نشریه علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳ (ص۵۲-۳۹)

ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی ارقام برنج (*Oryza sativa* L.) برای خصوصیات فیزیکی و کیفیت تبدیل شلتوک

مهران محمدی[۱]، بابک ربیعی[۲*]، محمدرضا علیزاده[۳]، میرحسین پیمان[۴] و مهرزاد اله‌قلی‌پور[۵]
۱، ۲ و۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران
۳ و۵. استادیار و مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۴ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۱۳)

چکیده

برای ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برخی از گونه‌های برنج برای خصوصیات فیزیکی و کیفیت تبدیل دانه، از طرح دای‌آلل کامل با پنج والد (هاشمی، واندانا، کادوس، شاه‌پسند و IR36) استفاده شد. سال ۱۳۹۰والدین و نتاج آنها (۲۵ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار در مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور (رشت) کشت و نه صفت در آنها ارزیابی شد. نتایج تجزیهٔ واریانس تفاوت‌های ژنتیکی معنادار بین تیمارها، ترکیب‌پذیری عمومی والدین و خصوصی هیبریدها را نشان داد و از این‌رو نقش آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات بررسی‌شده مشخص شد. معنادار شدن اثر تلاقی‌های معکوس برای همهٔ صفات آزمایشی، به‌جز درجهٔ سفیدی دانه‌ها، نیز نقش آثار مادری را در کنترل این صفات نشان داد. معنادار شدن نسبت MS^{GCA}/MS^{SCA}، نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) نزدیک یک و اندازهٔ وراثت‌پذیری خصوصی بالا برای خصوصیات فیزیکی دانه، نشان‌دهندهٔ سهم بیشتر آثار افزایشی نسبت به آثار غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات بود. درحالی‌که بی‌معنایی MS^{GCA}/MS^{SCA}، نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) پایین‌تر از یک و اندازهٔ وراثت‌پذیری خصوصی کم برای صفات تبدیل (بازدهی تبدیل، درصد برنج سفید سالم و درجهٔ سفیدی)، نشان‌دهندهٔ اهمیت آثار غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات بود. براساس نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل گرافیکی به روش هیمن، سایر خصوصیات فیزیکی مرتبط با کیفیت دانه با کنترل عمل غالبیت ناقص ژن‌ها و سایر خصوصیات تبدیل با کنترل عمل غالبیت کامل تا فوق غالبیت ژن‌ها قرار داشتند. همچنین گزینش نتاج برتر می‌تواند خصوصیات فیزیکی دانه‌ها را در جمعیت آزمایشی بهبود بخشد؛ اما برای خصوصیات تبدیل روش گزینش مؤثر نبوده و بهتر است از عمل غیرافزایشی ژن‌ها استفاده و هیبریدهایی برتر از والدین بررسی‌شده تولید شود.

واژه‌های کلیدی: اثر افزایشی، برنج قهوه‌ای، تلاقی دای‌آلل، درجهٔ سفیدی.

مقدمه

برنج مهم‌ترین محصول غذایی دنیای در حال توسعه و غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است. یک‌پنجم مردم دنیا برای معیشت خود به زراعت برنج چشم دارند و بیش از سه تا پنج میلیارد نفر از مردم نیز برای تأمین بیش از ۲۰ درصد از کالری روزانه‌شان به برنج وابسته هستند. در آسیا ،جایی‌که حدود ۹۰ درصد برنج در آن کشت می‌شود، بیش از ۲۰۰ میلیون مزرعهٔ برنج وجود دارد که مساحت بیشتر آنها کمتر از یک هکتار است (IRRI, 2013). کیفیت دانه در برنج همانند سایر غلات اهمیت زیادی دارد. از نظر مصرف‌کننده، کیفیت برنج تا اندازهٔ زیادی به خواص پخت، شکل ظاهری و طعم آن

تلفن: ۰۱۳۱۶۶۹۰۲۸۲ E-mail: rabiei@guilan.ac.ir

بستگی دارد. کیفیت دانهٔ برنج به‌صورت کیفیت تبدیل، کیفیت ظاهری دانه، کیفیت پخت، کیفیت غذایی و کیفیت خوراک ارزیابی می‌شود (Rabiei *et al*., 2004). با اینکه کیفیت تبدیل برنج یکی از مهم‌ترین خصوصیات در بازارپسندی آن است، اما نسبت به عملکرد دانه تحقیقات ناچیزی دربارهٔ نحوهٔ کنترل ژنتیکی آن انجام شده است که نتایج آنها نیز با توجه به زمینهٔ ژنتیکی گونه‌های آزمایشی متفاوت بوده است. در تحقیقی بر روی چهار لاین نرعقیم و نه لاین برگردانندهٔ باروری در طرح تلاقی دای‌آلل ناقص گزارش شد که طول دانهٔ قهوه‌ای و نسبت طول به عرض دانهٔ قهوه‌ای متأثر از آثار مادری بودند (Lin *et al*., 2001). براساس نتایج حاصل از تجزیهٔ دای‌آلل به روش‌های دوم و چهارم گریفینگ، معنادار بودن ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدها و هیبریدها برای صفات طول و عرض دانهٔ قهوه‌ای گزارش شد. البته در کنترل طول دانه قهوه‌ای سهم اثر افزایشی ژن‌ها بیشتر از اثر غیرافزایشی آنها مشاهده شد؛ درحالی‌که برای عرض دانهٔ قهوه‌ای سهم اثر غیرافزایشی ژن‌ها بیشتر بود (Rahimi *et al*., 2008). در پژوهشی نشان داده شد که در کنترل توارث طول، عرض و شکل دانهٔ برنج نقش آثار افزایشی ژن‌ها مهم‌تر از آثار غیرافزایشی است (Sharifi *et al*., 2009). در آزمایشی با سطوح رطوبتی مختلف، درجهٔ کرویت شلتوک گونهٔ هاشمی بین ۰/۳۴۸ تا ۰/۳۵۸ اندازه‌گیری شد (Askari *et al*., 2010). در تحقیقی دیگر نیز معنادار بودن ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی والدین برای صفات طول و عرض دانهٔ قهوه‌ای گزارش شد (Rahimi *et al*., 2010). براساس نتایج حاصل از تجزیهٔ دای‌آلل با روش دوم گریفینگ، اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین برای صفات طول و عرض دانه در سطح آماری ۱ درصد معنادار بود. همچنین برای این صفات، نسبت میانگین مربعات GCA به SCA معنادار بود که نشان‌دهندهٔ سهم بیشتر واریانس افزایشی نسبت به واریانس غالبیت بود (Sadeghi *et al*., 2010). در آزمایشی با چهار سطح رطوبتی ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد، ضخامت دانهٔ قهوه‌ای برای گونهٔ هاشمی ۱/۶۷ـ۱/۵۷ میلی‌متر و برای گونهٔ کادوس ۱/۶۶ـ۱/۶۲ میلی‌متر محاسبه شد. همچنین در این آزمایش درجهٔ کرویت دانهٔ قهوه‌ای در چهار سطح رطوبتی نامبرده، برای گونهٔ هاشمی ۰/۳۷۵ـ۰/۳۸۵ و برای گونهٔ کادوس ۰/۳۳۴ـ۰/۳۴۳ به‌دست آمد (Bagheri *et al*., 2011). در پژوهشی برای تعیین ترکیب‌پذیری و وراثت‌پذیری برخی از صفات فیزیکی برنج در یک طرح دای‌آلل کامل، نشان داده شد که صفات طول و شکل دانه با عمل افزایشی ژن‌ها کنترل می‌شود؛ درنتیجه امکان گزینش برای این صفات وجود دارد. درضمن برای این صفات وراثت‌پذیری بالایی گزارش شد (Asfaliza *et al*., 2012). از آنجا که تاکنون پژوهشی دربارهٔ ارزیابی خصوصیات ژنتیکی صفات فیزیکی و مرتبط با کیفیت تبدیل در گونه‌های برنج ایرانی انجام نشده است، این پژوهش با هدف ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی گونه‌های برنج و برآورد وراثت‌پذیری خصوصی این صفات انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی گونه‌های برنج و وراثت‌پذیری خصوصیات فیزیکی و کیفیت تبدیل دانه، پنج گونهٔ برنج به نام‌های هاشمی، واندانا، کادوس، شاه‌پسند و IR36 در قالب دای‌آلل کامل ۵ × ۵ تلاقی داده شدند. بذرهای حاصل از تلاقی‌های مستقیم و معکوس بین آنها به همراه بذرهای والدین (مجموعاً ۲۵ ژنوتیپ را تشکیل می‌دادند) سال ۱۳۹۰ در خزانه کشت شدند تا نشاهای مناسب تهیه شود. پس از مراقبت‌های لازم برای تولید نشاهای مناسب، هنگامی که نشاها به مرحلهٔ سه تا چهار برگی (حدود ۳۰ سانتی‌متر) رسیدند به زمین اصلی منتقل و در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ پژوهشی مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور کشت شدند. فاصلهٔ کرت‌ها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ تکرارها یک متر بود. نشاکاری به‌صورت تک بوته و به فاصلهٔ ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف و در هر ردیف هشت بوته کشت شد؛ بنابراین در هر کرت ۳۲ بوته وجود داشت. برای رشدونمو بهتر بوته‌ها مقدار ۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به مزرعه داده شد، کل کود فسفره هنگام آماده‌کردن زمین اصلی و دوسوم کود نیتروژن هنگام

