نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۱۴۳-۱۶۳
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.16002.2438

وراثت‌پذیری و هتروزیس برخی صفات مرتبط با ارزش غذایی و کیفیت فیزیکی دانه برنج

راویه حیدری[۱]، *نادعلی باقری[۲]، نادعلی بابائیان جلودار[۳] و حمید نجفی زرینی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۲]استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۳]استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۴]دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: برنج غذای اصلی مردم ایران و بسیاری از کشورهای جهان می‌باشد. با توجه به افزایش جمعیت و وجود محدودیت‌های اقلیمی برای کشت ارقام زراعی مهم از جمله برنج، لازم است که تولید برنج و در کنار آن ارزش غذایی افزایش یابد. بهره‌برداری از هتروزیس به‌عنوان راهکاری برای افزایش بیش‌تر عملکرد و کیفیت دانه برنج می‌باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی ساختار ژنتیکی و تعیین هتروزیس صفات مورد مطالعه برای برنامه‌های اصلاحی و انتخاب ترکیب‌های مناسب برای تولید برنج هیبرید می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش از ۲۴ هیبرید حاصل از تلاقی شش لاین در چهار تستر (که براساس برخی صفات مهم غذایی مورد دورگ‌گیری قرار گرفته بودند) استفاده گردید. هیبریدها و والدین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار براساس پنج صفت ارزش غذایی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل، عناصر آهن و روی و پروتئین) و هفت صفت کیفیت فیزیکی (درصد برنج سالم و خرد، کارایی تبدیل، درصد گچی‌بودن دانه، طول، عرض و شکل دانه) به همراه عملکرد براساس طرح تلاقی لاین × تستر مورد ارزیابی قرار گرفتند و اثرات ترکیب‌پذیری والدین و هیبریدها، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و هتروزیس صفات برآورد گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل لاین × تستر برای صفات معنی‌دار بود که این بیانگر وجود اثر غیرافزایشی ژن در کنترل صفات می‌باشد. با توجه به نتایج ترکیب‌پذیری عمومی، ارقام فجر و غریب به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده برای عملکرد و صفات ارزش غذایی شناخته شدند. اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورد بررسی نشان از سهم بیش‌تر واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی نسبت به واریانس ترکیب‌پذیری عمومی بود و این نشان‌دهنده اثر غیرافزایشی ژن در وراثت‌پذیری صفات است. در پژوهش حاضر، تمامی صفات وراثت‌پذیری عمومی بالا (بالای ۹۵ درصد) و خصوصی پایین داشتند. بررسی پدیده هتروزیس در تلاقی مورد بررسی سهم واریانس غالبیت را در کنترل این صفات نشان داد.

* مسئول مکاتبه: nadali.bagheri@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از بررسی اجزای واریانس ژنتیکی و بررسی هتروزیس نشان از نقش غیرافزایشی ژن در کنترل صفات ارزش غذایی، فیزیکی و عملکرد می‌باشد. بنابراین، بهترین روش اصلاحی استفاده از هتروزیس و روش هیبریداسیون در این پژوهش می‌باشد. نتایج هتروزیس نشان داد که برای اصلاح هم‌زمان صفاتی مثل آهن، روی و پروتئین به همراه افزایش درصد برنج سالم، کارایی تبدیل، طول دانه و عملکرد و کاهش درصد گچی‌بودن و درصد برنج خرد می‌توان از تلاقی‌های اوندا × سپیدرود، غریب × آمل۲، فجر × آمل۲، فجر × آبجی‌بوجی، اوندا × موسی‌طارم و اوندا × صدری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر ژن، ارزش غذایی دانه، برنج هیبرید، عملکرد، هتروزیس

مقدمه

بزرگ‌ترین گروه در برنامه غذایی هر انسانی، گروه غلات می‌باشد و برنج دومین عضو این گروه بزرگ محسوب می‌گردد. دانه‌های غلات به‌خصوص برنج، دارای ترکیبات فنلی خاص (مثل اسید فرولیک، اسید پی- کوماریک) بوده که در میوه‌ها و سبزیجات به‌میزان زیادی یافت نمی‌شود (۱۲). بررسی‌ها نشان داده است که دانه‌های برنج با دارا بودن مواد معدنی، فیبر، ویتامین‌ها و سایر مواد شیمیایی گیاهی دارای ارتباط مثبت با سلامت انسان می‌باشند (۱۳). مطالعات اپیدمیولوژیکی نیز نشان می‌دهند که مصرف دانه برنج مرتبط با کاهش خطر توسعه بیماری‌های قلبی- عروقی، چاقی، دیابت نوع II و برخی سرطان‌ها می‌باشد (۲۷). با وجود این به‌دلیل عادات بد غذایی مردم برای فرآیند سفیدکردن برنج، مصرف یکنواخت برنج می‌تواند منجر به کاهش مواد معدنی و سایر ترکیبات غذایی گردد (۱۰). در حال حاضر دو میلیارد نفر از مردم جهان در معرض کمبود عناصر ریزمغذی قرار دارند (۳۷). سوء تغذیه ناشی از عناصر ریزمغذی به‌عنوان جدی‌ترین چالش برای بشریت به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه مطرح می‌باشد (۱۷). درک تنوع و کمیت مواد شیمیایی گیاهی موجود در منابع ژنتیکی برنج برای شروع یک برنامه اصلاحی جهت بهبود سلامت انسان حیاتی بوده و اصلاح نباتات یک ابزار عالی برای افزایش کیفیت غذایی در دانه جهت مبارزه با مشکل سوء تغذیه می‌باشد (۲٤). اخیرا برنامه‌های اصلاحی در جهان به بهبود رقم‌های برنج غنی در یک یا چند خصوصیت شیمیایی گیاهی توجه دارند تا به بهبود سلامت انسان کمک نموده و فرصت‌های جدید در بازارپسندی این محصول ایجاد نمایند.

برای دستیابی به ارزش غذایی بالا در برنج، استفاده از رقم‌های جدید حاصل گزینش یا دورگ‌گیری بین ارقام مناسب، ضروری است. برای این منظور شناسایی ساختار ژنتیکی جمعیت مورد مطالعه از نظر نوع اثر ژن‌ها، سهم واریانس‌های ژنتیکی (افزایشی و غالبیت) و شناسایی پارامترهای ژنتیکی برای تعیین نوع روش اصلاحی ضروری می‌باشد. تجزیه لاین × تستر یکی از روش‌های تجزیه ژنتیکی مناسب برای برآورد و ارزیابی پارامترهای فوق می‌باشد. یکی از ویژگی‌های مهم این تجزیه به‌دست آوردن اطلاعات ژنتیکی از طریق استفاده از تعداد بیش‌تری از ارقام و انجام تعداد کم‌تری تلاقی در مقایسه با سایر روش‌های ژنتیک کمی مانند دای‌آلل می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت‌های اقلیمی برای گسترش دادن زمین‌های زیرکشت محصولات زراعی برای تامین غذای مورد نیاز، باید بتوان غذاهای با کیفیت را، هر چند کم، از زمین‌های موجود به‌دست آورد (۱۸).

اگرچه پژوهش‌های زیادی برای شناسایی ساختار ژنتیکی جمعیت‌های برنج انجام شده است، اما پژوهش‌ها در زمینه ارزش غذایی (مانند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، عناصر آهن، روی و پروتئین) در ایران نسبت به سایر کشورهای در حال توسعه کم‌تر مورد توجه بوده است. شریفی (۲۹) تلاقی دای‌آلل با هفت ژنوتیپ برنج برای مطالعه اثرات سیتوپلاسمی و مادری دانه و آندوسپرم در بعضی از صفات مرتبط با ارزش غذایی دانه برنج (پروتئین، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز) انجام دادند و گزارش نمودند که محتوای پروتئین و مواد معدنی به‌وسیله اثرات مادری و سیتوپلاسمی دانه و آندوسپرم کنترل می‌شود. شریفی و اسلامی (۲۸) عنوان نمودند که پروتئین و آهن تحت کنترل غیرافزایشی و عنصر روی تحت کنترل افزایشی و غیرافزایشی ژن می‌باشند و پیشنهاد گردید که برای بهبود این صفات از روش‌های به‌نژادی مبتنی بر هیبرید و هتروزیس می‌توان برای بهبود این صفات استفاده نمود. معمولاً نتایج حاصل از پژوهش‌های مختلف در مورد پارامترهای ژنتیکی به‌دلیل تغییر در نوع مواد ژنتیکی (ژنوتیپ) به‌کار رفته متفاوت می‌باشد (۲۶). با توجه به موارد عنوان شده، پژوهش حاضر با هدف بررسی ساختار ژنتیکی و هتروزیس جمعیت حاصل از تلاقی لاین × تستر بین ارقام مختلف برنج از نظر خصوصیات ارزش غذایی و به دنبال آن کیفیت فیزیکی و عملکرد انجام گرفت تا بتوان در جهت بهبود این صفات در برنج گام برداشت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد شش لاین به اسامی سپیدرود، آمل۲، دانش، آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری به‌عنوان پایه مادری (ژنوتیپ‌های کم‌کیفیت به لحاظ ارزش غذایی) با تعداد چهار تستر به نام‌های غریب، اوندا، فجر و IR64724R به‌عنوان پایه پدری (ژنوتیپ‌های باکیفیت به لحاظ ارزش غذایی) در قالب طرح تلاقی لاین × تستر مورد مطالعه قرار گرفتند. لاین‌ها و تسترهای مورد استفاده در این آزمایش از مطالعه تعداد زیادی والدین در ارزیابی اولیه انتخاب شده‌اند (۲۰). در سال اول، هر یک از لاین‌ها با چهار تستر تلاقی داده شدند. در سال دوم زراعی ۲٤ نتاج F_1 حاصل به همراه ۱۰ والد (۳٤ تیمار) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹٦ کشت شدند. ژنوتیپ‌ها به‌صورت تک‌نشا و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در کرت‌های ۲×۲ متر کشت گردیدند. برای اندازه‌گیری صفات مربوط به دانه، شش بوته از هر ژنوتیپ در هر تکرار انتخاب شد. طبق آمار سازمان هواشناسی کشور میانگین بارندگی دو سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵ در محل اجرای آزمایش ٦٦/۱۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۷/۷۲ درجه سانتی‌گراد بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک، مقدار سیلت، شن و رس خاک محل آزمایش به‌ترتیب ۲۷/٦، ٦۰ و ۱۲/٤ درصد با بافت لومی شنی بود. مقدار هدایت الکتریکی ۱/۲۳۵ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته خاک ۷/۳٦ بود و مقادیر عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر به‌ترتیب ۰/۰۵۸، ٦۰ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ppm) بود.

