و R_A پاسخ مورد انتظار بر مبنای گزینش مستقیم عملکرد دانه، $r_{G(A),I}$ همبستگی ژنتیکی بین شاخص و عملکرد دانه و h_A جذر وراثت‌پذیری صفت A (عملکرد دانه) می‌باشد. مقادیر R_I، R_A و $r_{G(A)I}$ به‌ترتیب با استفاده از روابط (۲۲) تا (۲۴) محاسبه شدند (Fazlalipour *et al.*, 2007, 2008):

$$R_I = K \times r_{G(A),I} \times \sigma_{G(A)} \quad (۲۲)$$

$$R_A = K \times h_A \times \sigma_{G(A)} \quad (۲۳)$$

$$r_{G(A),I} = \frac{\sigma_{G(A),I}}{\sqrt{\sigma_{G(A)}^2 \times \sigma_I^2}} = \frac{a' \times g}{\sqrt{\sigma_{G(A)}^2 \times a' \times G \times a}} \quad (۲۴)$$

در رابطه اخیر، g بردار ستونی کواریانس ژنتیکی عملکرد دانه با سایر صفات و $\sigma_{G(A)}^2$ واریانس ژنوتیپی عملکرد دانه است.

با استفاده از این معیارها، شاخص‌های گزینش مختلف مقایسه و بهترین آن‌ها که پیشرفت ژنتیکی بالاتری برای هر یک از صفات مورد نظر (Δ) و نیز کلیه صفات (ΔH) و سودمندی نسبی بیش‌تری نسبت به گزینش مستقیم بر مبنای عملکرد (RE) ارایه دادند، انتخاب و معرفی شدند.

برای محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و برای محاسبه شاخص‌های انتخاب مختلف و معیارهای مقایسه آن‌ها از رویه iml نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی

همبستگی فنوتیپی بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در بوته (**۰/۶۱۳)، تعداد پنجه در بوته (**۰/۶۰۸)، درصد باروری خوشه (**۰/۵۴۱)، تعداد دانه پر در خوشه (**۰/۵۱۹) و تعداد کل دانه در خوشه (*۰/۱۹۵) مثبت و معنی‌دار و با تعداد دانه پوک در خوشه (**-۰/۴۰۳) منفی و معنی‌دار بود. این نتایج با نتایج گلسرخی و همکاران (Golesorkhy *et al.*, 2016) که همبستگی بین عملکرد دانه با تعداد خوشه (**۰/۷۷۰) و تعداد دانه پر در خوشه (**۰/۹۳۶) را مثبت و معنی‌دار اعلام کردند، تا حدودی هم‌خوانی داشت. در بیش‌تر موارد ضرایب همبستگی فنوتیپی بیش‌تر از ضرایب همبستگی ژنوتیپی بودند که نشان می‌دهد عوامل محیطی و غیرژنتیکی موجب کاهش ارتباط بین صفات در این تحقیق شدند. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Chen *et al.*, 2019; Katiyar *et al.*, 2019).

ارزیابی ضرایب همبستگی ژنوتیپی نیز نشان داد که همبستگی بین عملکرد دانه با درصد باروری خوشه (**۰/۶۵۶)، تعداد پنجه در بوته (**۰/۵۲۱)، تعداد خوشه در بوته (**۰/۵۱۰)، تعداد دانه پر در خوشه (**۰/۵۰۶) و طول خوشه (*۰/۱۷۴) مثبت و معنی‌دار و با تعداد دانه

پوک در خوشه (**۰/۵۷۷-) و روز تا رسیدگی (**۰/۲۲۳-) منفی و معنی‌دار شد. واتو و همکاران (Wattoo *et al.*, 2010) همبستگی ژنتیکی بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در بوته (ns۰/۲۹۹)، تعداد دانه پر در خوشه (ns۰/۱۳۸) و روز تا رسیدگی (ns۰/۱۶۵) را غیر معنی‌دار اعلام کردند که با نتایج این تحقیق مغایرت داشت و دلایل آن می‌تواند به ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و شرایط آب و هوایی متفاوت این دو تحقیق مرتبط باشد. با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد با انتخاب لاین‌هایی که تعداد خوشه، تعداد دانه پر و تعداد کل دانه بیش‌تر و در مقابل تعداد دانه پوک کم‌تری دارند، می‌توان به ارقامی دست یافت که عملکرد دانه بالایی دارند.

جدول ۱- ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) بین صفات مورد مطالعه در لاین‌های F_{11} برنج

Table 1. Phenotypic (upper diagonal) and genotypic (below diagonal) correlation coefficients among the studied traits in 141 rice F_{11} lines

Trait†	NPP	NTP	PL	NGP	NUGP	NSP	PFP	TGW
NPP	1	0.99**	-0.19*	-0.19*	-0.28**	-0.33**	0.15	-0.03
NTP	0 .99**	1	-0.19*	-0.18*	-0.27**	-0.32*	0.15	-0.04
PL	-0. 29**	-0.27**	1	0.25**	0.24**	0.36**	-0.11	0.11
NGP	-0. 30**	-0.27**	0.33**	1	-0.11	0.79**	0.49	-0.37**
NEG	-0. 42**	-0.39**	0.24**	-0.15	1	0.53**	-0.89	-0.16
NSP	-0. 53**	-0.49**	0.45**	0.76**	0.52**	1	-0.14	-0.41**
PFP	0.22**	0.20**	-0.09	0.50**	-0.91**	-0.17*	1	0.01
TGW	-0.04	-0.05	0.12	-0.41**	-0.19*	-0.48**	0.02	1
GL	-0.04	-0.04	0.21*	-0.28**	0.07	-0.19*	-0.16	0.40**
GW	0.01	0.01	-0.00	-0.18*	-0.27**	-0.33**	0.18	0.60**
GS	-0.03	-0.04	0.15	-0.39**	-0.21*	-0.47**	0.05	0.89**
PH	-0.12	-0.13	0.28**	-0.16	0.02	-0.13	-0.08	0.14
NDM	-0.20**	-0.18*	0.37**	-0.03	0.43**	0.26**	-0.39	-0.15
NDF	-0.28**	-0.21**	0.12	0.31**	0.06	0.31**	0.02	0.01
GY	0.51**	0.52**	0.17*	0.51**	-0.58**	0.06	0.66**	0.12