انتقال نشا و یک‌سوم باقیمانده هنگام حداکثر پنجه‌دهی داده شد. همهٔ مراقبت‌های لازم طی رشدونمو بوته‌ها از قبیل آبیاری، وجین، واکاری و کنترل آفت‌ها و بیماری‌ها مطابق با استاندارد مؤسسهٔ تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) انجام شد. برای کنترل بیماری بلاست ۰/۵ کیلوگرم در هکتار (در مرحلهٔ برگی) از قارچ‌کش تری‌سیکلازول (بیم) و برای کنترل کرم ساقه‌خوار برنج ۱۵ کیلوگرم در هکتار (در نسل دوم) از سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد استفاده شد. وقتی بوته‌ها به مرحلهٔ برداشت و رشد کامل رسیدند، محصول واحدهای آزمایشی برداشت و سپس خرمنکوبی و بوجاری شد.

صفات بررسی‌شده شامل طول، عرض و ضخامت دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه (ضریب شکل)، قطر معادل، درجهٔ کرویت، بازدهی تبدیل (درصد کل برنج سفید به کل شلتوک)، درصد برنج سفید سالم (نسبت به کل برنج سفید) و درجهٔ سفیدی بودند. برای اندازه‌گیری صفات نامبرده، ۵۰ عدد دانهٔ قهوه‌ای سالم از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتالی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر طول، عرض و ضخامت آن اندازه‌گیری و از میانگین اعداد به‌دست‌آمده در محاسبات آماری استفاده شد. صفات نسبت وجه (Ra)، قطر معادل (Dp) و درجهٔ کرویت (ϕ) به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند (Mohsenin, 1986):

(رابطه ۱)

$$R_a = \frac{W}{L}$$

(رابطه ۲)

$$D_p = \left[4L\left(\frac{W+T}{4}\right)^2\right]^{1/3}$$

(رابطه ۳)

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L}$$

در این روابط L طول (میلی‌متر)، W عرض (میلی‌متر) و T ضخامت دانهٔ قهوه‌ای (میلی‌متر) است.

پس از مرحلهٔ پوست‌کنی با دستگاه پوست‌کن (JAPAN, SATAKE)، برنج قهوه‌ای به‌دست‌آمده، با استفاده از دستگاه سفیدکنندهٔ نوع مالشی آزمایشگاهی (USA, BALDOR)، سفید شد. زمان سفید شدن ۴۵ ثانیه درنظر گرفته شد. سپس با کمک دستگاه الک دوار آزمایشگاهی (JAPAN, SATAKE) برنج‌های سالم از شکسته جدا شدند و هر یک جداگانه وزن و صفات بازدهی تبدیل و درصد برنج سفید سالم (نسبت به کل برنج سفید) با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شدند:

(رابطه ۴)

بازدهی تبدیل = (وزن کل شلتوک / وزن کل برنج سفید) ×۱۰۰

(رابطه ۵)

درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید = (وزن کل برنج سفید / وزن برنج سفید سالم) ×۱۰۰

درجهٔ سفیدی برای هر یک از ژنوتیپ‌ها با استفاده از دستگاه مخصوص تعیین درجهٔ سفیدی (NEW THAILAND, AGRONIC) اندازه‌گیری شد که براساس مقدار بازتابش نور تابیده‌شده به نمونه‌ها عمل می‌کند. برای تجزیه وتحلیل ژنتیکی صفات بررسی‌شده، ابتدا تجزیهٔ واریانس طرح آزمایش در قالب روش اول گریفینگ (Griffing, 1956a; Griffing, 1956b) مدل ثابت انجام و سپس نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) براساس رابطهٔ ۶ محاسبه شد (Baker, 1978):

(رابطه۶)

نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) = 2MSGCA / (2MSGCA+MSSCA)

در این رابطه، MSGCA و MSSCA به‌ترتیب میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی هستند. واریانس افزایشی (σ_A^2)، واریانس غالبیت (σ_D^2) و سپس وراثت‌پذیری خصوصی (h_n^2) با استفاده از روابط ۷، ۸ و ۹ محاسبه شدند (Griffing, 1956a):

$$\sigma_A^2 = 2\sigma_{GCA}^2$$

(رابطه۷)

(رابطه۸)

$$\sigma_D^2 = \sigma_{SCA}^2$$

(رابطه۹)

$$h_n^2 = \frac{\sigma_A^2}{\left(\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}\right)}$$

در روابط بالا σ_{GCA}^2 واریانس ترکیب‌پذیری عمومی، σ_{SCA}^2 واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی، σ_e^2 واریانس محیطی و r تعداد تکرار است. برای آزمونِ معنادار بودنِ اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین و اثر تلاقی‌های معکوس از آزمون t استفاده شد. همهٔ محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و در صورت فقدان آثار اپیستازی بین ژن‌ها، تجزیه‌وتحلیل گرافیکی به روش هیمن (Hayman, 1954) انجام شد. برآورد پارامترهای ژنتیکی و شاخص‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار Diall98 (Ukai, 2006) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ابتدا طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد که نتیجهٔ آن حاکی از طبیعی بودن توزیع داده‌ها برای همهٔ صفات بود. براساس تجزیهٔ واریانس صفات (جدول۱)، میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای همهٔ صفات بررسی‌شده در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود که نشان‌دهندهٔ وجود تفاوت ژنتیکی بسیار معناداری بین والدین و هیبریدهای حاصل از آنها، از نظر صفات نامبرده است. از این‌رو انجام تجزیهٔ دای‌آلل برای صفات ممکن شد. نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و اثر تلاقی‌های معکوس برای صفات نشان داد که ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برای سایر صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (به استثنای درصد برنج سفید سالم که در سطح احتمال ۵ درصد معنادار شد)؛ این نتیجه نشان‌دهندهٔ اهمیت اثر افزایشی ژن‌ها بر کنترل صفات بررسی‌شده بود. ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) هیبریدها نیز به غیر از درصد برنج سفید سالم (در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود) برای سایر صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد که اهمیت آثار غیرافزایشی ژن‌ها را بر کنترل این صفات نشان می‌دهد. همچنین آزمون اثر تلاقی‌های معکوس نیز نشان داد که به‌جز درجهٔ سفیدی دانه‌ها، برای سایر صفات اثر تلاقی‌های معکوس معنادار بود (جدول۱)؛ بنابراین آثار مادری نیز در کنترل خصوصیات فیزیکی و کیفیت تبدیل دانه در گونه‌های برنج آزمایشی نقش مهمی دارند.