صفات مورد ارزیابی شامل صفات مرتبط با ارزش غذایی دانه برنج شامل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل دانه به روش خاصیت مهار کنندگی رادیکال آزاد ۱،۱- دی‌فنیل-۲- پیکریل هیدرازیل (DPPH) بر حسب درصد (۱۲) میزان فنل کل (میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم آرد) به روش خاصیت رنگ‌سنجی فولین- سیکالچو (۳۳) میزان آهن و روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) روش هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریدریک (۳٤) و

پروتئین (میکروگرم بر گرم) به روش بردفورد (۱۱) و صفات مربوط به کیفیت فیزیکی دانه مانند درصد برنج خرد و سالم، درصد گچی‌بودن دانه، کارایی تبدیل (درصد)، طول و عرض دانه (میلی‌متر)، نسبت طول به عرض دانه (شکل) و عملکرد (گرم در بوته) بودند. برای صفات فیزیکی، از محصول هر کرت مقدار ۱۰۰ گرم نمونه شلتوک انتخاب و با استفاده از دستگاه پوست‌کن (Mc Gill Sheller) پوست‌کنی انجام شد و سپس با دستگاه سفیدکن (Mc Gill Miller) به برنج سفید در مدت زمان یک دقیقه تبدیل گردید. برای به‌دست آوردن میزان برنج سالم و خرد، دانه‌های برنجی که سه چهارم طول آن‌ها در فرآیند تبدیل حفظ شده بود به‌عنوان برنج سالم در نظر گرفته شد و از برنج خرد جدا شد و توزین گردیدند. سپس میزان برنج سالم، میزان برنج خرد و کارایی تبدیل از نسبت میزان برنج سفید (سالم و خرد) به کل شلتوک اولیه برای ژنوتیپ‌های مختلف محاسبه گردید (۳۶). برای تعیین درصد گچی بودن دانه، ۲۰ گرم از نمونه سالم برنج وزن، دانه‌های گچی آن جدا شده و توزین گردید و با تقسیم بر وزن کل، درصد گچی آن محاسبه گردید (۳۲). طول و عرض دانه با کولیس و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس و اثبات وجود تنوع معنی‌دار بین تیمارها با نرم‌افزار SAS 1 نسخه ۹/۱ انجام شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها تجزیه لاین × تستر انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها به روش لاین × تستر، محاسبه اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و واریانس‌های افزایشی و غالبیت با استفاده از بسته آماری Agricola موجود در نرم‌افزار R (http://www.r-project.org) انجام گردید. میزان هتروزیس میانگین والدین (Ht) و هتروزیس والد برتر (هتروبلتیوزیس) (Htb) در هیبریدها به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ برآورد گردید (۱٤). از آماره t برای معنی‌داری ترکیب‌پذیری‌ها و هتروزیس میانگین والدین و هتروزیس والد برتر استفاده گردید (۲۵).

$$Ht = \frac{F_1 \text{ میانگین} - \text{ میانگین والدین}}{\text{میانگین والدین}} \times 100 \qquad (۱)$$

$$Htb = \frac{F_1 \text{ میانگین} - \text{ میانگین والد برتر}}{\text{میانگین والد برتر}} \times 100 \qquad (۲)$$

پیشرفت ژنتیکی (ΔG) طبق رابطه ۳ محاسبه شد که در آن Hb نشان‌دهنده وراثت‌پذیری عمومی و V_P بیانگر واریانس فنوتیپی است و k ثابت انتخاب در شدت گزینش دلخواه می‌باشد (در این آزمایش، k معادل ۲/۰٦، با فرض شدت گزینش پنج درصد، در نظر گرفته شده است). وراثت‌پذیری عمومی (Hb) و خصوصی (Hn) طبق رابطه‌های ٤ و ٥ محاسبه گردید که در آن V_G واریانس ژنتیکی، V_P واریانس فنوتیپی و V_A واریانس افزایشی می‌باشد (۱).

$$\Delta G = kH_b\left(V_p\right)^{0.5} \qquad (۳)$$

$$H_b = \frac{V_G}{V_P} \times 100 \qquad (٤)$$

$$H_b = \frac{V_A}{V_P} \times 100 \qquad (٥)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که بین تلاقی‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. تجزیه تلاقی‌ها به اجزای خود بر مبنای تجزیه لاین × تستر نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها برای صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود. در مورد تسترها برای صفات میزان آهن و روی، درصد گچی‌بودن دانه، طول و عرض و نسبت طول به عرض دانه معنی‌دار بود. عدم وجود اختلاف معنی‌دار صفات مورد بررسی

برای والدین احتمالاً نشان‌دهنده وجود اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات میزان فنل، میزان پروتئین، درصد برنج خرد و سالم، کارایی تبدیل و عملکرد می‌باشد. اثر متقابل لاین × تستر برای تمامی صفات معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که اگرچه هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل صفات نقش دارند، اما واریانس‌های غیرافزایشی نقش مؤثرتری در صفات ارزش غذایی و فیزیکی و عملکرد برنج ایفا می‌کنند. کمپتورن (۲۱) عنوان نمود که برای معنی‌دار شدن قوی اثر تلاقی‌های مربوط به یک صفت، لزومی بر معنی‌دار شدن همه اجزای آن (لاین‌ها، تسترها و لاین × تستر) نیست، بلکه معنی‌دار شدن تنها یک جز نیز می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن گردد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای والدین و تلاقی‌ها براساس روش لاین × تستر در برنج.

Table 1. Analysis variance of studied traits for parents and crosses based on line × tester method in rice.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Mean of squares						
		ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل کل Total phenol	میزان آهن Fe content	میزان روی Zn content	پروتئین Protein	برنج خرد Broken rice	برنج سالم Unbroken rice
بلوک Block	2	0.02 ns	0.002 ns	0.14 ns	0.39 ns	0.91**	0.35 ns	1.75*
ژنوتیپ‌ها Genotypes	33	706.68**	60.16**	2339.61**	172.08**	173.50**	251.67**	305.88**
والدین Parents	9	1437.42**	101.42**	4044.41**	319.91**	422.51**	98.44**	71.77**
والدین در مقابل تلاقی‌ها Parents vs. crosses	1	653.89**	587.47**	5506.42**	15.43**	929.41**	12.89**	2012.09**
تلاقی‌ها Crosses	23	423.03**	21.08**	1534.83**	121.04**	43.19**	322.008**	323.31**
لاین‌ها Lines	5	1684.65**	27.55 ns	685.04 ns	50.57 ns	22.50 ns	243.90 ns	152.51 ns
تسترها Testers	3	127.75 ns	19.06 ns	6480.27**	552.87**	93.14 ns	327.52 ns	258.42 ns
لاین × تستر Line × tester	15	61.55**	19.33**	829.008**	58.17**	40.09**	346.93 **	393.21 **
خطا Error	66	0.02	0.002	0.31	0.80	0.12	0.25	0.43
ضریب تغییرات (درصد) CV. (%)		0.36	0.15	0.89	2.49	1.93	3.35	1.23

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** Non-significant and significant at 5 and 1% levels of probability.