Table 1. Continued

جدول ۱- ادامه

Trait†	GL	GW	GS	PH	NDM	NDF	GY
NPP	-0.02	-0.00	-0.03	-0.06	-0.10	-0.15	0.61**
NTP	-0.02	-0.00	-0.03	-0.07	-0.10	-0.12	0.61**
PL	0.18*	-0.00	0.13	0.17	0.32**	0.07	0.10
NGP	-0.25**	-0.13	-0.31**	-0.06	-0.04	0.21*	0.52**
NEG	0.06	-0.24**	-0.17*	0.02	0.37**	0.06	-0.40
NSP	-0.17*	-0.26**	-0.37**	-0.04	0.20*	0.21*	0.20*
PFP	-0.15	0.17*	0.04	-0.03	-0.35*	-0.00	0.54**
TGW	0.38**	0.55**	0.80**	0.07	-0.15	0.04	0.11
GL	1	-0.31*	0.44**	-0.01	-0.10	-0.03	-0.05
GW	-0.37**	1	0.71**	0.04	-0.09	0.06	0.11
GS	0.39**	0.71*	1	0.01	-0.16	0.03	0.05
PH	-0.01	0.04	0.01	1	0.12	-0.19*	-0.05
NDM	-0.12	-0.09	-0.18*	0.16	1	0.15	-0.16
NDF	-0.08	0.09	0.02	-0.35**	0.16	1	0.10
GY	-0.05	0.12	0.07	-0.13	-0.22*	0.14	1

†: The symbol of traits are including: NPP, number of panicle per plant; NTP, number of tiller per plant; PL, panicle length; NGP, number of grain per panicle; NUGP, number of unfilled grain per panicle; NSP, number of spikelet per panicle; PFP, panicle fertility percentage; TGW, 1000-grain weight; GL, grain length; GW, grain width; GS, grain shape; PH, plant height; NDM, number of days to maturity; NDF, number of days to flowering; GY, grain yield.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه ضرایب علیت عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام عملکرد دانه نشان داد که صفات تعـــداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه به‌عنوان متغیرهای پیشگویی کننده و معنی‌دار موثر بر عملکرد دانه هستند. نتایج تجزیه رگرسیون هر یک از این صفات پیشگویی کننده نیز نشان داد که برای تعداد خوشه در بوته صفات تعداد پنجه کل در بوته و روز تا ۵۰ درصد گلدهی، برای صفت تعداد دانه پر در خوشه صفات تعداد دانه پوک در خوشه و تعداد کل دانه در خوشه و برای صفت وزن هزار دانه صفات تعداد دانه کل در خوشه و شکل دانه وارد مدل رگرسیونی شدند و دارای اثر معنی‌دار بر صفات وابسته بودند. از صفات وارد شده در این مدل‌های رگرسیونی برای انجام تجزیه علیت و تفکیک ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی به آثار مستقیم و غیرمستقیم استفاده شد.

نتایج حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه نشان داد که بین سه صفت تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه، صفت تعداد دانه پر در خوشه با اثر مستقیم فنوتیپی ۰/۸۲۴ و اثر مستقیم ژنوتیپی ۰/۹۲۷ مهم‌ترین صفت موثر بر عملکرد دانه بود و پس از آن صفت تعداد خوشه در بوته با اثر مستقیم فنوتیپی ۰/۷۸۰ و اثر مستقیم زنوتیپی ۰/۸۲۴ و سپس وزن هزار دانه با اثر مستقیم فنوتیپی ۰/۴۳۷ و و اثر مستقیم ژنوتیپی ۰/۵۵۶ صفات معنی‌دار تاثیرگذار بر عملکرد دانه بودند (جدول ۲). این سه صفت در مجموع می‌توانند حدود ۹۵ درصد از تنوع فنوتیپی و ۹۷ درصد از تنوع زنوتیپی عملکرد دانه را در این تحقیق توجیه کنند.