نسبت واریانس GCA به واریانس SCA برای صفات طول، عرض و ضخامت دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه، قطر معادل و درجهٔ کرویت در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود؛ در حالی‌که برای صفات بازدهی تبدیل، درصد برنج سفید سالم و درجهٔ سفیدی این نسبت بی‌معنا بود. همچنین نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) برای خواص فیزیکی دانه شامل طول، عرض و ضخامت دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه، قطر معادل و درجهٔ کرویت، بالا و نزدیک به یک و برای صفات بازدهی تبدیل، درصد برنج سفید سالم و درجهٔ سفیدی، کم و تزدیک نیم بود. معنادار بودن نسبت واریانس GCA به SCA و نزدیک یک بودن نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) برای صفات فیزیکی بررسی‌شده نشان‌دهندهٔ نقش بیشتر اثر افزایشی ژن‌ها نسبت به اثر غیرافزایشی ژن‌ها برای کنترل این صفات بود. در حالی‌که برای صفات مرتبط با کیفیت تبدیل، معنادار نبودن واریانس GCA به SCA و پایین بودن نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) نشان‌دهندهٔ نقش کمتر آثار افزایشی ژن‌ها و نقش بیشتر آثار غیرافزایشی ژن‌ها بود.

برآورد وراثت‌پذیری خصوصی صفات فیزیکی نشان داد که اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات نقش عمده‌ای دارد؛ از این‌رو ارزش اصلاحی آنها بالاست و انتخاب این صفات برای تحقق اهداف اصلاحی نتیجه‌بخش است. حال آنکه برآورد وراثت‌پذیری خصوصی صفات تبدیل نشان از نقش بیشتر آثار غیرافزایشی ژن‌ها داشت و انتخاب برای این صفات موفقیت‌آمیز نخواهد بود. نتایج مشابه و متفاوتی در این خصوص از محققان دیگر گزارش شده است. برخی از محققان، سهم بیشتر اثر افزایشی ژن‌ها را در کنترل

صفات طول و عرض دانه (Singh & Shrivastava, 1982; Kuo & Liu, 1986; Fu *et al*., 1994; Honarnejad *et al*.,1998; Bagheri *et al*., 2002) گزارش کردند.

جدول ۱. خلاصه تجزیهٔ واریانس صفات به روش اول گریفینگ (با مدل ثابت) و برآورد نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) و وراثت‌پذیری خصوصی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات صفات								
		طول دانهٔ قهوه‌ای	عرض دانهٔ قهوه‌ای	ضخامت دانهٔ قهوه‌ای	نسبت وجه	قطر معادل	درجهٔ کرویت	بازدهی تبدیل	درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید	درجهٔ سفیدی
بلوک	۲	۰/۱۱۴۹۵**	۰/۰۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۰۶۸^{ns}	۰/۰۰۰۲۲*	۰/۰۰۴۴۳^{ns}	۰/۰۰۰۲۱**	۰/۷۹۱۶۹^{ns}	۲۸/۶۶۲۱۰^{ns}	۱۴/۰۶۲۵۳^{ns}
ژنوتیپ	۲۴	۱/۴۳۵۰۳**	۰/۰۵۰۸۶**	۰/۰۱۱۷۹**	۰/۰۰۵۹۹**	۰/۰۳۶۸۰**	۰/۰۰۳۲۵**	۱۲/۳۲۵۳۹**	۱۲۰/۶۶۰۸۰**	۷۴/۳۳۹۳۶**
GCA	۴	۲/۶۱۳۴۰**	۰/۰۸۴۶۰**	۰/۰۱۴۸۸**	۰/۰۱۰۹۳**	۰/۰۵۷۰۵**	۰/۰۰۶۰۰**	۵/۶۸۹۱۸**	۵۸/۸۲۸۷۰*	۲۲/۳۲۴۶۳**
SCA	۱۰	۰/۰۵۴۴۷**	۰/۰۰۵۸۲**	۰/۰۰۱۷۱**	۰/۰۰۰۳۰**	۰/۰۰۳۰۰**	۰/۰۰۰۱۶**	۵/۴۰۰۴۵**	۳۵/۴۵۷۳۱*	۴۸/۱۴۷۶۶**
r (اثر مادری)	۱۰	۰/۰۴۸۰۴**	۰/۰۰۱۰۷**	۰/۰۰۱۸۰**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۳۶۲**	۰/۰۰۰۰۴**	۲/۱۸۳۷۴*	۳۷/۵۴۰۳۶*	۲/۳۹۵۷۴^{ns}
اشتباه آزمایشی	۴۸	۰/۰۰۶۷۴	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹۵۰۶	۱۶/۷۷۵۷۰	۱/۶۸۲۰
MS_{GCA}/MS_{SCA}		۴۷/۹۷۹**	۱۴/۵۳۶**	۸/۷۰۲**	۳۶/۴۱۷**	۱۹/۰۱۷**	۳۷/۵۰۰**	۱/۰۵۲^{ns}	۱/۶۵۹ ^{ns}	۰/۴۶۴^{ns}
نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی)		۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۶۸	۰/۷۷	۰/۴۸
h^2_n		۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۷۰	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۰۳	۰/۱۵	a

ns، * و ** به‌ترتیب بی‌معنا و معنادار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

a به دلیل کوچک‌تر بودن واریانس GCA نسبت به واریانس SCA، وراثت‌پذیری خصوصی محاسبه نشد.برخی دیگر از محققان، سهم بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها را در کنترل صفت عرض دانه (Murai *et al*., 1987; Leng & Hong, 2004; Rahimi *et al*., 2008) و نیز صفت طول دانه (Murai *et al*., 1987) گزارش کردند. همچنین Surek & Kurkut (1998) در کنترل صفات طول و عرض دانه و Singh & Singh (1985) در کنترل صفت عرض دانه نقش هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی را مؤثر دانستند. علت این تفاوت‌ها ممکن است نوع والدهای آزمایشی، چگونگی توزیع آلل‌ها در والدها، زمان و مکان اجرای آزمایش و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط باشد. Saeidzadeh (2010) معنادار بودن اثر متقابل سال × ژنوتیپ برای صفات طول شلتوک و نسبت طول به عرض شلتوک را نشان داد، ولی برای عرض شلتوک این اثر بی‌معنا شد. Nomani *et al*. (2011) برای صفات طول و عرض دانه و نسبت طول به عرض دانه اثر متقابل ژنوتیپ × سال را بی‌معنا به‌دست آوردند.