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Mean of squares					
		گچی‌بودن دانه Chalky of grain	راندمان تبدیل Milling recovery	طول دانه Grain length	عرض دانه Grain width	نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	عملکرد yield
بلوک Block	2	3.89 ns	0.90 ns	0.003 ns	0.001 ns	0.002 ns	9.008*
ژنوتیپ‌ها Genotypes	33	412.59**	69.32**	5.06**	0.42**	2.16**	1133.49**
والدین Parents	9	343.94**	12.61**	11.49**	0.41**	2.76**	196.45**
والدین در مقابل تلاقی‌ها Parents vs. crosses	1	4.45**	1710.59**	1.73**	1.71**	2.13**	9334.006**
تلاقی‌ها Crosses	23	457.20**	20.15**	2.68**	0.36**	1.93**	1143.61**
لاین‌ها Lines	5	332.50**	22.58 ns	3.81 ns	0.22 ns	1.31 ns	1493.99 ns
تسترها Testers	3	1894.98**	22.81 ns	5.46*	1.58**	9.33**	725.80 ns
لاین × تستر Line × tester	15	211.21**	18.82**	1.75**	0.16**	0.66**	1110.38**
خطا Error	66	2.26	0.37	0.002	0.009	0.003	15.88
ضریب تغییرات (درصد) CV. (%)		9.70	0.88	0.55	1.37	1.55	7.62

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** Non-significant and significant at 5 and 1% levels of probability.

ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی: نتایج برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ برای صفات ارائه شده است. ترکیب‌پذیری عمومی والد دانش در صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مثبت و معنی‌دار بود که نشان می‌دهد این والد مهارکنندگی رادیکال DPPH و خاصیت آنتی‌اکسیدانی را به نتاج خود منتقل خواهد کرد. از بین تسترها غریب و فجر دارای اثرات ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بوده و به‌عنوان ترکیب‌شونده عمومی شناخته شدند. در بین تلاقی‌ها، تلاقی IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، غریب × دانش و فجر × دانش دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند. بنابراین والدین دانش، غریب و فجر به خوبی توانسته‌اند ژن‌های مربوط به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به نتاج خود منتقل نمایند. بنابراین با توجه به ترکیب‌پذیری والدین و تلاقی‌ها از این سه تلاقی می‌توان برای افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بهره جست. اما تلاقی‌های اوندا × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R ×

سپیدرود، اوندا × آمل۲، IR64724-67-2-1-2-2R × آمل۲، اوندا × آبجی‌بوجی، اوندا × موسی‌طارم و اوندا × صدری با داشتن ترکیب‌پذیری عمومی منفی در والدین شرکت‌کننده در آن‌ها، دارای ترکیب‌پذیری مثبت بودند که شاید به‌دلیل وجود آثار غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفت باشد. نتایج برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (جدول ۲) نشان داد که در بین لاین‌ها، سپیدرود، دانش، آبجی‌بوجی و موسی‌طارم و تسترها غریب، IR64724-67-2-1-2-2R و فجر برای فنل کل به‌واسطه داشتن اثرات ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به‌عنوان ترکیب‌شونده‌های عمومی انتخاب شدند. قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برای صفت فنل کل (جدول ۳) نشان داد که قابلیت ترکیب‌پذیری غریب × سپیدرود، فجر × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R × آمل۲، IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، اوندا × دانش، فجر × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، اوندا × موسی‌طارم، غریب × صدری و IR64724-67-2-1-2-2R × صدری مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به ترکیب‌پذیری عمومی والدین این ژن‌های افزایش میزان فنل را به نتاج خود منتقل نمودند. تلاقی اوندا × آمل۲ با توجه به این‌که والدین‌شان ترکیب‌پذیری عمومی منفی داشت، دارای آثار ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که ممکن است به‌دلیل کنترل این صفت توسط آثار غیرافزایشی باشد.

برآورد آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای میزان آهن نشان داد که والدین آمل۲، دانش، موسی‌طارم، صدری و غریب و اوندا دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بود. بنابراین از این والدین برای افزایش آهن می‌توان استفاده نمود. تلاقی‌های IR64724-67-2-1-2-2R × سپیدرود، فجر × سپیدرود، غریب × آمل۲، اوندا × آمل۲، IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، فجر × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، IR64724-67-2-1-2-2R × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، اوندا × موسی‌طارم، اوندا × صدری و فجر × صدری دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند. برای صفت میزان روی والدین سپیدرود، آمل۲ و غریب، اوندا و فجر دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بود. بنابراین از این والدین برای افزایش روی می‌توان استفاده نمود. تلاقی‌های غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، اوندا × آمل۲، فجر × آمل۲، غریب × دانش، اوندا × دانش، اوندا × آبجی‌بوجی، IR64724-67-2-1-2-2R × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، IR64724-67-2-1-2-2R× موسی‌طارم، فجر × موسی‌طارم، اوندا × صدری و IR64724-67-2-1-2-2R × صدری دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند. برای صفت میزان پروتئین دانه والدین والدین سپیدرود، آمل۲، موسی‌طارم، صدری و IR64724-67-2-1-2-2R دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بود. بنابراین از این والدین برای افزایش پروتئین می‌توان استفاده نمود. تلاقی‌های غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R × آمل۲، فجر × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، اوندا × آبجی‌بوجی، فجر × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، اوندا × صدری، IR64724-67-2-1-2-2R × صدری و فجر × صدری دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند (جدول‌های ۲ و ۳).

برآورد آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفت عملکرد دانه در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داد که ارقام آبجی‌بوجی، موسی‌طارم، صدری و فجر و تلاقی‌های فجر × دانش، اوندا × آبجی‌بوجی، اوندا × موسی‌طارم، IR64724-67-2-1-2-2R × موسی‌طارم و فجر × صدری دارای اثر مثبت و معنی‌داری بودند. از این تلاقی‌ها می‌توان برای افزایش عملکرد استفاده

نمود. تلاقی اوندا × سپیدرود با وجود منفی بودن اثر ترکیب‌پذیری عمومی والدین شرکت‌کننده در تلاقی، دارای ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بود که می‌تواند به‌دلیل اثر غیرافزایشی ژن باشد. برای درصد برنج خرد، ارقام آبجی‌بوجی و صدری و فجر و IR64724-67-2-1-2-2R با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای کاهش این صفت می‌توان استفاده نمود. تلاقی‌های غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R × سپیدرود، غریب × آمل۲، فجر × آمل۲، اوندا × دانش، فجر × دانش، IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، اوندا × آبجی‌بوجی، فجر × آبجی‌بوجی، IR64724-67-2-1-2-2R × موسی‌طارم، فجر × موسی‌طارم، اوندا × صدری و IR64724-67-2-1-2-2R × صدری دارای آثار ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار بودند. برای درصد برنج سالم ارقام آبجی‌بوجی و صدری، تسترهای اوندا، فجر و IR64724-67-2-1-2-2R دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند. بنابراین برای افزایش این صفات به نتاج والدین خوبی می‌باشند. تلاقی‌های غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R × سپیدرود، غریب × آمل۲، فجر × آمل۲، اوندا × دانش، فجر × دانش، IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، اوندا × آبجی‌بوجی، فجر × آبجی‌بوجی، IR64724-67-2-1-2-2R × موسی‌طارم، اوندا × صدری و فجر × صدری دارای آثار ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند. وجود ترکیب‌پذیری مثبت در نتاجی که والدین آن‌ها دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی می‌باشند می‌تواند به‌دلیل اثر غیرافزایشی ژن باشد (جدول‌های ۲ و ۳).

برآورد آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفت درصد گچی‌بودن دانه در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داد که ارقام آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری و تسترهای فجر و IR64724-67-2-1-2-2R دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند. بنابراین برای افزایش این صفات به نتاج والدین خوبی می‌باشند. تلاقی‌های غریب × موسی‌طارم، اوندا × آمل۲، IR64724-67-2-1-2-2R × سپیدرود، فجر × سپیدرود، IR64724-67-2-1-2-2R × آمل۲، اوندا × دانش، IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، فجر × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، اوندا × آبجی‌بوجی، فجر × موسی‌طارم و غریب × صدری ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار داشتند. این کاهش می‌تواند به‌خاطر ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار والدینی هم‌چون فجر، آبجی‌بوجی، صدری، موسی‌طارم و IR64724-67-2-1-2-2R در این صفت باشد. برای صفت طول دانه، بیش‌ترین ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای تلاقی IR64724-67-2-1-2-2R × دانش، اوندا × آمل۲ و فجر × صدری می‌باشد که این موضوع به‌دلیل دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت ژنوتیپ‌های IR64724-67-2-1-2-2R، فجر، دانش و صدری می‌باشد. تلاقی IR64724-67-2-1-2-2R × دانش بزرگ‌ترین طول دانه با ۱۰/۸۵ میلی‌متر را دارا بود. برای صفت عرض دانه ارقام سپیدرود و موسی‌طارم برای عرض دانه با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار در جهت کاهش این صفت در نتاج نقش دارند. در صفت شکل دانه، ارقام سپیدرود، دانش و موسی‌طارم برای شکل دانه با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در جهت افزایش ارزش این خصوصیات در نتاج نقش دارند.