انجام تجزیه علیت برای صفات موثر بر عملکرد دانه جهت شناسایی متغیرهای پیشگویی کننده رده دوم عملکرد دانه نیز نشان داد که برای صفت تعداد خوشه در بوته، صفت تعداد کل پنجه در بوته به‌ترتیب با اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی ۰/۹۸۵ و ۰/۹۷۶ مهم‌ترین صفت موثر بر تعداد خوشه در بوته بود، درحالی‌که صفت روز تا ۵۰ درصد گلدهی دارای اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی منفی و البته ناچیزی (به‌ترتیب ۰/۰۲۸- و ۰/۰۶۳-) بر تعداد خوشه در بوته بود (جدول ۲). برای صفت تعداد دانه پر در خوشه نیز صفت تعداد دانه پوک در خوشه دارای اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی منفی (به‌ترتیب ۰/۷۲۵- و ۰/۷۶۰-) و صفت تعداد کل دانه در خوشه دارای اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی مثبت و بسیار بالا (به‌ترتیب ۱/۱۶۷ و ۱/۱۶۰) بر تعداد دانه پر بودند. در نهایت برای وزن هزار دانه نیز شکل دانه دارای اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی مثبت و بالا (به‌ترتیب ۰/۷۴۴ و ۰/۸۶۰) بر وزن هزار دانه بود، درحالی‌که صفت تعداد کل دانه در خوشه، اثر مستقیم فنوتیپی و ژنوتیپی منفی و ناچیزی (به‌ترتیب ۰/۱۳۸- و ۰/۰۷۲-) بر وزن هزار دانه داشت. به این ترتیب علاوه بر سه صفت تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه که به‌عنوان صفات معنی‌دار رده اول و موثر بر عملکرد دانه بودند، پنج صفت تعداد کل پنجه در بوته، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد دانه پوک و تعداد کل دانه در خوشه و شکل دانه نیز به‌عنوان متغیرهای پیشگویی کننده و معنی‌دار رده دوم موثر بر عملکرد دانه در این تحقیق شناسایی شدند. نتایج این تحقیق تا حدود زیادی با نتایج مطالعات دیگر مطابقت داشت. دوی و همکاران (Devi *et al.*, 2017) نیز با انجام تجزیه علیت در برنج عنوان کردند که صفات وزن هزار دانه، تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه تاثیر مستقیم بالایی بر عملکرد دانه داشتند، اما نسبت به این تحقیق، آثار مستقیم بالاتری را به‌ترتیب برای وزن هزار دانه (۳/۴۸)، تعداد خوشه در بوته (۱/۵۷) و تعداد دانه پر در خوشه (۱/۴۱) گزارش کردند. احمدی شاد و همکاران (Ahmadi Shad *et al.*, 2018) با انجام تجزیه علیت عملکرد دانه در یک جمعیت F_6 برنج، صفات وزن صد دانه، تعداد پنجه بارور و تعداد دانه پر در خوشه را به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه عنوان کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. زربافی و همکاران (Zarbafi *et al.*, 2019) نیز با مطالعه ۱۲۱ ژنوتیپ برنج، همانند تحقیق حاضر صفات تعداد دانه پر در خوشه، تعداد خوشه در بوته و وزن هزار دانه را صفات موثر بر عملکرد دانه تعیین و آثار مستقیم آن‌ها را به‌ترتیب ۰/۷۷۲، ۰/۶۰۶ و ۰/۳۵۵ گزارش کردند. در مطالعه سینگ و اکا (Singh and Ekka, 2019) نیز تعداد خوشه در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه پر در خوشه به‌عنوان صفات رده اول موثر بر عملکرد دانه برنج شناسایی و میزان آثار مستقیم آن‌ها به‌ترتیب ۱/۳۱، ۰/۶۱۰ و ۰/۴۷۲ گزارش شد. این محققین صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی و شکل دانه را به‌عنوان صفات رده دوم موثر بر عملکرد دانه گزارش کردند.

جدول ۲- ضرایب مسیر فنوتیپی (بالا) و ژنوتیپی (پایین، پررنگ) و آثار غیرمستقیم متغیرهای پیشگویی کننده ردیف اول و دوم عملکرد دانه

Table 2. Phenotypic (up, underline) and genotypic (below, underline and bold) path coefficients and indirect effects of first- and second-order predictor variables on grain yield

Trait†	Direct and indirect effects on GY			Direct and indirect effects on NPP		Direct and indirect effects on NGP		Direct and indirect effects on TGW	
	NPP	NGP	TGW	NTP	NDF	NUGP	NSP	NSP	GS
NPP	0.780	-0.153	-0.014						
	0.824	-0.290	-0.023						
NGP	-0.145	0.824	-0.159						
	-0.244	**0.977**	-0.226						
TGW	-0.025	-0.300	0.437						
	-0.035	-0.397	**0.556**						
NTP				0.985	0.004				
				0.976	0.015				
NDF				-0.120	-0.028				
				-0.207	**-0.069**				
NUGP						-0.725	0.613		
						-0.760	0.607		
NSP						-0.380	1.167	-0.138	-0.276
						-0.398	**1.160**	**-0.072**	-0.405
GS								0.051	0.744
								0.034	**0.860**

†: The symbols of traits are the same as in Table 1.

شاخص‌های گزینشی

به‌منظور تهیه شاخص‌های گزینشی در این تحقیق، از ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات با عملکرد دانه، وراثت‌پذیری صفات و میزان آثار مستقیم هر صفت بر عملکرد دانه در تجزیه علیت استفاده و به‌عنوان ارزش‌های اقتصادی صفات در نظر گرفته شدند (جدول ۳).

در شاخص اول، ارزش‌های اقتصادی برای تمام صفات وارد شده به مدل رگرسیون عملکرد دانه مساوی یک و برای دیگر صفات ارزش صفر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پیشرفت ژنتیکی گزینش بر اساس این شاخص برای تعداد دانه پر در خوشه، تعداد کل دانه در خوشه، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، طول خوشه و درصد باروری خوشه در حد مطلوبی بود، اما پیشرفت ژنتیکی برای وزن هزار دانه که به‌عنوان یکی از صفات موثر بر عملکرد دانه بود، در جهت کاهش این صفت و برای روز تا رسیدگی در حد بالایی نسبت به سایر شاخص‌ها برآورد شد (جدول ۴). بنابراین، استفاده از این شاخص به گزینش لاین‌های دیررس منجر خواهد شد و از این‌رو در مجموع این شاخص نمی‌تواند شاخص مفیدی باشد.