مقایسهٔ میانگین بین ژنوتیپ‌ها به روش توکی در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد (جدول۲). میانگین صفت طول دانهٔ قهوه‌ای بین والدین بین ۸/۲۴۰ـ۵/۸۹۷ میلی‌متر متغیر و به‌ترتیب متعلق به گونه‌های واندانا و شاه‌پسند بود. بین هیبریدها تلاقی شاه‌پسند × کادوس با میانگین ۸/۲۴۳ میلی‌متر بیشترین طول دانهٔ قهوه‌ای و تلاقی واندانا × IR36 با میانگین ۶/۰۴۰ میلی‌متر کمترین طول دانهٔ قهوه‌ای را نشان دادند.

میانگین صفت عرض دانهٔ قهوه‌ای بین والدین ۲/۳۸۰ـ۱/۹۲۰ میلی‌متر متغیر و به‌ترتیب متعلق به گونه‌های کادوس و واندانا بود. میان هیبریدها تلاقی هاشمی × واندانا با میانگین ۲/۳۸۷ میلی‌متر بیشترین عرض دانهٔ قهوه‌ای و تلاقی IR36 × کادوس با میانگین ۲/۰۲۰ میلی‌متر کمترین عرض دانهٔ قهوه‌ای را داشتند.

پس از بررسی میانگین ضخامت دانهٔ قهوه‌ای در والدین مشاهده شد که گونه‌های شاه‌پسند و هاشمی به‌ترتیب با میانگین ۱/۸۹۷ و ۱/۶۶۷ میلی‌متر بیشترین و کمترین ضخامت دانهٔ قهوه‌ای را بین والدین داشتند. میان هیبریدها نیز تلاقی شاه‌پسند × واندانا با میانگین ۱/۸۲۷ میلی‌متر بیشترین ضخامت دانهٔ قهوه‌ای و تلاقی‌های واندانا × کادوس و شاه‌پسند × IR36 با میانگین ۱/۶۵۳ میلی‌متر کمترین ضخامت دانهٔ قهوه‌ای را داشتند. میانگین صفت نسبت وجه (ضریب شکل) بین والدین ۰/۴۰۳ـ۰/۲۴۷ به‌ترتیب برای گونه‌های کادوس و واندانا متغیر بود. بین هیبریدها تلاقی واندانا × IR36 با میانگین ۰/۳۸۷ بیشترین نسبت وجه (ضریب

شکل) و تلاقی شاه‌پسند × کادوس با میانگین ۰/۲۶۰ کمترین نسبت وجه (ضریب شکل) را داشتند.

میانگین صفت قطر معادل بین والدین ۳/۲۵۷ـ۲/۸۹۰ میلی‌متر به‌ترتیب برای گونه‌های IR36 و شاه‌پسند متغیر بود. بین هیبریدها نیز تلاقی هاشمی × شاه‌پسند با میانگین ۳/۱۷۳ میلی‌متر بیشترین قطر معادل و تلاقی کادوس × واندانا با میانگین ۲/۸۷۷ میلی‌متر کمترین قطر معادل را داشتند.

جدول۲. مقایسهٔ میانگین بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات نامبرده با آزمون توکی

		صفات مورد مطالعه								
	تلاقی‌ها	طول دانهٔ قهوه‌ای	عرض دانهٔ قهوه‌ای	ضخامت دانهٔ قهوه‌ای	نسبت وجه	قطر معادل	درجهٔ کرویت	بازدهی تبدیل	درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید	درجهٔ سفیدی
والدین	هاشمی	۷/۵۷۰cd	۲/۰۰۳i j	۱/۶۶۷f g	۰/۲۶۳l m	۲/۹۴۷ef g	۰/۳۸۷hi j	۶۸/۹۲۰a	۸۰/۴۵۰ ab	۳۸/۶۶۷abc
	واندانا	۵/۸۹۷k	۲/۳۸۰a	۱/۷۰۰def g	۰/۴۰۳a	۲/۹۰۷f g	۰/۴۹۰a	۶۶/۴۳۰abcd	۶۷/۳۸۰ ab	۴۶/۱۰۰a
	کادوس	۷/۸۰۷abc	۱/۹۲۰j	۱/۶۸۳ef g	۰/۲۴۷m	۲/۹۳۷f g	۰/۳۷۷j	۶۵/۸۴۷abcd	۶۳/۵۸۰ ab	۴۴/۹۶۷ab
	شاه‌پسند	۸/۲۴۰a	۲/۱۹۷cdef	۱/۸۹۷a	۰/۲۶۷kl m	۳/۲۵۷a	۰/۳۹۳hi j	۶۳/۴۰۰abcd	۷۵/۴۹۳ ab	۳۸/۵۶۷abc
	I R۳۶	۶/۶۸۰hi	۲/۱۰۷ef ghi	۱/۶۹۳ef g	۰/۳۱۳f ghi	۲/۸۹۰g	۰/۴۳۳ef	۶۵/۹۶۷abcd	۵۹/۱۲۳b	۳۶/۵۳۳cde
تلاقی‌های مستقیم	هاشمی× واندانا	۶/۴۴۷i j	۲/۳۸۷a	۱/۷۳۰bcdef g	۰/۳۷۳bc	۳/۰۱۰cdef g	۰/۴۶۷bcd	۶۷/۸۷۷abcd	۷۰/۶۴۷ ab	۳۸/۷۶۷abc
	هاشمی× کادوس	۷/۶۱۷bcd	۲/۰۹۷ef ghi	۱/۷۳۳bcdef g	۰/۲۷۷j kl	۳/۰۳۷bcdef	۰/۳۹۷hi j	۶۸/۱۷۷ab	۸۵/۹۱۷a	۳۹/۳۰۰abc
	هاشمی× شاه‌پسند	۷/۷۲۳bcd	۲/۲۶۷abcd	۱/۷۹۷abcd	۰/۲۹۳hi j k	۳/۱۷۳ab	۰/۴۰۷gh	۶۵/۹۵۰abcd	۷۰/۳۸۳ ab	۳۸/۴۶۷abc
	هاشمی× I R۳۶	۶/۸۵۳f ghi	۲/۲۰۰cde	۱/۷۶۳bcdef	۰/۳۲۳ef g	۲/۹۹۳def g	۰/۴۳۷ef	۶۵/۸۳۷abcd	۷۷/۳۹۳ ab	۲۸/۷۰۰e
	واندانا× کادوس	۶/۶۸۷ hi	۲/۱۵۷ cdef g	۱/۶۵۳ g	۰/۳۲۰ ef gh	۲/۸۹۳ g	۰/۴۳۰ef	۶۱/۸۹۰cd	۷۰/۹۱۰ ab	۲۸/۶۳۳ e
	واندانا× شاه‌پسند	۶/۸۲۰f ghi	۲/۳۶۰a	۱/۸۱۰abc	۰/۳۴۷cde	۳/۰۹۷bcd	۰/۴۵۰cde	۶۸/۱۶۳ab	۷۶/۹۸۷ ab	۴۲/۱۳۳abc
	واندانا× I R۳۶	۶/۰۴۰j k	۲/۳۲۷ab	۱/۶۹۳ef g	۰/۳۸۷ab	۲/۹۰۰f g	۰/۴۷۷ab	۶۷/۳۹۳abcd	۷۳/۱۹۷ ab	۳۶/۹۶۷bcd
	کادوس× شاه‌پسند	۸/۱۲۷ ab	۲/۱۳۳ ef gh	۱/۸۱۳ abc	۰/۲۶۳ l m	۳/۱۶۳ ab	۰/۳۹۰hi j	abcd ۶۷/۶۷۳	۶۹/۳۲۰ ab	۴۱/۴۶۷abc
	کادوس× I R۳۶	۷/۲۴۰ def g	۲/۰۷۳ f ghi	۱/۷۱۳ cdef g	۰/۲۸۷ i j kl	۲/۹۶۳ def g	۰/۴۰۷gh	۶۶/۸۶۰abcd	۶۸/۵۳۷ ab	۴۲/۶۳۳ abc
	شاه‌پسند × I R۳۶	۶/۵۳۳hi j	۲/۲۲۰bcde	۱/۶۵۳g	۰/۳۴۰ef	۲/۹۰۳f g	۰/۴۴۳e	۶۵/۲۱۳abcd	۶۷/۴۶۷ ab	۴۰/۹۰۰abc
تلاقی‌های معکوس	واندانا× هاشمی	۶/۳۸۷ i j k	۲/۳۷۰ a	۱/۷۵۰bcdef g	۰/۳۷۰ bcd	۳/۰۰۳ cdef g	۰/۴۷۰abc	۶۶/۰۴۰abcd	۷۳/۶۷۰ ab	۴۰/۵۶۷abc
	کادوس× هاشمی	۷/۶۲۷bcd	۲/۰۵۳ghi	۱/۷۲۷bcdef g	۰/۲۷۰kl m	۳/۰۱۰cdef g	۰/۳۹۳hi j	۶۸/۳۷۰ab	۷۱/۵۹۳ ab	۴۰/۱۶۷abc
	کادوس× واندانا	۶/۵۱۷ hi j	۲/۱۴۷ def g	۱/۶۸۰ef g	۰/۳۳۰ ef g	۲/۸۷۷ g	۰/۴۴۰ef	۶۲/۱۲۰bcd	۷۲/۵۲۰ ab	۲۸/۷۳۳ e
	شاه‌پسند × هاشمی	۷/۶۰۳cd	۲/۱۶۰cdef g	۱/۷۶۰bcdef	۰/۲۸۳j kl	۳/۰۸۰bcde	۰/۴۰۳ghi	۶۷/۱۴۷abcd	۷۸/۱۷۳ ab	۳۶/۲۶۷cde
	شاه‌پسند × واندانا	۶/۹۷۷ef gh	۲/۳۸۰a	۱/۸۲۷ab	۰/۳۴۳de	۳/۱۳۷abc	۰/۴۴۷de	۶۷/۸۸۳abcd	۷۵/۶۵۳ ab	۴۲/۴۰۰abc
	شاه‌پسند × کادوس	۸/۲۴۳a	۲/۱۲۷ef ghi	۱/۷۸۰bcde	۰/۲۶۰l m	۳/۱۵۷ab	۰/۳۸۳i j	۶۱/۷۷۷d	۸۲/۸۱۳ab	۴۲/۱۶۷abc
	I R۳۶× هاشمی	۶/۷۳۳ghi	۲/۱۸۳cdef	۱/۷۱۷cdef g	۰/۳۲۳ef g	۲/۹۴۷ef g	۰/۴۳۳ef	۶۷/۳۳۰abcd	۸۰/۲۸۷ ab	۲۹/۰۰۰de
	I R۳۶× واندانا	۶/۱۴۰j k	۲/۲۸۰abc	۱/۷۰۳def g	۰/۳۷۰bcd	۲/۹۰۰f g	۰/۴۷۰abc	۶۶/۸۴۳abcd	۷۵/۳۴۷ ab	۳۵/۸۰۰cde
	I R۳۶× کادوس	۷/۳۱۰cdef	۲/۰۲۰hi j	۱/۶۸۳ef g	۰/۲۷۷j kl	۲/۹۲۷f g	۰/۴۰۰ghi	۶۷/۷۸۰abcd	۷۰/۴۶۰ ab	۴۱/۱۳۳abc
	I R۳۶× شاه‌پسند	۷/۴۵۳cde	۲/۲۶۳abcd	۱/۸۲۳ab	۰/۳۰۳ghi j	۳/۱۴۳abc	۰/۴۲۰f g	۶۵/۹۶۰abcd	۸۳/۹۸۰ ab	۳۵/۰۰۰cde