جدول ۲- قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها برای صفات مورد مطالعه.

Table 2. General combining ability of lines and testers for the studied traits.

برنج سالم Unbroken rice	برنج خرد Broken rice	پروتئین Protein	میزان روی Zn content	میزان آهن Fe content	فنل کل Total phenol	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	ژنوتیپ Genotype
							لاین‌ها Lines
-4.07**	4.57**	0.75**	1.26**	-6.73**	1.91**	-5.80**	۱. سپیدرود 1. Sepidroud
-1.33**	1.44**	0.78**	3.22**	5.81**	-0.37**	-4.82**	۲. آمل ۲ 2. Amol2
-1.06**	3.27**	-1.23**	-0.30	8.28**	1.44**	24.06**	۳. دانش 3. Danesh
4.25**	-4.92**	-2.13**	-1.62**	-1.98**	1.89**	-2.60*	٤. آبجی بوجی 4. Abjiboji
-2.31**	1.95**	0.88**	-2.52**	5.02**	1.03**	-5.88**	۵. موسی‌طارم 5. Musa-Tarom
4.53**	-6.30**	1.03**	-0.04	10.40**	-0.96**	-4.96**	٦. صدری 6. Sadri
							تسترها Testers
-5.50**	5.77**	-1.84**	1.45**	13.39**	0.23**	0.94**	۷. غریب 7. Gharib
0.81*	-0.12	-0.97**	4.69**	18.99**	-1.40**	-3.69**	۸. اوندا 8. Onda
3.06**	-4.44**	3.30**	-8.02**	-18.94**	0.10**	-2.59**	۹. IR64724-67-2-1-2-2R
1.62**	-1.21**	-0.48*	1.87**	-13.34**	1.06**	0.15*	۱۰. فجر 10. Fajr
0.19	0.14	0.10	0.25	0.16	0.01	0.04	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها Standard error of lines general combining ability
0.15	0.11	0.08	0.21	0.13	0.01	0.03	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها Standard error of testers general combining ability

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

عملکرد Yield	نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	عرض دانه Grain width	طول دانه Grain length	کارایی تبدیل Milling recovery efficiency	گچی‌بودن دانه Chalky of grain	ژنوتیپ Genotype
						لاین‌ها Lines
-20.44**	0.37**	-0.21**	-0.17**	0.35	5.81**	۱. سپیدرود 1. Sepidroud
-3.59**	-0.43**	0.03*	-0.82**	1.34**	1.52*	۲. آمل ۲ 2. Amol2
0.55	0.38**	0.04**	0.90**	1.63**	5.63**	۳. دانش 3. Danesh
7.17**	-0.18**	0.12**	0.15**	-0.65*	-6.36**	٤. آبجی بوجی 4. Abjiboji
6.30**	0.04*	-0.11**	-0.17**	-0.71	-1.26*	٥. موسی‌طارم 5. Musa-Tarom
10**	-0.19**	0.12**	0.10**	-1.96**	-5.35**	٦. صدری 6. Sadri
						تسترها Testers
0.34	-0.47**	0.19**	-0.31**	0.21	10.02**	۷. غریب 7. Gharib
-7.97**	-0.75**	0.31**	-0.61**	1.24*	7.54**	۸. اوندا 8. Onda
0.78	0.71**	-0.30**	0.42**	-1.48**	-7.40**	۹. IR64724-67-2-1-2-2R
7.53**	0.50**	-0.20**	0.50**	0.02	-10.14**	۱۰. فجر 10. Fajr
1.15	0.01	0.008	0.01	0.17	0.43	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها Standard error of lines general combining ability
0.93	0.01	0.007	0.01	0.22	0.35	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها Standard error of testers general combining ability

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات مورد مطالعه.

Table 3. Specific combining ability for the studied traits.

برنج سالم Unbroken rice	برنج خرد Broken rice	پروتئین Protein	میزان روی Zn content	میزان آهن Fe content	فنل کل Total phenol	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	ژنوتیپ Genotype
1.83**	-4.91**	2.07**	2.51**	-16.16**	0.89**	-1.81**	1x7
11.52**	-11**	2.12**	1.16*	-20.46**	-2.16**	1**	1x8
3.05**	-1.18**	-2.77**	-2.30**	21.41**	-3.08**	1.46**	1x9
-16.42**	17.10**	-1.41**	-1.64**	15.01**	4.35**	-0.65**	1x10
16.68**	-15.26**	-4.05**	-3.46**	13**	-2.17**	-0.002	2x7
-20.21**	19.46**	-3.39**	3.86**	18.43**	1.53**	2.35**	2x8
0.03	-0.18	9.39**	-2.21**	-18.18**	2.11**	0.53**	2x9
3.49**	-4.20**	-1.95**	1.81**	-13.25**	-1.47**	-2.89**	2x10
-17.22**	16.96**	-1.71**	0.62	-11.47**	-0.32**	1.10**	3x7
5.29**	-6.19**	-0.36	1.36**	-12**	0.68**	-12.56**	3x8
8.01**	-6.77**	-2.11**	-1.77**	6.95**	2.01**	6.14**	3x9
3.91**	-3.99**	0.76**	-0.25	16.52**	-2.36**	5.40**	3x10
6.54**	-4**	0.39	-0.24	1.81**	-2.42**	1.20**	4x7
4.79**	-3.25**	0.14	1.29*	-0.94**	-0.30**	2.90**	4x8
-14.25**	11.04**	-3.34	1.92*	9.66**	-0.87**	-1.67**	4x9
2.91**	-3.79**	2.90**	-2.97**	-10.53**	3.59**	-0.03	4x10
-3.07**	1.25**	1.33**	0.93	15.87**	2.60**	2.24**	5x7
-4.16**	4.25**	-2.92**	-10.93**	14.39**	0.47**	3.45**	5x8
7.41**	-4.51**	-1.64**	2.25**	-18.32**	-0.95**	-2.61**	5x9
-0.17	-0.99**	-1.46**	7.74**	-11.95**	-2.12**	-3.08**	5x10
-4.76**	5.96**	-1.71**	-0.37	-3.04**	1.42**	-0.33**	6x7
2.75**	-3.44**	1.82**	3.22**	0.39	-0.22**	2.93**	6x8
-4.26**	1.60**	1.35**	1.83**	-1.53**	0.78**	-1.72	6x9
6.27**	-4.12**	0.20	-4.69**	4.18**	-1.99**	-0.86**	6x10
0.38	0.29	0.29	0.51	0.32	0.03	0.08	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی Standard error of specific combining ability

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

عملکرد Yield	نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	عرض دانه Grain width	طول دانه Grain length	راندمان تبدیل Milling recovery efficiency	گچی‌بودن دانه Chalky of grain	ژنوتیپ Genotype
-0.99	0.37**	-0.18**	0.51**	-2.46**	14.43**	1x7
24.02**	-0.53**	0.30**	0.04*	-0.40	4.29**	1x8
-5.58*	0.75**	-0.22**	0.13**	2.15**	-10.39**	1x9
-17.44**	-0.59**	0.10**	-0.69**	0.70	-8.33**	1x10
-32.69**	-0.003	-0.05**	-0.24**	-0.35	5.88**	2x7
-13.91**	0.40**	0.19**	1.45**	3.55**	-11.03**	2x8
2.90	-0.001	-0.21**	-0.64**	-1.12**	-0.24	2x9
-15.88**	-0.40**	0.06**	-0.56**	-2.07**	5.39**	2x10
-22.94**	-0.64**	0.37**	-0.21**	-0.56	4.88**	3x7
-13.09**	-0.20**	-0.11**	-0.61**	-1.64**	-2.57**	3x8
3.58	0.51**	-0.03**	1.10**	1.72**	-0.60	3x9
32.45**	0.33**	-0.23**	-0.27**	0.48	-1.52	3x10
-6.47**	-0.02	-0.01	-0.25**	3.62**	-6.37**	4x7
6.95**	0.19**	-0.23**	-0.42**	0.52	-3.80**	4x8
-3.81	-0.44**	0.27**	0.23**	-3.35**	6.22**	4x9
3.34	0.27**	-0.03**	0.44**	-0.78*	3.95**	4x10
-5.11*	0.16**	0.02	0.46**	-1.79**	-11.89**	5x7
8.21**	0.11**	-0.25**	-0.54**	-0.34	9.82**	5x8
16.29**	-0.48**	0.29**	0.15**	3.13**	3.85**	5x9
-19.39**	0.20**	-0.06**	-0.06**	-0.99**	-1.78*	5x10
2.83	0.12**	-0.14**	-0.26**	1.55**	-6.92**	6x7
-12.18**	0.02	0.09**	0.10**	-1.68**	3.45**	6x8
-7.57**	-0.34**	-0.10**	-0.98**	-2.35**	1.17	6x9
16.92**	0.19**	0.15**	1.14**	2.67**	2.30**	6x10
2.30	0.03	0.01	0.02	0.35	0.86	خطای استاندارد قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی Standard error of specific combining ability