شاخص دوم بر اساس صفاتی تهیه شد که به‌عنوان صفات ردیف اول تجزیه علیت عملکرد دانه شناسایی شدند. در این شاخص، برای تمام صفات ردیف اول تجزیه علیت (یعنی تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه)، ارزش اقتصادی یکسان و برابر یک و برای سایر صفات مورد مطالعه ارزش صفر در نظر گرفته شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که پیشرفت ژنتیکی برای عملکرد دانه و سودمندی نسبی این شاخص بیش‌تر از شاخص اول و همبستگی شاخص با ارزش اصلاحی نیز تقریباً برابر با شاخص اول بود (جدول ۴). پیشرفت ژنتیکی برای روز تا رسیدگی در جهت کاهش دوره رشد گیاه و پیشرفت ژنتیکی برای تعداد دانه پوک در خوشه نیز منفی و در جهت کاهش تعداد دانه پوک محاسبه شد و از این‌رو گزینش بر اساس این شاخص می‌تواند به انتخاب لاین‌های زودرس و با تعداد دانه پوک کم‌تر منجر شود و از این نظر نیز شاخص دوم مطلوب‌تر از شاخص اول بود. مقایسه دو شاخص اول و دوم نشان داد که افزایش تعداد صفات در شاخص، دلیلی بر افزایش سودمندی شاخص نیست، بلکه ارزش صفات واردشده به شاخص است، سودمندی آن‌را تعیین می‌کند.

جدول ۳- ترکیب صفات و ارزش اقتصادی آن‌ها برای محاسبه نه شاخص گزینش پایه

Table 3. Trait combinations and their economic values to calculate nine base selection indices

Trait†	NPP	NTP	PL	NGP	NUGP	NSP	PFP	TGW	GL	GW	GS	PH	NDM	NDF	GY
Index1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Index2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Index3	1	0.5	0	1	0.5	0.5	0	1	0	0	0.5	0	0	0.5	0
Index4	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Index5	0.78	0	0	0.824	0	0	0	0.437	0	0	0	0	0	0	0
Index6	0.824	0	0	0.977	0	0	0	0.556	0	0	0	0	0	0	0
Index7	0	0.624	0	0.754	0.829	0.746	0.856	0.87	0.825	0.868	0.788	0	0.872	0	0
Index8	0.613	0.608	0	0.519	-0.403	0.195	0.541	0	0	0	0	0	0	0	0
Index9	0.51	0.521	0.174	0.506	-0.577	0	0.656	0.437	0	0	0	0	-0.223	0	0

†: The symbols of traits are the same as in Table 1.

در شاخص سوم، برای صفات ردیف اول که اهمیت بیش‌تری در افزایش عملکرد دانه داشتند، ضریب یک و برای صفات ردیف دوم ارزش ۰/۵ منظور شد. پیشرفت ژنتیکی نسبتاً بالایی برای صفات تعداد دانه پر و تعداد کل دانه در خوشه به‌دست آمد که البته از شاخص دوم کم‌تر بود، اما پیشرفت ژنتیکی برای عملکرد دانه در حد پایینی برآورد شد. همبستگی بین شاخص و ارزش اصلاحی در این شاخص مقدار مناسبی به‌دست آمد و پیشرفت ژنتیکی برای ارتفاع بوته نیز در جهت کاهش ارتفاع بوته محاسبه شد که مطلوب بود، اما برای صفت روز تا رسیدگی، پیشرفت ژنتیکی مثبت و در جهت افزایش طول دوره رشد به‌دست آمد که از نظر اصلاحی مطلوب نیست.

شاخص چهارم 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. همبستگی بین شاخص و ارزش اصلاحی در این شاخص در حد مطلوبی بود. برای ارتفاع بوته پیشرفت ژنتیکی در جهت کاهش ارتفاع بوته به‌دست آمد که از این نظر مطلوب بود. میزان پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار این شاخص برای کلیه صفات نیز بالا بود، اما سودمندی نسبی این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر بسیار کم بود (جدول ۴).

شاخص‌های پنجم و ششم به‌ترتیب بر اساس صفات ردیف اول حاصل از تجزیه علیت فنوتیپی و ژنوتیپی عملکرد دانه تهیه و آثار مستقیم آن‌ها به‌عنوان ارزش‌های اقتصادی در نظر گرفته شد. میزان پیشرفت مورد انتظار هر دو شاخص برای تعداد دانه پر در خوشه نسبت به سایر شاخص‌ها در حد بالایی بود و مقدار پیشرفت ژنتیکی برای ارتفاع بوته نیز در هر دو شاخص در جهت منفی به‌دست آمد. همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی نیز در هر دو شاخص کمی بیش‌تر از شاخص‌های قبلی و نسبتاً مناسب بود. پیشرفت ژنتیکی برای عملکرد دانه نیز در شاخص‌های پنجم و ششم به‌ترتیب در حدود ۷۴۰ و ۷۳۱ کیلوگرم محاسبه شد که از این نظر نیز شاخص‌های مطلوب و نسبت به شاخص‌های قبلی بهتر بودند. در مجموع نتایج حاصل از این دو شاخص نزدیک به هم بود و برای صفات مورد مطالعه اختلاف محسوسی در این دو شاخص مشاهده نشد. دلیل این تساوی را می‌توان به برآوردهای نزدیک آثار مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی صفات نسبت داد.