در هر ستون، میانگین‌هایی که دست‌کم یک حرف مشترک دارند، برمبنای آزمون توکی در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری ندارند.

برمبنای بررسی میانگین صفت درجهٔ کرویت در والدین، گونه‌های واندانا و کادوس به‌ترتیب با میانگین ۰/۴۹۰ و ۰/۳۷۷ بیشترین و کمترین درجهٔ کرویت را در بین والدین داشتند. بین هیبریدها نیز تلاقی واندانا × IR36 با میانگین ۰/۴۷۷ بیشترین درجهٔ کرویت و تلاقی شاه‌پسند × کادوس با میانگین ۰/۳۸۳کمترین درجهٔ کرویت را نشان دادند. ارزیابی مقادیر میانگین صفت بازدهی تبدیل در والدین آزمایشی حاکی از آن بود که بیشترین بازدهی تبدیل متعلق به گونهٔ هاشمی و کمترین آن متعلق به گونهٔ شاه‌پسند به‌ترتیب با مقادیر ۶۸/۹۲۰ و ۶۳/۴۰۰ درصد بود. مقدار میانگین این صفت بین هیبریدهای بررسی‌شده بین مقادیر ۶۱/۷۷۷ و ۶۸/۳۷۰ درصد به‌ترتیب برای تلاقی‌های شاه‌پسند × کادوس و کادوس × هاشمی متغیر بود.

میانگین صفت درصد برنج سفید سالم (به کل برنج سفید) بین والدین مقادیر۵۹/۱۲۳ و ۸۰/۴۵۰ درصد به‌ترتیب برای گونه‌های IR36 و هاشمی متغیر بود. بین هیبریدها تلاقی شاه‌پسند × IR36 با میانگین نسبت ۶۷/۴۶۷ درصد و تلاقی هاشمی × کادوس با میانگین نسبت ۸۵/۹۱۷ درصد به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار نسبت را داشتند. دامنهٔ میانگین صفت درجهٔ سفیدی در والدین بررسی‌شده بین مقادیر ۳۶/۵۳۳ و

۴۶/۱۰۰ به‌ترتیب برای گونه‌های IR36 و واندانا متغیر بود. این دامنه بین هیبریدهای حاصل از تلاقی‌ها بین مقادیر ۲۸/۶۳۳ تا ۴۲/۶۳۳ متغیر بود که تلاقی واندانا × کادوس کمترین و تلاقی کادوس × IR36 بیشترین درجهٔ سفیدی را نشان دادند.