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

اجزای واریانس ژنتیکی: محاسبه اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورد بررسی نشان داد (جدول ٤) که واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی نسبت به واریانس ترکیب‌پذیری عمومی برای تمامی صفات بیش‌تر بوده که نشان‌دهنده برتری اثر غیرافزایشی ژن در وراثت‌پذیری صفات می‌باشد. پایین بودن مقادیر

نسبت‌های واریانس ترکیب‌پذیری عمومی نسبت به واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (مقادیر نزدیک به صفر) نیز این امر را تأیید می‌کند که این خود اهمیت بیش‌تر اثر غیرافزایشی ژن را در تظاهر صفات نشان می‌دهند. نکته قابل‌توجه این‌که، برآورد واریانس بعضی صفات به دلایل گوناگون مانند اشتباه نمونه‌برداری، پایین بودن تعداد داده‌ها، استفاده از مدل‌های آماری نادرست یا عدم وجود تنوع کافی منفی می‌شود (۱۹). در این آزمایش نیز، هنگام برآورد واریانس افزایشی برای درصد برنج خرد و سالم چنین مواردی مشاهده شد که به‌جای واریانس صفت مربوطه، عدد صفر منظور شد.

میزان پیشرفت ژنتیکی در صفات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان آهن، درصد برنج سالم، درصد گچی‌بودن دانه و عملکرد بیش‌تر از ۲۰ درصد بود که مقادیر نسبتاً خوبی است (۲). تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌های اصلاحی برای صفات مورد مطالعه بهتر است با توجه به نتایج توام وراثت‌پذیری خصوصی و پیشرفت ژنتیکی انجام گیرد. در این پژوهش، مقادیر وراثت‌پذیر عمومی برای صفات بالا ولی مقادیر وراثت‌پذیری خصوصی پایین بود. علاوه بر این مقدار پیشرفت ژنتیکی نیز در چند صفت نامبرده مطلوب بود (جدول ٤). بنابراین با توجه به وراثت‌پذیری خصوصی پایین و سهم کم‌تر واریانس افزایشی در کنترل این صفات، بازده گزینش برای این صفات پایین بوده با این‌حال امکان استفاده از والدین با ترکیب‌پذیری بالا در برنامه‌های به‌نژادی مبتنی بر انتخاب وجود دارد. شی و همکاران (۳۱) در کنترل ژنتیکی پروتئین اثر ژنتیکی اصلی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را دخیل دانسته و وراثت‌پذیری عمومی بالا برای پروتئین گزارش کردند. در مطالعه‌ای در بررسی اثر ژنتیکی میزان پروتئین نقش مهم‌تر غالبیت نسبت به افزایشی گزارش گردیده بود (۳۵). اله‌قلی‌پور و همکاران (٤) برای صفات عملکرد دانه و راندمان تبدیل سهم ناچیز واریانس افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی را گزارش نمودند که در این پژوهش نیز سهم واریانس افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی پایین بود. شریفی و اسلامی (۲۸) تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ را برای صفات پروتئین، عنصر آهن و روی انجام دادند که نتایج آن‌ها بیانگر نقش غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین و عنصر آهن بود. میزان عنصر روی تحت‌تأثیر هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی بود اما اثر غیرافزایشی بیش‌تر از اثر افزایشی بود. لطفی چمگاوی و همکاران (۲۲) نیز در مطالعات خود وراثت‌پذیری عمومی بالایی برای عملکرد شلتوک گزارش نمودند. بیک‌زاده و همکاران (۹) میزان وراثت‌پذیری عمومی بالای ۹۵ درصد را برای عملکرد شلتوک گزارش نمودند و هم‌چنین گزارش گردید که بیش‌ترین پیشرفت ژنتیکی مربوط به عملکرد برابر با ۵۲/۲۱ به‌دست آمد. نتایج این پژوهش با نتایج فوق مطابقت داشت. قربانی‌پور و ربیعی (١٦) با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها وجود اثر افزایشی و میزان وراثت‌پذیری خصوصی بالایی را در کنترل صفت پروتئین نشان دادند و برای طول شلتوک، درصد برنج سالم و خرد و نسبت طول به عرض دانه اثر غالبیت ژن‌ها را در کنترل این صفات دخیل دانستند. علت عدم مطابقت در بعضی نتایج به‌نظر می‌رسد که به‌دلیل تغییر در نوع مواد ژنتیکی (ژنوتیپ) به‌کار رفته باشد و روند یکسانی از نظر ماهیت ژنتیکی برای صفات مورد بررسی وجود ندارد (٢٦، ٢٣).

مقادیر ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات مورد بررسی در جدول ٤ آورده شده است. طبق جدول از نظر همه صفات مورد ارزیابی، تنوع قابل‌توجهی در میان ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. در میان صفات مختلف غذایی بیش‌ترین میزان تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی مربوط به‌میزان آهن دانه و میزان پروتئین دانه و برای صفات فیزیکی در درصد برنج خرد و درصد

گچی‌بودن دانه بود. بنابراین در مورد این صفات می‌توان گفت که منابع ژنتیکی خوبی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی جهت بهبود این صفات وجود دارد. ضریب تنوع ژنوتیپی بخشی از ضریب تنوع فنوتیپی بوده و از این‌رو مقدار آن همواره کم‌تر از ضریب تنوع فنوتیپی است. اختلاف ناچیز موجود بین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای ویژگی‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش عمده تنوع موجود ناشی از تفاوت ژنوتیپی می‌باشد و محیط تأثیر اندکی دارد (۵). در بررسی روی سه صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل و فلاونوئید در سه نوع برنج سفید، قرمز و سیاه بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در برنج سفید و قرمز و کم‌ترین مربوط به فلاونوئید بود (۳۰).

جدول ٤- اجزای واریانس ژنتیکی و سهم نسبی لاین‌ها و تسترها و اثر متقابل آن‌ها به واریانس کل در صفات مورد مطالعه.

Table 4. Genetic variance components and proportion contribution of line, tester and their interaction to total variance in the studied traits.

برنج سالم Unbroken rice	برنج خرد Broken rice	پروتئین Protein	میزان روی Zn content	میزان آهن Fe content	فنل کل Total phenol	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	
0.0	0.0	0.07	1.58	17.80	0.04	9.11	واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (δ^2_{gca}) General combining ability
65.46	57.78	6.66	9.56	138.11	3.22	10.25	واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (δ^2_{sca}) Specific combining ability
0.006	0.01	0.01	0.16	0.12	0.01	0.88	$\delta^2_{gca}/\delta^2_{sca}$
0.43	0.25	0.12	0.80	0.31	0.002	0.02	واریانس محیطی Environmental variance
101.81	83.80	57.79	57.09	779.76	20.05	235.55	واریانس ژنتیکی Genetic variance
102.24	84.05	57.91	57.79	780.07	20.052	235.57	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance
0.0	0.0	0.31	6.34	71.20	0.17	36.46	واریانس افزایشی Additive variance
261.85	231.12	26.64	38.24	552.46	12.89	41.02	واریانس غالبیت Dominant variance
99.57	99.70	99.79	98.61	99.95	99.99	99.99	وراثت‌پذیری عمومی General heritability
6.89	2.98	0.53	10.95	9.12	0.84	15.47	وراثت‌پذیری خصوصی Specific heritability
20.62	18.69	15.51	15.36	56.95	9.22	31.30	پیشرفت ژنتیکی Genetic advance
18.86	61.07	40.88	21.05	44.46	13.12	36.93	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic Coefficient of variation
18.82	60.98	40.88	21.005	44.46	13.12	36.93	ضریب تغییرات ژنوتیپی Genotypic Coefficient of variation

ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

عملکرد Yield	نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	عرض دانه Grain width	طول دانه Grain length	راندمان تبدیل Milling recovery efficiency	گچی‌بودن دانه Chalky of grain	
0.83	0.03	0.004	0.02	0.03	6.20	واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (δ^2_{gca}) General combining ability
182.41	0.11	0.03	0.29	3.07	34.82	واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (δ^2_{sca}) Specific combining ability
0.004	0.27	0.13	0.06	0.009	0.17	$\delta^2_{gca}/\delta^2_{sca}$
15.88	0.003	0.0009	0.002	0.37	2.26	واریانس محیطی Environmental variance
372.53	0.72	0.14	1.68	22.98	136.77	واریانس ژنتیکی Genetic variance
388.41	0.723	0.1409	1.682	23.35	139.03	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance
3.35	0.12	0.01	0.09	0.13	24.81	واریانس افزایشی Additive variance
729.66	0.43	0.11	1.16	12.29	139.30	واریانس غالبیت Dominant variance
95.91	99.58	99.36	99.88	98.41	98.37	وراثت‌پذیری عمومی General heritability
0.86	16.67	7.14	5.35	0.55	19.22	وراثت‌پذیری خصوصی Specific heritability
38.56	1.74	0.77	2.67	9.75	23.80	پیشرفت ژنتیکی Genetic advance
37.69	22.21	16.77	15.56	7.01	76.07	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic Coefficient of variation
36.91	22.21	16.77	15.56	6.95	75.45	ضریب تغییرات ژنوتیپی Genotypic Coefficient of variation