در شاخص هفتم، صفاتی که وراثت‌پذیری مساوی و بالاتر از عملکرد دانه داشتند، وارد شاخص شدند و میزان وراثت‌پذیری آن‌ها به‌عنوان ارزش اقتصادی در نظر گرفته شد و برای بقیه صفات هم ارزش صفر لحاظ شد. میزان پیشرفت ژنتیکی برای صفات تعداد خوشه در بوته، تعداد پنجه در بوته و وزن هزار دانه در جهت کاهش این صفات و برای عملکرد دانه نیز در حد پایینی برآورد شد. سودمندی نسبی این شاخص نیز بسیار پایین بود، به‌طوری که به‌همراه شاخص اول، کم‌ترین سودمندی را در بین کلیه شاخص‌های برآورد شده داشت و بنابراین در مجموع شاخص مناسب و مطلوبی نبود.

در شاخص‌های هشتم و نهم، از ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی معنی‌دار صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه به‌عنوان ارزش‌های اقتصادی استفاده شد. میزان سودمندی نسبی و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار این دو شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها در حد مطلوبی بود. پیشرفت ژنتیکی بسیار مناسبی برای صفات تعداد دانه پر

در خوشه، تعداد خوشه در بوته، تعداد پنجه در بوته، درصد باروری خوشه و عملکرد دانه نسبت به سایر شاخص‌ها برآورد شد. پیشرفت ژنتیکی برای صفت روز تا رسیدگی نیز در هر دو شاخص در جهت منفی محاسبه شد که از این نظر نسبت به همه شاخص‌های دیگر مطلوب‌تر بودند و گزینش لاین‌ها بر اساس این دو شاخص سبب دست‌یابی به لاین‌های زودرس می‌شود.

در مجموع مقایسه شاخص‌های ارزیابی شده در این تحقیق و مقایسه آن‌ها نشان داد که شاخص نهم بهترین شاخص بود. این شاخص ضمن داشتن سودمندی نسبی بیش‌تر نسبت به همه شاخص‌های دیگر، میزان پیشرفت ژنتیکی مثبت و قابل‌توجهی برای صفات اجزای عملکرد و منفی برای صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و تعداد دانه پوک در خوشه ارایه داد و مطلوب‌ترین شاخص در بین همه شاخص‌ها بود. از طرف دیگر، مقایسه شاخص‌های مختلف نشان داد که هیچ‌یک از شاخص‌ها (به‌غیر از شاخص نهم) نتوانستند پیشرفت ژنتیکی بیش‌تری برای عملکرد دانه نسبت به گزینش مستقیم عملکرد ارایه دهند و شاخص نهم تنها شاخصی بود که میزان برتری نسبی گزینش بر مبنای شاخص نسبت به گزینش بر مبنای عملکرد دانه بیش‌تر از یک بود (جدول ۴) همچنین بالاترین میزان همبستگی ژنتیکی بین شاخص با عملکرد دانه و نیز بالاترین میزان همبستگی شاخص با ارزش ژنتیکی کل مربوط به این شاخص بود، به این معنی که استفاده از این شاخص برای گزینش لاین‌ها به‌میزان بالایی بر اساس ارزش ژنتیکی لاین‌ها صورت می‌گیرد و بنابراین انجام گزینش نسبت به سایر شاخص‌ها، موثرتر خواهد بود. پس از این شاخص نیز به‌ترتیب شاخص‌های هشتم، دوم، پنجم و ششم قرار گرفتند و همه آن‌ها به‌ویژه برای عملکرد دانه پیشرفت ژنتیکی مثبت و قابل‌توجهی برآورد کردند.

جدول ۴- میزان پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت (Δ) بر مبنای انتخاب 10 درصد (k= 1.76)، پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای مجموعه صفات (ΔH)، ضریب همبستگی بین شاخص و ارزش اصلاحی کل (R_{HI})، ضریب همبستگی ژنتیکی بین شاخص و عملکرد دانه ($R_{G(A)I}$) و سودمندی نسبی شاخص نسبت به گزینش بر مبنای عملکرد دانه (RE)

Table 4. Expected genetic advance in each trait (Δ) with 10% selection intensity (k= 1.76), expected genetic advance in all traits (ΔH), correlation coefficients between total genotypic worth and each of the indices (R_{HI}), genetic correlation coefficient between index and grain yield ($R_{G(A)I}$) and relative efficiency of the index according to grain yield selection according to base index method (RE)

Expected genetic advance in each trait (Δ)†	Evaluated index								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NPP	-2.21	-0.74	-1.87	-2.36	-0.76	-0.86	-2.46	0.75	1.51
NTP	-2.18	-0.68	-1.83	-2.39	-0.70	-0.81	-2.50	0.90	1.66
PL	1.72	1.22	1.66	1.86	1.18	1.20	1.94	0.43	-0.08
NGP	22.51	28.56	25.84	25.46	29.31	29.45	25.26	25.87	19.54
NUGP	10.90	-6.25	6.08	7.79	-5.70	-5.56	8.03	-14.95	-20.99
NSP	33.41	22.61	31.92	33.25	23.61	23.89	33.29	10.91	-1.45
PFP	-2.36	9.46	1.26	0.34	9.22	9.17	0.17	14.37	16.89
TGW	-1.85	-1.30	-1.78	-1.86	-1.61	-1.58	-1.80	-1.27	-0.19
GL	-0.17	-0.23	-0.20	-0.20	-0.25	-0.25	-0.20	-0.26	-0.18
GW	-0.09	-0.03	-0.07	-0.08	-0.04	-0.04	-0.08	-0.01	-0.04
GS	-1.28	-0.89	-1.23	-1.28	-1.09	-1.07	-1.25	-0.80	-0.05
PH	-2.07	-2.09	-2.19	-1.53	-2.16	-2.13	-1.44	-2.15	-1.63
NDM	2.63	-1.02	1.62	3.39	-0.85	-0.82	3.64	-2.85	-4.92
NDF	1.60	1.29	1.59	1.50	1.27	1.30	1.52	0.78	0.36
GY	201.16	772.34	394.62	284.41	740.93	731.81	268.53	929.85	973.01
ΔH	73.33	31.91	49.13	76.29	27.00	32.04	58.48	34.49	39.13
R_{HI}	0.83	0.84	0.82	0.84	0.85	0.85	0.85	0.88	0.91
$R_{G(A)I}$	0.15	0.57	0.29	0.21	0.54	0.54	0.20	0.68	0.71
RE	0.21	0.81	0.41	0.30	0.78	0.77	0.28	0.97	1.02