آثار ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) هر والد و آثار ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) برای هر تلاقی و اثر متقابل آمیزش‌های معکوس برای صفات بررسی‌شده (جدول۳) نشان داد برای صفت طول دانهٔ قهوه‌ای والدین هاشمی، کادوس و شاه‌پسند، GCA مثبت و معنادار داشتند؛ همچنین این گونه‌ها با میانگین طول دانهٔ قهوه‌ای بلند، والدینی هستند که در دورگ‌گیری‌ها قادر به افزایش طول دانهٔ قهوه‌ای در نسل بعدی هستند. در مقابل، والدین واندانا و IR36 دارای GCA منفی و معناداری بودند و با توجه به متوسط طول دانهٔ قهوه‌ای کوتاه، والدینی هستند که استفاده از آنها در برنامه‌های تلاقی ممکن‌است سبب کاهش طول دانهٔ قهوه‌ای در نتاج شود. تلاقی کادوس × شاه‌پسند، SCA مثبت و معنادار داشت، اما تلاقی‌های واندانا × کادوس و شاه‌پسند × IR36، SCA منفی و معنادار داشتند. نظر به اینکه بلندتر بودن طول دانه از مهم‌ترین صفات در بازارپسندی و افزایش قیمت برنج در کشورمان است، بنابراین می‌توان از تلاقی کادوس × شاه‌پسند برای افزایش طول دانه بهره برد. در خصوص اثر تلاقی‌های معکوس نیز این اثر فقط در تلاقی IR36 × شاه‌پسند مثبت و معنادار بود که نشان‌دهندهٔ نقش ژن‌های مادری والد IR36 روی صفت طول دانهٔ قهوه‌ای است و ممکن است موجب افزایش طول دانهٔ قهوه‌ای شود. آثار GCA و SCA و اثرمتقابل تلاقی‌های معکوس برای صفت عرض دانهٔ قهوه‌ای (جدول۳) نشان داد که والدهای هاشمی و کادوس، GCA منفی و معنادار داشتند. بنابراین استفاده از این والدها با GCA منفی و معنادار و متوسط عرض دانهٔ قهوه‌ای کم، در برنامه‌های دورگ‌گیری ممکن‌است سبب کاهش عرض دانهٔ قهوه‌ای در نسل بعدی شود. حال آنکه والدهای واندانا و شاه‌پسند با GCA مثبت و معناداری بودند. فقط تلاقی واندانا × کادوس، SCA منفی و معنادار داشت. با توجه به اینکه کمتر بودن عرض دانهٔ برنج صفتی مهم است و بیشتر مصرف‌کنندگان برنج‌های با عرض دانهٔ کمتر را می‌پسندد، از این‌رو به نظر می‌رسد بتوان از تلاقی واندانا × کادوس برای این منظور استفاده کرد و ارزش تجاری نتاج حاصل را افزایش داد. اثر تلاقی‌های معکوس برای صفت عرض دانهٔ قهوه‌ای فقط در تلاقی شاه‌پسند × هاشمی منفی و معنادار بود که نشانگر مؤثربودن ژن‌های مادری در والد شاه‌پسند روی عرض دانهٔ قهوه‌ای در این تلاقی است و موجب کاهش عرض دانهٔ قهوه‌ای می‌شود. بنابراین باید به این نکته در تلاقی‌های انجام‌شده در برنامه‌های اصلاحی توجه کرد.

برآورد اثر ترکیب‌پذیری عمومی والدها نشان داد که فقط والد شاه‌پسند دارای GCA مثبت و معناداری برای صفت ضخامت دانهٔ قهوه‌ای است و والدهای واندانا، کادوس و IR36، GCA منفی و معنادار دارند (جدول۳). از آنجا که دانه‌های با ضخامت بیشتر شاید از نظر شکل خیلی مطلوب نباشند و از بازارپسندی کمتری برخوردار باشند اما درعوض در مراحل تبدیل، شکستگی آنها کمتر است. در مقابل دانه‌های با ضخامت کمتر بازارپسندی بهتری دارند اما شکستگی آنها بیشتر است. از این‌رو با توجه به هدف برنامه‌های اصلاحی و اهمیت هر صفت، گزینش دانه‌های با ضخامت مناسب امکان‌پذیر است. درنتیجه برای افزایش ضخامت دانه در نسل بعدی، استفاده از والد شاه‌پسند در برنامه‌های تلاقی اصلاح نباتات ممکن‌است نتیجه‌بخش باشد. حال آنکه ممکن است استفاده از والدهای واندانا، کادوس و IR36 در برنامه‌های دورگ‌گیری، ضخامت دانهٔ قهوه‌ای را در نسل بعدی کاهش دهد. بین تلاقی‌ها نیز هاشمی × واندانا، هاشمی × کادوس، هاشمی × IR36 و واندانا × شاه‌پسند با SCA مثبت و معنادار و تلاقی‌های واندانا × کادوس و شاه‌پسند × IR36، SCA منفی و معنادار داشتند که با توجه به هدف مورد نظر، به‌ترتیب برای افزایش و کاهش ضخامت دانهٔ قهوه‌ای استفاده می‌شوند. بین تلاقی‌های معکوس نیز فقط تلاقی IR36 × شاه‌پسند دارای اثر مثبت و معنادار بود که نشان‌دهندهٔ مؤثربودن ژن‌های مادری والد IR36 برای صفت ضخامت دانهٔ قهوه‌ای در این تلاقی است و در افزایش این صفت نیز نقش دارد.

جدول۳. ترکیب‌پذیری عمومی والدین، خصوصی هیبریدها و اثر تلاقی‌های معکوس برای صفات فیزیکی و کیفیت تبدیل در برنج