هتروزیس: داده‌های برآورد شده از هتروزیس میانگین والدین و هتروزیس والد برتر (جدول ٥) نشان می‌دهد که برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به جز تلاقی غریب × دانش که هتروزیس مثبت و غیرمعنی‌داری داشت بقیه تلاقی‌ها هتروزیس والد برتر آن‌ها منفی و در جهت کاهش این صفت بود. اما تلاقی‌های غریب × دانش، IR64724R × دانش، اوندا × دانش و فجر × دانش هتروزیس، میانگین والدین مثبت و معنی‌دار داشتند. از بین این چهار تلاقی فقط تلاقی اوندا × دانش هتروزیس، میانگین والدین مثبت و معنی‌دار ولی هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار داشت، که نشان‌دهنده عمل غالبیت ناقص ژن در این تلاقی

می‌باشد (۷). برای میزان فنل دانه، تمامی هیبریدها دارای هتروزیس منفی و در جهت کاهش این صفت بودند (جدول ۵). برای عنصر آهن از ۲٤ هیبرید، سه هیبرید دارای هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و بقیه دارای هتروزیس منفی و معنی‌دار بودند و هیچ‌کدام از هیبریدها دارای هتروزیس والد برتر معنی‌دار نبودند. هتروزیس میانگین والدین برای عنصر آهن در تلاقی‌های غریب × آمل۲، اوندا × آمل۲ مثبت و معنی‌دار بود. در عنصر روی از ۲٤ هیبرید، نه هیبرید دارای هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و ۱۲ هیبرید دارای هتروزیس منفی و معنی‌دار بودند و از ۲٤ هیبرید تحت مطالعه، تنها یک هیبرید هتروزیس والد برتر مثبت اما غیرمعنی‌دار داشت (جدول ۵). از وجود هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار در تلاقی اوندا × آمل۲ می‌توان به عمل غالبیت ژن پی برد. هتروزیس میانگین والدین برای پروتئین نشان داد که ۲۰ هیبرید هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار داشتند و چهار هیبرید هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار داشتند. وجود هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار در تلاقی‌های غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، غریب × آبجی‌بوجی و اوندا × آبجی‌بوجی نشان از اثر غالبیت ژن در این تلاقی‌ها دارد که برای افزایش پروتئین، مطلوب و مناسب می‌باشند (جدول ۵).

هتروزیس میانگین والدین برای درصد برنج خرد نشان داد که از ۲٤ هیبرید، ۱۳ هیبرید هتروزیس منفی و معنی‌دار داشتند و چهار هیبرید هتروزیس والد برتر منفی و معنی‌دار داشتند (جدول ۵). بطور کلی، از ۲٤ هیبرید فقط در چهار هیبرید هر دو نوع هتروزیس محاسبه‌شده منفی و معنی‌دار بود که حاکی از اثر فوق غالبیت ژن در کنترل صفت بود و در هفت هیبرید هتروزیس میانگین والدین منفی و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر منفی و غیرمعنی‌دار بود که بیانگر اثر غالبیت ژن در کنترل صفت برای این تلاقی‌ها بود. وجود هتروزیس منفی در این صفت در جهت افزایش کیفیت ظاهری و بازارپسندی برنج بسیار مهم می‌باشد و هر چقدر میزان برنج خرد کم‌تر باشد تمایل بازار برای خرید آن برنج بیش‌تر خواهد بود. هتروزیس میانگین والدین برای درصد برنج سالم نشان داد که از ۲٤ هیبرید، ۱۸ هیبرید هتروزیس مثبت و معنی‌دار داشتند و ۱۸ هیبرید هتروزیس والد برتر مثبت و معنی‌دار داشتند (جدول ۵). به‌طورکلی با توجه به نتایج هر دو نوع هتروزیس، از ۲٤ هیبرید در ۱٦ هیبرید هر دو نوع هتروزیس محاسبه‌شده مثبت و معنی‌دار بود که بیانگر اثر فوق غالبیت ژن در کنترل صفت برای این ۱٦ تلاقی بود و فقط یک هیبرید هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار بود که بیانگر اثر غالبیت ژن در کنترل صفت برای این تلاقی بود.

درصد گچی‌بودن یا شکم سفیدی دانه یکی از صفات نامطلوب در دانه برنج بوده و از میزان بازارپسندی برنج می‌کاهد. بنابراین داشتن برنج‌های با میزان کم‌تر گچی‌بودن می‌تواند مفید باشد. در مورد صفت درصد گچی‌بودن دانه، از ۲٤ هیبرید، ۱۵ هیبرید هتروزیس میانگین والدین منفی و معنی‌داری داشتند و از ۲٤ هیبرید، دو هیبرید فجر × سپیدرود و IR64724R × سپیدرود دارای هر دو هتروزیس منفی و معنی‌دار بودند که بیانگر اثر فوق غالبیت ژن و شش هیبرید دارای هتروزیس میانگین والدین منفی و

معنی‌دار و هتروزیس والد برتر منفی و غیرمعنی‌دار بودند که بیانگر اثر غالبیت ژن در این تلاقی‌ها بود. ۱۸ هیبرید برای طول دانه هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌داری داشتند و دو هیبرید هتروزیس والد برتر مثبت و معنی‌دار داشتند. به‌طورکلی در دو هیبرید هر دو نوع هتروزیس محاسبه‌شده مثبت و معنی‌دار بود که بیانگر اثر فوق غالبیت ژن در کنترل صفت بوده و سه هیبرید هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار بود که بیانگر اثر غالبیت ژن در کنترل صفت می‌باشد. ۱۸ هیبرید در عملکرد دارای هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار داشتند و ۱۲ هیبرید هتروزیس والد برتر مثبت و معنی‌دار داشتند. در مجموع از ٢٤ هیبرید مورد مطالعه، ۱۲ هیبرید هر دو نوع هتروزیس میانگین والدین و والد برتر مثبت و معنی‌دار را دارا بودند که نشان از اثر فوق غالبیت ژن برای این تلاقی‌هاست و شش هیبرید نیز هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار و هتروزیس والد برتر مثبت و غیرمعنی‌دار بود که نشان از اثر غالبیت ژن در کنترل عملکرد برای این تلاقی‌ها بود (جدول ۵). وجود هتروزیس مثبت و یا منفی برای صفات مورد مطالعه توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است (٦، ۷، ۸ و ۱۵). با توجه به این‌که فرضیات مختلفی برای بروز پدیده هتروزیس عنوان گردیده است اما یکی از فرضیات در مورد علت بروز هتروزیس، فرضیه غالبیت و فوق غالبیت است (۳ و ١٤)، بنابراین بزرگ بودن سهم واریانس غالبیت در این پژوهش، با مشاهده هتروزیس در بین هیبریدها مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج اجزای واریانس ژنتیکی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که نقش عمل غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات ارزش غذایی دانه، کیفیت فیزیکی و عملکرد، بسیار بارزتر بوده که این خود بهره‌گیری از هتروزیس و روش هیبریداسیون برای اصلاح این صفات را نشان می‌دهد. بررسی ترکیب‌پذیری عمومی والدین نشان داد که به‌طورکلی، تستر فجر و غریب به‌ترتیب بهترین ترکیب‌شونده از نظر عملکرد و خصوصیات ارزش غذایی به‌جز کربوهیدرات محلول و پروتئین و کاروتنوئید و پروتئین شناخته شدند و با توجه به نتایج هتروزیس، از بین تلاقی‌های مورد مطالعه برای انتخاب هم‌زمان صفات ارزش غذایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، عنصر آهن و روی و پروتئین و هم‌چنین بهبود کیفیت فیزیکی درصد برنج سالم، درصد گچی‌بودن دانه، کارایی تبدیل و طول دانه، تلاقی‌های اوندا × دانش و اوندا × آمل۲ و بهبود عملکرد به همراه بهبود عنصر روی، پروتئین، درصد برنج خرد و سالم، راندمان تبدیل و طول دانه تلاقی‌های اوندا × سپیدرود، غریب × آمل۲، فجر × آمل۲، فجر × آبجی‌بوجی، اوندا × موسی‌طارم و اوندا × صدری مطلوب می‌باشند. البته برای استفاده از پدیده هتروزیس و انتخاب مجزای هر صفت می‌توان از تلاقی‌های مطلوب دیگری نیز بهره جست. با ادامه مطالعه در زمینه سازگاری در سال‌ها و مکان‌های مختلف، این ترکیبات می‌توانند نویدبخش تولید ارقام جدید هیبرید برنج در کشور باشند.