†: The symbols of traits are the same as in Table 1.

گزینش برترین لاین‌های نسل F_{11}

با توجه به ارزش‌های اقتصادی و ارزش‌های فنوتیپی صفات در ۱۴۱ لاین مورد مطالعه، ده درصد از برترین لاین‌ها بر اساس هر شاخص تعیین و در جدول ۵ ارایه شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، لاین‌های برتر از نظر شاخص‌های مختلف یکسان نبودند و برای مثال در حالی که از نظر شاخص اول، لاین‌های شماره ۱۳، ۴۱، ۵۸، ۶۲، ۸۲، ۹۱، ۱۰۷، ۱۰۹ و ۱۲۱ به‌عنوان ده درصد از برترین لاین‌ها بودند، شاخص دوم لاین‌های شماره ۱، ۴۵، ۴۷، ۸۷، ۱۱۸، ۱۳۵، ۱۳۸، ۱۴۰ و ۱۴۲ را به‌عنوان ده درصد از برترین لاین‌ها معرفی کرد که هیچ‌یک از آن‌ها توسط شاخص اول معرفی نشده‌اند. از آن‌جایی که در مقایسه شاخص‌های نه‌گانه به‌ترتیب شاخص‌های نهم، هشتم، دوم، پنجم و ششم به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند، بنابراین لاین‌های برتر گزینش شده به‌وسیله این شاخص‌ها نیز به‌همین ترتیب دارای اهمیت بیش‌تری خواهند بود. با مشاهده نتایج این پنج شاخص، دو لاین شماره ۱۷ و ۴۶ را می‌توان به‌عنوان برترین لاین‌ها در بین ۱۴۱ لاین مورد مطالعه معرفی کرد. پس از این لاین‌ها نیز لاین‌های شماره ۱۳۵، ۱۲۰، ۴۷، ۱، ۱۳۸، ۱۱۸ و ۶۰ به‌عنوان بهترین لاین‌های این تحقیق بودند که ضمن داشتن عملکرد و اجزای عملکرد بالا، برای صفاتی مثل ارتفاع بوته و زمان رسیدگی نیز ارزش قابل قبولی داشتند. در بین شاخص‌های ارزیابی شده نیز شاخص‌هایی که بر اساس ضریب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی (شاخص‌های هشتم و نهم) و نیز صفات ردیف اول وارد شده در مدل تجزیه علیت عملکرد دانه (شاخص‌های دوم، پنجم و ششم) تهیه شدند، کارآیی و سودمندی بیش‌تری از سایر شاخص‌ها داشتند.

نتایج حاصل از مطالعات سایر محققین نیز تا حدود زیادی با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Sabouri *et al.*, 2008; Fotokian and Agahi, 2014). ربیعی و همکاران (Rabiei *et al.*, 2004) با ارزیابی شاخص‌های گزینشی جهت بهبود شکل دانه برنج، نشان دادند که شاخص‌های گزینشی که در آن‌ها از ضرایب علیت به‌عنوان وزنه‌های اقتصادی استفاده شد، کارایی بالاتری داشتند. این محققین دو نوع شاخص بهینه و پایه را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند و برای هر دو شاخص، سودمندی و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار یکسانی به‌دست آوردند، اما شاخص‌های پایه را به‌دلیل محاسبات ساده‌تر، مناسب‌تر از شاخص‌های بهینه عنوان کردند. در شاخص‌های پایه، صفاتی که دارای ضریب اقتصادی صفر هستند در معادله شاخص وارد نمی‌شوند، زیرا اهمیت ارزش فنوتیپی این صفات با بردار ارزش اقتصادی تعیین می‌شود. در مقابل، اصغر و مهدی (Asghar and Mahdi, 2010) با ارزیابی و مقایسه سه نوع شاخص گزینش بهینه، شاخص با بازده مطلوب و شاخص پایه در ذرت شیرین عنوان کردند که شاخص بهینه نسبت به دو شاخص دیگر کارآیی بیش‌تری داشت و شاخص مناسب‌تری بود.