		صفات مورد مطالعه								
	تلاقی‌ها	طول دانهٔ قهوه‌ای	عرض دانهٔ قهوه‌ای	ضخامت دانهٔ قهوه‌ای	نسبت وجه	قطر معادل	درجهٔ کرویت	بازدهی تبدیل	درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید	درجهٔ سفیدی
والدین	هاشمی	۰/۱۲۲۲ **	-۰/۰۲۰۱ *	-۰/۰۰۷۰ ns	-۰/۰۰۹۳ **	۰/۰۰۴۷ ns	-۰/۰۰۷۷ **	۱/۱۸۲۸ *	۳/۲۴۵۱ *	-۱/۳۰۴۷ *
	واندانا	-۰/۷۱۰۷ **	۰/۱۲۴۳ **	-۰/۰۱۳۳ *	۰/۰۵۱۳ **	-۰/۰۴۷۰ **	۰/۰۳۷۳ **	-۰/۱۶۶۹ ns	-۱/۲۸۲۲ ns	۰/۴۵۸۷ ns
	کادوس	۰/۴۰۷۲ **	-۰/۱۲۷۷ **	-۰/۰۲۳۰ **	-۰/۰۳۵۷ **	-۰/۰۲۰۰ *	-۰/۰۲۶۴ **	-۰/۶۳۹۹ ns	-۱/۷۲۸۲ ns	۱/۲۵۵۳ *
	شاه‌پسند	۰/۵۰۵۲ **	۰/۰۳۷۹ **	۰/۰۶۷۷ **	-۰/۰۱۶۷ **	۰/۱۲۶۷ **	-۰/۰۱۲۷ **	-۰/۶۱۷۲ ns	۱/۹۲۵۱ ns	۱/۴۳۲۰ *
	IR۳۶	-۰/۳۲۴۵ **	-۰/۰۱۴۴ ns	-۰/۰۲۴۳ **	۰/۰۱۰۳ **	-۰/۰۶۴۳ **	۰/۰۰۹۶ **	۰/۲۴۱۱ ns	-۲/۱۵۹۹ ns	-۱/۸۴۱۳ **
تلاقی‌های مستقیم	هاشمی× واندانا	-۰/۰۸۶۲ ns	۰/۰۸۱۷ **	۰/۰۲۲۳ *	۰/۰۱۶۳ **	۰/۰۳۹۰ *	-۰/۰۱۳۱ **	-۰/۳۳۱۵ ns	-۳/۴۵۵۸ ns	۲/۳۵۱۳ *
	هاشمی× کادوس	۰/۰۰۱۵ ns	۰/۰۳۰۴ *	۰/۰۲۲۰ *	۰/۰۰۵۵ ns	۰/۰۲۸۷ ns	۰/۰۰۳۴ ns	۱/۴۵۶۵ *	۳/۵۸۶۹ ns	۱/۶۲۱۳ ns
	هاشمی× شاه‌پسند	-۰/۰۵۴۹ ns	۰/۰۰۳۱ ns	-۰/۰۲۰۳ ns	۰/۰۰۱۰ ns	-۰/۰۱۴۷ ns	-۰/۰۰۰۳ ns	-۰/۲۹۱۱ ns	-۴/۵۴۳۱ ns	-۰/۹۲۲۰ ns
	هاشمی× IR۳۶	-۰/۰۹۵۲ ns	۰/۰۳۳۷ *	۰/۰۳۳۳ **	۰/۰۰۹۰ **	۰/۰۱۹۷ ns	۰/۰۰۷۴ **	-۱/۱۱۴۵ ns	۴/۱۰۳۵ ns	-۶/۱۶۵۳ **
	واندانا× کادوس	-۰/۱۸۶۲ **	-۰/۰۳۷۳ **	-۰/۰۳۵۰ **	-۰/۰۰۴۰ ns	-۰/۰۵۸۰ **	-۰/۰۰۱۶ ns	-۳/۴۶۲۱ **	۱/۰۷۴۲ ns	-۱۱/۱۹۲۰ **
	واندانا× شاه‌پسند	۰/۰۱۲۵ ns	۰/۰۱۵۴ ns	۰/۰۲۶۰ *	-۰/۰۰۳۰ ns	۰/۰۲۷۰ ns	-۰/۰۰۱۹ ns	۲/۵۳۳۵ **	۲/۰۲۵۹ ns	۲/۲۱۴۷ *
	واندانا× IR۳۶	۰/۰۳۳۸ ns	۰/۰۰۱۱ ns	-۰/۰۰۲۰ ns	۰/۰۰۳۳ ns	۰/۰۰۱۳ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۷۷۰۲ ns	۴/۰۶۲۵ ns	-۰/۳۹۵۳ ns
	کادوس× شاه‌پسند	۰/۱۸۱۸ **	۰/۰۲۷۴ *	۰/۰۱۴۰ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۴۳۳ **	۰/۰۰۰۱ ns	-۰/۲۹۱۸ ns	۲/۲۱۸۵ ns	۰/۹۶۸۰ ns
	کادوس× IR۳۶	۰/۱۰۱۵ ns	-۰/۰۰۳۶ ns	۰/۰۰۷۷ ns	-۰/۰۰۶۳ *	۰/۰۱۹۳ ns	-۰/۰۰۵۶ *	۱/۴۴۴۹ *	-۰/۲۶۴۸ ns	۴/۳۰۸۰ **
	شاه‌پسند × IR۳۶	-۰/۲۷۸۲ **	۰/۰۲۵۷ *	-۰/۰۴۳ **	۰/۰۱۵۰ **	-۰/۰۴۹۰ **	۰/۰۰۹۱ **	-۰/۳۱۱۱ ns	۲/۳۰۶۹ ns	۰/۱۹۸۰ ns
تلاقی‌های معکوس	واندانا× هاشمی	-۰/۰۳۰۰ ns	-۰/۰۰۸۳ ns	۰/۰۱۰۰ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	۰/۰۰۱۷ ns	-۰/۹۱۸۳ ns	۱/۵۱۱۷ ns	۰/۹۰۰۰ ns
	کادوس× هاشمی	۰/۰۰۵۰ ns	-۰/۰۲۱۷ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۰/۰۱۳۳ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	۰/۰۹۶۷ ns	-۷/۱۶۱۷ *	۰/۴۳۳۳ ns
	کادوس× واندانا	-۰/۰۸۵۰ ns	-۰/۰۰۵۰ ns	۰/۰۱۳۳ ns	۰/۰۰۵۰ ns	-۰/۰۰۸۳ ns	۰/۰۰۵۰ ns	۰/۱۱۵۰ ns	۰/۸۰۵۰ ns	۰/۰۵۰۰ ns
	شاه‌پسند × هاشمی	-۰/۰۶۰۰ ns	-۰/۰۵۳۳ **	-۰/۰۱۸۳ ns	-۰/۰۰۵۰ ns	-۰/۰۴۶۷ *	-۰/۰۰۱۷ ns	۰/۵۹۸۳ ns	۳/۸۹۵۰ ns	-۱/۱۰۰۰ ns
	شاه‌پسند × واندانا	۰/۰۷۸۳ ns	۰/۰۱۰۰ ns	۰/۰۰۸۳ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	۰/۰۲۰۰ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	-۰/۱۴۰۰ ns	-۰/۶۶۶۷ ns	۰/۱۳۳۳ ns
	شاه‌پسند × کادوس	۰/۰۵۸۳ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۰/۰۱۶۷ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۲/۹۴۸۳ **	۶/۷۴۶۷ *	۰/۳۵۰۰ ns
	IR۳۶× هاشمی	-۰/۰۶۰۰ ns	-۰/۰۰۸۳ ns	-۰/۰۲۳۳ ns	۰/۰۰۰۰ ns	-۰/۰۲۳۳ ns	-۰/۰۰۱۷ ns	۰/۷۴۶۷ ns	۱/۴۴۶۷ ns	۰/۱۵۰۰ ns
	IR۳۶× واندانا	۰/۰۵۰۰ ns	-۰/۰۲۳۳ ns	۰/۰۰۵۰ ns	-۰/۰۰۸۳ *	۰/۰۰۰۰ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	-۰/۲۷۵۰ ns	۱/۰۷۵۰ ns	-۰/۵۸۳۳ ns
	IR۳۶× کادوس	۰/۰۳۵۰ ns	-۰/۰۲۴۷ ns	-۰/۰۱۵۰ ns	-۰/۰۰۵۰ ns	-۰/۰۱۸۳ ns	-۰/۰۰۳۳ ns	۰/۴۶۰۰ ns	۰/۹۶۱۷ ns	-۰/۷۵۰۰ ns
	IR۳۶× شاه‌پسند	۰/۴۶۰۰ **	۰/۰۲۱۷ ns	۰/۰۸۵۰ **	-۰/۰۱۸۳ **	۰/۱۲۰۰ **	-۰/۰۱۱۷ **	۰/۳۷۳۳ ns	۸/۲۵۶۷ *	-۲/۹۵۰۰ *

ns، * و ** به‌ترتیب بی‌معنا و معنادار با احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

با توجه به اینکه نسبت وجه (ضریب شکل) از تقسیم عرض دانه به طول دانه (W/L) به‌دست می‌آید و همچنین سلیقهٔ مصرف‌کنندگان در انتخاب گونه‌ها با طول بیشتر و عرض کمتر دانه، نسبت وجه کمتر مطلوب‌تر است؛ از این‌رو والدهای هاشمی، کادوس و شاه‌پسند با GCA منفی و معنادار (جدول۳)، والدهایی هستند که در برنامه‌های دورگ‌گیری می‌توانند در کاهش صفت نسبت وجه در نسل بعدی مؤثر باشند. حال آنکه دو والد واندانا و IR36 با GCA مثبت و معنادار و با توجه به داشتن نسبت وجه بالا، والدهایی هستند که استفاده از آنها در دورگ‌گیری‌ها ممکن‌است موجب افزایش صفت نسبت وجه در نتاج شود. بین تلاقی‌ها نیز فقط تلاقی کادوس × IR36 دارای SCA منفی و معنادار بود، بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از این تلاقی برای افزایش ارزش تجاری نتاج حاصل از نظر صفت نسبت وجه مؤثر باشد. اثر تلاقی‌های معکوس برای صفت نسبت وجه فقط در تلاقی‌های IR36 × واندانا و IR36 × شاه‌پسند منفی و معنادار بود که نشان می‌دهد ژن‌های مادری والد IR36 بر نسبت وجه در این تلاقی‌ها مؤثر بوده‌است و سبب کاهش صفت می‌شود؛ بنابراین بهتر است در تلاقی‌ها به این مسأله بیشتر توجه شود. برمبنای نتایج، والدین IR36 و واندانا، GCA مثبت و معناداری داشتند حال آنکه نتاج دورگ حاصل از تلاقی معکوس آن دو اثر منفی و معنادار بود، ممکن است کنترل ژنتیکی صفت موردنظر با هر دو نوع اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها منجر به چنین نتیجه‌ای شود.