جدول ۵- هتروزیس میانگین والدین (Ht) و هتروزیس والد برتر (Htb) صفات در تلاقی‌های برنج.

Table 5. Mid-parent heterosis (Ht) and heterobeltiosis (Htb) traits in rice crossings.

برنج سالم Unbroken rice		برنج خرد Broken rice		پروتئین Protein		میزان روی Zn content		میزان آهن Fe content		فنل کل Total phenol		ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity		تلاقی‌ها Crosses
Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	
18.78**	24.79**	-3.36	-11.21*	3.41	5.21**	-19.05**	19.82**	-52.77**	-41.23**	-18.86**	-7.24**	-49.60**	-31.56**	1x7
27.46**	41.02**	25.41	-40.09**	0.91	5.99**	-5.55	28.61**	-52.11**	-40.04**	-27.55**	-18.19**	-54.91**	-37.70**	1x8
10.82**	24.74**	58.91**	-7.10	-36.96**	-20.23**	-40.41**	-18.78**	-53.96**	-38.99**	-24.40**	-15.50**	-49.84**	-30.02**	1x9
-19.13**	-14.07**	107.47**	85.95**	-16.23**	-10.33**	-20.90**	9.01**	-52.33**	-39.99**	-17.77**	-1.99**	-51.52**	-31.86**	1x10
47.71**	61.81**	-62.01**	-68.18**	-25.86**	40.77**	-21.48**	1.12	-12.17**	45.33**	-31.07**	-21.11**	-45.38**	-25.78**	2x7
-29.46**	-25.30**	449.89**	194.15**	-23.75**	45.25**	4.57	32.85**	-3.07*	60.85**	-24.24**	-14.34**	-51.56**	-33.04**	2x8
10.29**	19.22**	34.17**	-12.10	-1.76	90.39**	-36.55**	-19.31**	-77.11**	-61.32**	-17.43**	-7.59**	-46.82**	-25.79**	2x9
29.59**	31.86**	-36.37**	-37.74**	-18.49**	55.69**	-9.56*	16.49**	-66.49**	-43.83**	-34.49**	-21.83**	-56.10**	-38.27**	2x10
-36.31**	-26.06**	258.76**	126.83**	-8.29*	69.43**	-20.30**	-2.22	-33.59**	-13.39**	-29.29**	-20.79**	0.08	58.53**	3x7
19.92**	20.52**	78.85**	30.88*	-19.64**	49.19**	-8.48	10.62**	-29.83**	-7.93**	-28.74**	-21.17**	-31.65**	9.48**	3x8
25.90**	27.72**	-20.85	-31.63**	-41.06**	12.29**	-43.25**	-31.33**	-53.46**	-36.66**	-20.24**	-12.68**	-1.15	63.02**	3x9
18.81**	24.65**	13.03	-9.37	-15.79**	56.78**	-21.28**	-3.41*	-37.42**	-16.22**	-38.54**	-28.13**	-5.66	52.77**	3x10
-3.80	7.93**	61.21**	20.73**	0.48	31.23**	-24.31**	-6.32**	-30.65**	-45.61**	-21.69**	-11.46**	-43.53**	-23.53**	4x7
0.05	95.88**	218.02**	95.88**	6.39	42.09**	-40.16**	-27.02**	-29.07**	50.06**	-28.27**	-19.90**	-51.50**	-33.14**	4x8
22.41**	-33.46**	-9.97	-33.46**	-36.96**	-4.44**	-39.31**	-25.90**	-59.95**	-63.36**	-26.37**	-18.63**	-52.62**	-34.13**	4x9
17.36**	-8.47**	-1.48	-8.47	-16.67**	12.76**	-9.17*	12.42**	-71.07**	-44.17**	-37.91**	-25.91**	-57.79**	-40.80**	4x10
23.77**	42.03**	-13.19	-38.83**	-18.54**	49.82**	-24.89**	-2.70	-10.15**	-29.17**	-26.46**	-18.59**	-43.82**	-22.95**	5x7
30.60**	31.76**	-1.19	-35.04**	-21.01**	46.03**	-11.56**	13**	-7.69**	-26.97**	-23.24**	-16.10**	-47.58**	-26.88**	5x8
-6.18*	-3.53**	90.47**	49.38**	-47.22**	0.27	-38.08**	-20.79**	-77.91**	-56.53**	-19.14**	-12.55**	-46.81**	-25.11**	5x9
30.80**	35.41**	63.83**	-68.11**	-10.09**	66.72**	-29.75**	-8.99**	-66.03**	-69.34**	-19.37**	-6.76**	-49.20**	-27.96**	5x10
11.27**	22.74**	-2.05	-10.69*	-12.20**	56.57**	-21.86**	-7.82**	-43.78**	-21.78**	-24.21**	-12.62**	-46.07**	-27.54**	6x7
27.16**	34.01**	-25.20	-63.91**	-15.07**	52.50**	-3.91	11.57**	-35.85**	-10.62**	-29.74**	-19.96**	-50.92**	-32.87**	6x8
13.27**	21.57**	-34.77**	-61.49**	-22.88**	43.74**	-34.84**	-24.25**	-76.74**	-66.53**	-22.01**	-12.06**	-50.5**	-31.15**	6x9
48.18**	49.64**	-81.51**	-83.30**	-3.07	74.76**	-30.04**	-17.46**	-65.39**	-50.92**	-36.78**	-24.01**	-53.53**	-35.33**	6x10

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

عملکرد yield		نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio		عرض دانه Grain width		طول دانه Grain length		راندمان تبدیل Milling recovery		گچی‌بودن دانه Chalky of grain		تلاقی‌ها Crosses
Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	
-21.06	-4.83	-9.28**	10.98**	-1.25	-6.92**	-10.37**	4.70**	11.17**	12.93**	251.15**	96.10**	1x7
16.36	21.68**	-36.24**	-27.81**	74.75**	47.63**	-18.47**	4.47**	19.84**	21.54**	154.67**	71.88**	1x8
-28.50	-18.56**	26.15**	52.41**	-11.31**	-19.27**	-6.51**	20.81**	17.56**	18.55**	-72.11**	-82.70**	1x9
-35.50*	-38.26**	-12.58**	-10.88**	24.42**	7.28**	-14.38**	-4.24**	13.79**	16.65**	-77.43**	-77.54**	1x10
184.91**	197.79**	-36.28**	-21.90**	32.14**	16.33**	-15.78**	-6.60**	15.96**	16.04**	134.29**	38.20**	2x7
-22.20	-6.23	-33.34**	-24.39**	82.76**	65.68**	1.01	23.73**	23.83**	27.62**	-3.08	-31.21**	2x8
50.15	67.19**	-9.47**	9.56**	3.08**	0.27	-11.65**	9.21**	12.02**	12.92**	-32.61	-55.98**	2x9
4.27	28.19**	-25.90**	-24.63**	36.99**	26.69**	-9.71**	-4.43**	10.99**	11.95**	-6.15	-9.29	2x10
-27.82	-10.8	-42.12**	-24.83**	43.01**	31.79**	-17.22**	1.47**	16.25**	16.33**	475.58**	95.03**	3x7
-23.33	-17.40**	-39.15**	-26.33**	64.07**	42**	-23.88**	1.73**	16.33**	19.73**	372.88**	79.61**	3x8
28.03	49.79**	-3.10	-32.40**	13.65**	5.83**	2.10*	37.45**	17.35**	18.13**	294.10**	-18.31**	3x9
99.96**	110.36**	-4.58	12.7**	19.27**	5.32**	-10.02**	5.90**	15.45**	16.60**	184.74*	15.65	3x10
74.49**	83.62**	-7.78*	5.70**	5.68**	3.27**	-2.51	9.58**	10.53**	10.94**	183.92*	-34.41**	4x7
53.39**	70.20**	-16.53**	-12.11**	44.53**	17.33**	-17.66**	2.03**	15.35**	18.38**	320.57**	111.14**	4x8
133**	136.82**	6.56*	20.48**	23.37**	8.06**	2.47	28.16**	16.55**	16.98**	145.68	-35.38**	4x9
18.58	34.61**	-2.38	7.27**	19.88**	-0.68**	0.94	8.39**	9.46**	10.88**	-44.93	-72.44**	4x10
54.51*	71.28**	-45.76**	-27.57**	40.97**	23.23**	-23.54**	-6.77**	18.06**	18.66**	96.53	-35.85**	5x7
52.39*	60.60**	-46.96**	-33.72**	61.61**	47.51**	-28.04**	-4.33**	14.80**	18.82**	97.92	-19.21**	5x8
64.45**	71.06**	-32.24**	-10.46**	35.72**	32.86**	-11.83**	18.16**	4.36	5.66**	23.01	-54.62**	5x9
71.50**	85.08**	-23.27**	-15.43**	36.27**	2.68**	-9.04**	6.45**	9.88**	10.34**	-53.45	-69.03**	5x10
131.79**	150.90**	-4.93	3.66**	3.82**	-3.61**	-14.52**	-0.71	6.65**	10.14**	56.66	-36.67**	6x7
13.95	41.38**	-16.96**	-16.67**	82.87**	31.98**	-13.66**	10.08**	3.36	9.83**	149.19**	24.47**	6x8
75.58**	101.96**	16.28**	24.96**	14.40**	-10.30**	-14.21**	10.31**	-1.99	1.93**	-52.55	-78.46**	6x9
108.29**	163.38**	-7.69**	6.58**	48.53**	9.66**	9.57**	21.80**	8.05**	10.585**	-71.66	-77.73**	6x10