جدول ۵- ده درصد از برترین لاین‌های F_{11} انتخاب شده بر اساس نه شاخص گزینش پایه

Table 5. Ten percent of the best F_{11} lines selected based on nine base selection indices

Index 1		Index 2		Index 3		Index 4		Index 5	
Index value	Line	Index value	Line	Index value	Line	Index value	Line	Index value	Line
555.23	10	195.25	17	371.87	10	650.96	10	152.49	17
520.78	86	190.05	46	351.76	17	613.1	86	148.5	46
508.28	17	188.52	10	345.22	86	600.5	17	147.23	10
496.26	120	187.62	120	341.94	120	596.91	46	146.22	120
493.08	46	181.46	135	341.56	46	596.72	120	140.42	135
482.87	109	174.88	60	323.23	135	577.12	82	133.79	60
481.97	62	169.67	86	322.09	60	575.38	62	132.08	86
478.51	13	166.99	47	320.63	109	575.38	109	129.17	47
473.18	91	166.01	142	319.86	62	572.37	60	126.54	118
470.31	121	165.55	118	314.93	82	571.66	91	126.19	138
470.06	82	165.43	45	311.66	91	570.25	135	126.11	142
469.75	58	164.81	138	310.21	142	569.7	107	125.54	45
469.3	60	162.25	1	309.1	107	565.13	40	124.37	1
466.41	41	161.95	140	306.81	45	560.02	13	123.43	87
465.41	107	160.2	87	306.66	13	558.07	142	122.88	140

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

Index 6		Index 7		Index 8		Index 9	
Index value	Line	Index value	Line	Index value	Line	Index value	Line
178.98	17	513.42	10	183.23	17	141.92	17
174.58	46	484.91	86	176.99	46	136.34	46
173.73	10	472.63	17	174.45	120	135.14	2
171.94	120	471.17	46	169.5	135	134.74	135
165.35	135	470.96	120	162.96	47	134.12	120
157.4	60	459.22	82	159.48	10	131.04	47
156.18	86	456.91	62	159.04	138	128.33	1
151.81	47	456.84	109	158.94	60	127.42	138
149.11	118	455.3	91	158.64	1	127.16	139
148.49	142	453.95	60	157.69	2	125.29	118
147.86	138	453.79	40	155.41	139	125.23	31
147.71	45	452.16	107	154.97	118	125.19	144
145.88	1	451.34	135	152.97	140	123.83	102
145.32	87	446.29	13	151.91	142	123.72	131
144.5	82	443.76	142	149.72	144	122.95	60

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از شاخص‌های گزینش پایه به‌منظور گزینش لاین‌های برتر و پرمحصول برنج می‌تواند بسیار مفید و مطلوب باشد. مزیت استفاده از شاخص‌های گزینشی، انتخاب لاین‌ها بر مبنای مجموعه‌ای از صفات مهم و مزیت استفاده از شاخص‌های پایه، علاوه بر سودمندی نسبی بالا، روش محاسبه ساده آن‌ها است. در بین شاخص‌های ارزیابی شده در این تحقیق، شاخص‌های پایه‌ای که بر مبنای ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی (شاخص‌های هشتم و نهم) و نیز صفات ردیف اول مدل تجزیه علیت عملکرد دانه (شاخص‌های دوم، پنجم و ششم) تهیه شدند، کارآیی و سودمندی بیش‌تری از سایر شاخص‌ها داشتند و شاخص‌های گزینشی مطلوبی برای گزینش لاین‌های برتر بودند. لاین‌های شماره ۱۷ و ۴۶ و سپس لاین‌های شماره ۱۳۵، ۱۲۰، ۴۷، ۱، ۱۳۸، ۱۱۸ و ۶۰ نیز به‌ترتیب به‌عنوان برترین لاین‌ها در بین ۱۴۱ لاین نسل F_{11} برنج در این تحقیق معرفی می‌شوند.

References

Ahmadi Shad, M. A., Sohani, M. M., Ebadi, A. A., Samizadeh, H. and Hosseini Chaleshtori, M. 2018. Choice of the effective traits on grain yield as selection indices in progressive F_6 populations in rice (*Oryza sativa* L.). **Cereal Research** 8 (2): 157-167. (In Persian with English Abstract).

Alam, M. S., Islam, M. M., Hassan, L., Begum, S. N. and Gupta, R. 2014. Study of correlation, magnitude of genetic diversity and selection indices in popular rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Bangladesh. **International Journal of Innovation and Applied Studies** 8: 1329-1338.

Almu, H., Rafii, M. Y., Sulaiman, Z., Ismail, M. R., Harun, A. R., Ramli, A., Yusoff, M. and Halidu, M. 2019. Genetic variability of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under different level of nitrogen fertilizer in Malaysia. **Plant Breeding and Crop Science** 6: 487-497.

Asghar, M. J. and Mehdi, S. S. 2010. Selection indices for yield and quality traits in sweet corn. **Pakistan Journal of Botany** 42: 775-789.

Bhutta, M. A., Munir, S., Qureshi, M. K., Shahzad, A. N., Aslam, K., Manzoor, H. and Shabir, G. 2019. Correlation and path analysis of morphological parameters contributing to yield in rice (*Oryza sativa* L.) under droght stress. **Pakistan Journal of Botany** 51: 73-80.

Chen, J., Zhou, H., Xie, W., Xia, D., Gao, G., Zhang, Q., Wang, G., Lian, X., Xiao, J. and He, Y. 2019. Genome-wide association analyses reveal the genetic basis of combining ability in rice. **Plant Biotechnology Journal** 7: 97-108.

Daneshgilvaei, M., Samizadeh, H. and Rabiei, B. 2016. Relationship between grain yield and its components and grouping of rice (*Oryza sativa* L.) recombinant inbred lines. **Iranian Journal of Crop Sciences** 18: 257-272. (In Persian with English Abstract).

Devi, K. R., Chandra, B. S., Lingaiah, N., Hari, Y. and Venkanna, V. 2017. Analysis of variability, correlation and path coefficient studies for yield and quality traits in rice (*Oryza sativa* L.). **Agricultural Reserch Communication Center** 37: 1-9.