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

منابع

1.Ahmadikhah, A. 2008. Estimation of heritability and heterosis of some agronomic traits and combining ability of rice lines using line × tester method. Elec. J. Crop Prod. 1: 2. 15-33. (In Persian)

2.Ajmera, S., Sudheer Kumar, S. and Ravindebabu, V. 2017. Evaluation of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield components in rice genotypes. Int. J. Pure Appl Biosci. 5: 4. 909-915.

3.Aliabadi, E., Amiri, R. and Lotfi, M. 2012. Inheritance of traits affecting flavor in cucumber and introduction of the best index for flavor breeding. Seed Palt Improv. J. 28-1: 1. 1-15. (In Persian)

4.Allahgholipour, M., Rabiee, B., Hossieni, M., Dorosti, H. and Mohammadi, M. 2007. Study general and specific combining ability of traits in parental lines of hybrid rice. J. Agric. 9: 1. 1-13. (In Persian)

5.Arab Tajandarreh, E., Ismaili, A., Rezaei Nejad, A. and Karami, F. 2016. Assessment of genetic diversity and heritability of physiological and phenological characteristics of some strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) genotypes under climatic conditions of Kurdistan, Iran. Plant Gen Res. 3: 2. 43-58. (In Persian)

6.Bagheri, N. and Babaeian Jelodar, N. 2010. Heterosis and combining ability analysis for yield and related-yield traits in hybrid rice. Int. J. Biol. 2: 2. 222-231.

7.Bagheri, N.A., Babaeian Jelodar, N.A. and Pasha, A. 2011. Heterosis and combining aability analysis for yield and related- yield traits in hybrid rice. J. Crop Breed. 3: 7. 11-26. (In Persian)

8.Baloch Zehi, A., Kiani, G. and Bagheri, N. 2016. Identification of Suitable Parents for Production of Hybrid Rice Varieties through Evaluation of Combining Ability and Heterosis. Agro. J. (Pajouhesh & Sazandegi). 108: 140-148. (In Persian)

9.Beikzadeh, H., Alavi Siney, S.M., Bayat, M. and Ezady, A.A. 2016. Estimation of Genetic Parameters of Effective Agronomical Traits on Yield in some of Iranian Rice Cultivar. Agro. J. (Pajouhesh & Sazandegi). 104: 73-78. (In Persian)

10.Bouis, H.E., Chassy, B.M. and Ochanda, J.O. 2003. Genetically Modified Food Crops and Their Contribution to Human Nutrition and Food Quality. Trends Food Sci. Technol. 14: 191-209.

11.Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgeram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye - Binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.

12.Butsat, S. and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant Capacities and Phenolic Compounds of the Husk, Bran and Endosperm of Thai Rice. Food Chem. 119: 2. 606-613.

13.Deng, G.F., Xu, X.R., Zhang, Y., Li, D., Gan, R.Y. and Li, H.B. 2013. Phenolic Compounds and Bioactivities of Pigmented Rice. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 53: 3. 296-306.

14.Farsi, M. and Bagheri, A. 2009. Principal Plant Breeding. Mashhad Jahad Univ. Press, 368p. (In Persian)

15.Gholizadeh Ghara, A., Nematzadeh, G., Bagheri, N., Ebrahimi, A. and Oladi, M. 2012. Evaluation of General and Specific Combining Ability in Parental Lines of Hybrid Rice. Inte. J. Agric. 2: 4. 455-460.

16.Ghorbanipour, A. and Rabiei, B. 2011. Genetic Analysis of Physical and Chemical Characteristics Associated with Grain Quality in Rice. Iranian J. Field Crop Sci. 42: 2. 339-347. (In Persian)

17.Goudia, B.D. and Hash, C.T. 2015. Breeding for High Grain Fe and Zn Levels in Cereals. Inte. J. Inno. Appl. Studies. 12: 2. 342.

18.Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C. and Monasteriol, I. 1999. Breeding for Micronutrient Density in Edible Portions of Staple Food Crops: Conventional Approaches. Field Crop Res. 60: 57-80.

19.Hamze, H., Saba, J., Jabari, F., Nassiri, J. and Alavi Hosseini, M. 2009. Estimation of Components Variation, Genotypic and Phenotypic Correlation Coefficients of Grain Yield and its Component in Bread Wheat (*Tritium aestivum* L.) Under Rainfed Conditions. Env Stresses Agri. Sci. 2: 1. 29-38. (In Persian)
20.Heydari, R., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N. and Najafi Zarrini, H. 2017. Determination of Genetic Relationships of Some Rice Genotypes Based on Main Nutritional Traits. J Crop Breed. Accepted for Published. (In Persian)
21.Kempthorne, O. 1957. An Introduction to Genetic Statistics, John wily and Nordskog, Inc. London: Chapman and Hall. Ltd.
22.Lotfi, L., Salehi, F. and Bagheri Faradonbe, H.R. 2015. Investigation of Phenotypic and Genetic Diversity and Evaluation of Relationship among Agronomic Traits in Cold Tolerant Lines of Rice (*oryza sativa*). Appl field crops res (pajouhesh & sazandegi). 28: 107. 159-166. (In Persian)
23.Rabiei, B. and Ali-Hossein Tayefeh, S. 2015. Evaluating of gene actions controlling grain cooking quality related traits in rice varieties. Cereal Res. 5: 1. 17-31. (In Persian)
24.Ravindra Babu, V. 2013. Importance and advantages of rice Biofortification with Iron and Zinc. J. SAT. 11: 1-6.
25.Roy, D. 2000. Plant Breeding Analysis and Exploitation of Variation. Alpha Science International LTD. 701p.
26.Sadeghi, S.M., Samizadeh, H. and Allahgholipour, M. 2010. Evaluation Combining Rice of Lines and Cultivars Used Diallel Analysis. Iranian J. Field Crop Sci. 41: 1. 131-139. (In Persian)
27.Shao, Y.F. and Bao, J.S. 2015. Polyphenols in Whole Rice Grain: Genetic Diversity and Health Benefits. Food Chem. 180: 86-97.
28.Sharfi, P. and Eslami, A. 2012. Genetic Effects of some Nutrient Quality Traits in Rice. Seed Palt Improv. J. 28-1: 3. 445-461. (In Persian)
29.Sharifi, P. 2013. Genetic Analysis of Nutritional Quality Traits in Milled Kernels of Hybrid Rice based on the Additive-Dominance Model. J. Trop. Agri. Food Sci. 41: 193-203.
30.Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, J. 2009. Total Phenolics, Flavonoids, Antioxidant Capacity in Rice Grain and their Relations to Grain Color, Size and Weight. J. Cereal Sci. 49: 1. 106-111.
31.Shi, G., Zhu, J., Yang, X., Yu, Y. and Wu, J. 1999. Genetic Analysis for Protein Content in Indica Rice. Euphytica. 107: 135-140.
32.Singh, R.K. and Singh, U.S. 2000. Aromatic Rices, India: Oxford and IBH publishing Co.
33.Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. Am. J. Enol. Vitic. 28: 1. 49-55.
34.Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. and Van der lee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University. Netherland.
35.Won, J.G., Yoshida, T. and Uchimura, Y. 2002. Genetic Effects on Amylose and Protein Contents in the Crossed Rice Seeds. Plant Prod. Sci. 5: 1. 17-21.
36.Yazdani, A., Mobser, H.R., Niknejad, Y. and Kheyri, N. 2015. Effect of planting pattern and split application of nitrogen fertilizer on qualitative traits and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) var. Koohsar in second cropping. J. Appl. Res. Plant Ecoph. 2: 1. 121-134. (In Persian)
37.Zaman, Q.U., Aslam, Z., Yaseen, M., Ihsan, M.Z., Khaliq, A., Fahad, S. and Naeem, M. 2018. Zinc biofortification in rice: Leveraging agriculture to moderate hidden hunger in developing countries. Arch. Agron. Soil Sci. 64: 2. 147-161.