Dewey, D. R. and Lu, K. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy Journal** 51: 515-518.

Falconer, D. S. 1989. Introducttion to quantitative genetics. (3rd Ed.). Longman Scientific and Technical. New York. 415 p.

Fazlalipour, M., Rabiei, B., Samizadeh H. and Rahim Soroush, H. 2007. Index selection in an F_3 rice population. **Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture)** 38 (1): 385-397. (In Persian with English Abstract).

Fazlalipour, M., Rabiei, B., Samizadeh H. and Rahim Soroush, H. 2008. Multi-trait selection for screening elite genotypes of an F_2 rice population. **Journal of Water and Soil Science** 11 (42): 41-52. (In Persian with English Abstract).

Fotokian, M. and Agahi, K. 2014. Genetic worth and stability of selection indices in rice (*Oryza sativa* L.). **Progress in Biological Sciences** 4 (2): 153-166.

Golesorkhy, M., Biabani, A., Sabouri, H. and Mohammad Esmaeili. M. 2016. Studying the relationship between agronomy traits of rice under flooding and drought stress conditions. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 8: 191-204. (In Persian with English Abstract).

Katiyar, D., Srivastava, K. K., Prakash, S., Kumar, M. and Gupta, M. 2019. Study correlation coefficients and path analysis for yield and its component characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 8: 1783-1787.

Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S., Zaynalinezhad K. and Eskandari, A. 2019. Evaluation and selection of rice mutant lines based on drought tolerance indices. **Jornal of Plant Production Research** 20: 173-189. (In Persian with English Abstract).

Patel, H. R., Patel, V. P., Patel, P. B., Rathod, A. J. and Pampaniya, A. G. 2018. Genetic variability, correlation and path analysis for grain yield and component traits in F_3 segregating population of rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Chemical Studies** 6: 2327-2331.

Rabiei, B., Mardani, Z., Ghomi, K. and Sabouri, A. 2014. The effect of rice chromosome 1 on traits associated with drought and salinity tolerance at germination and seedling stages. **Seed and Plant Improvement Journal** 30: 1-16. (In Persian with English Abstract).

Rabiei, B., Valizadeh, M., Ghareyazie, B. and Moghaddam, M. 2004. Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. **Field Crops Research** 89: 359-367.

Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B. and Tarang A. 2012. Multi-trait mapping of QTLs for drought tolerance indices in rice. **Cereal Research** 2: 107-121. (In Persian with English Abstract).

Rahimi, M. and Rabiei, B. 2011. The application of selection indices on improvement of grain yield in rice (*oryza sativa* L.). **Applied Field Crops Research (Pajouhesh and Sazandegi)** 24: 983-993. (In Persian with English Abstract).

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.

SES. 2005. Standard evaluation system for rice. International Rice Research Institute (IRRI), Philippines. 56 p.

Singh, A. and Ekka, R. E. 2019. Correlation and path analysis in aromatic and pigmented genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 8: 1832-1837.

Valizadeh, M. and Moghaddam, M. 2016. Introducttion to quantitative genetics. (Translation). University Publication Center, Tehran, Iran. (In Persian).

Wattoo, J. I., Khan, A. S., Ali, Z., Babar, M., Naeem, M., Ullah, M. A. and Hussain, N. 2010. Study of correlation among yield related traits and path coefficient analysis in rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Biotechnology** 9: 7853-7856.

Zarbafi, S. S., Rabiei, B., Ebadi, A. A. and Ham, J. H. 2019. Statistical analysis of phenotypic traits of rice (*Oryza sativa* L.) related to grain yield under neck blast disease. **Journal of Plant Diseases and Protection** 126: 293-306.

doi: 10.22124/cr.2020.15705.1568

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 1, Spring 2020 (19-32)

Selecting superior and high yielding recombinant inbred lines of an F_{11} rice population using index selection method

Vahid Jokarfard[1] and Babak Rabiei[2*]

Received: December 14, 2019 Accepted: March 10, 2020

Abstract

The most important breeding objective in most crop plants is to increase grain yield, however, the complex genetic nature of grain yield and the influence of other traits make direct selection based on grain yield less successful. Therefor, it is necessary to introduce the other traits with simpler inheritance and higher heritability than grain yield as selection criteria, so that indirect selection based on them can lead to improve grain yield in the studied population. The objective of this study was to identify and introduce appropriate selection criteria to improve grain yield in an F_{11} rice population using base selection index. The plant materials of this study were 141 recombinant inbred lines of F_{11} generation derived from a cross between two Iranian rice cultivars, Gharib and Sepidrood, which were planted in a randomized complete block design with three replications at research field of Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, in 2018. The studied traits were included days to 50% flowering, days to maturity, plant height, number of total tiller and panicle per plant, panicle length, number of filled and unfilled grain per panicle, number of spikelet per panicle, panicle fertility percentage, 1000 grain weight, grain length, width and shape and grain yield. The results of phenotypic and genotypic path analysis showed that number of panicle per plant, number of grain per panicle and 1000-grain weight had the most positive and significant direct effects on grain yield. Assessing the base selection indices and comparing them based on different evaluated criteria, specially genetic advance of each trait and relative efficiency of index- based selection than direct selection of grain yield also showed that the use of base selection indices based on phenotypic and genotypic correlation cefficients as well as path coefficients of number of panicle per plant, number of filled grain per panicle and 1000-grain weight were the most appropriate indices for selecting high yielding lines in the studied F_{11} population.

Keywords: Genetic advance, Genotypic correlation, Path analysis, Relative efficiency

1. M. Sc. Student, Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
* Corresponding author: rabiei@guilan.ac.ir