آثار ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) هر والد و آثار ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) هر تلاقی و اثر تلاقی‌های معکوس صفت قطر معادل (جدول۳) نشان داد که فقط والد شاه‌پسند، GCA مثبت و معنادار داشت و سه والد واندانا، کادوس و IR36، GCA منفی و معنادار داشتند. با توجه به تأثیر افزایش قطر معادل دانهٔ برنج بر

افزایش بازارپسندی و قیمت آن، بنابراین استفاده از والد شاه‌پسند در برنامه‌های تلاقی ممکن‌است در بهبود این صفت نتیجه‌بخش باشد. همچنین تلاقی‌های هاشمی × واندانا و کادوس × شاه‌پسند، SCA مثبت و معنادار داشتند؛ طوری‌که با انتخاب دانه با قطر معادل مناسب از این تلاقی‌ها، امکان انتقال این صفت به نتاج دیگر فراهم خواهد شد. در مقابل تلاقی‌های واندانا × کادوس و شاه‌پسند × IR36 دارای SCA منفی و معناداری بودند. بین تلاقی‌های معکوس نیز فقط تلاقی IR36 × شاه‌پسند، اثر مثبت و معنادار داشت که نشان‌دهندهٔ نقش ژن‌های مادری در والد IR36 بر این صفت است و ممکن‌است سبب افزایش قطر معادل شود.

درجهٔ کرویت بیانگر اندازهٔ گرد بودن دانه است و از آنجا که دانه‌های کروی‌تر از نظر تجاری و بازارپسندی مطلوبیت کمتری دارند بنابراین هرچه این شاخص کمتر باشد، بازارپسندی و مطلوبیت برنج نیز بیشتر خواهد شد. والدهای هاشمی، کادوس و شاه‌پسند، GCA منفی و معنادار دارند (جدول۳)، بنابراین این والدها با متوسط درجهٔ کرویت کم، والدهایی هستند که استفاده از آنها در برنامه‌های تلاقی ممکن‌است سبب کاهش درجهٔ کرویت در نتاج شود. حال آنکه دو والد واندانا و IR36، GCA مثبت و معنادار داشتند که استفاده از آنها در تلاقی‌ها ممکن‌است موجب افزایش درجهٔ کرویت در نتاج شود. بین تلاقی‌ها فقط تلاقی کادوس × IR36، SCA منفی و معنادار داشت؛ از این‌رو استفاده از این تلاقی برای کاهش درجهٔ کرویت نتاج مؤثر خواهد بود. اثر تلاقی‌های معکوس نیز فقط در تلاقی IR36 × شاه‌پسند منفی و معنادار بود که حاکی از نقش ژن‌های مادری والد IR36 بر صفت درجهٔ کرویت است.

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی والدها برای صفت بازدهی تبدیل (جدول۳) نشان داد که فقط والد هاشمی، GCA مثبت و معنادار داشت. از این‌رو به‌نظر می‌رسد استفاده از این گونه در روش‌های به‌نژادی مبتنی‌بر گزینش ممکن‌است برای افزایش بازدهی تبدیل نتیجه‌بخش باشد. درضمن اثر GCA برای سایر والدها معنادار نبود. همچنین تلاقی‌های هاشمی × کادوس، واندانا × شاه‌پسند و کادوس × IR36 دارای SCA مثبت و معنادار بودند. بنابراین به‌نظر می‌رسد برای افزایش بازدهی تبدیل (که از صفات بسیار مهم در کیفیت تبدیل برنج است) و کل برنج سفید تولیدی، استفاده از این تلاقی‌ها امکان‌پذیر باشد. در مقابل تلاقی واندانا × کادوس دارای SCA منفی و معنادار بود و بین تلاقی‌های معکوس نیز فقط تلاقی شاه‌پسند × کادوس، اثر منفی و معنادار داشت و بقیهٔ تلاقی‌ها معنادار بودند.

نتایج آثار GCA و SCA و اثر متقابل آمیزش‌های معکوس برای صفت درصد برنج سفید سالم (جدول۳) نشان داد که فقط والد هاشمی، GCA مثبت و معنادار داشت. بنابراین این والد در بهبود صفت نامبرده در برنامه‌های اصلاحی مؤثر و مفید خواهد بود. حال آنکه سایر والدها، GCA بی‌معنا داشتند. درضمن همهٔ تلاقی‌ها نیز SCA بی‌معنا داشتند. اثر متقابل تلاقی‌های معکوس برای این صفت در تلاقی‌های شاه‌پسند × کادوس و IR36 × شاه‌پسند مثبت و معنادار بود که نشان می‌دهد ژن‌های مادری به‌ترتیب در والدهای شاه‌پسند و IR36 بر روی این صفت در تلاقی‌های نامبرده مؤثر بوده و موجب افزایش صفت می‌شوند که بایستی در برنامه‌های به‌نژادی و تلاقی‌ها به آنها توجه کرد. درجهٔ سفیدی، شاخصی برای رنگ دانهٔ برنج است. در بعضی از استان‌های کشور گونه‌های با درجهٔ سفیدی بالاتر را می‌پسندند و در برخی دیگر از استان‌ها، گونه‌هایی با درجهٔ سفیدی پایین‌تر را مناسب می‌دانند. هر چه دانه سفیدتر باشد، ارزش غذایی آن کمتر می‌شود چون لایه‌های بیشتری از دانه برداشته شده‌است. درمقابل هر چه درجهٔ سفیدی دانه کمتر باشد، ارزش غذایی آن بیشتر است اما درعوض نگهداری آن نیز مشکل‌تر خواهد بود. از این‌رو می‌بایست با توجه به هدف موردنظر درخصوص درجهٔ سفیدی اظهارنظر کرد. به‌عبارت دیگر، اگر ارزش تغذیه‌ای دانه مهم‌تر از سفیدی آن باشد و گونه‌ها با درجهٔ سفیدی کمتر، مناسب‌تر است ولی اگر میزان سفیدی دانه از ارزش تغذیه‌ای آن مهم‌تر باشد گونه‌ها با درجهٔ سفیدی بالا مناسب‌تر هستند. دو والد کادوس و شاه‌پسند، GCA مثبت و معنادار دارند، همچنین تلاقی‌های هاشمی × واندانا، واندانا × شاه‌پسند و کادوس × IR36 دارای SCA مثبت و معنادار بودند (جدول۳)، از این‌رو اگر هدف افزایش سفیدی دانه باشد، این والدین و تلاقی‌ها برای افزایش درجهٔ سفیدی در

برنامه‌های اصلاحی مؤثر خواهند بود. حال آنکه والدهای هاشمی و IR36 دارای GCA منفی و معنادار و تلاقی‌های هاشمی × IR36 و واندانا × کادوس، SCA منفی و معنادار داشتند. در صورتی‌که هدف کاهش میزان سفیدی و افزایش ارزش تغذیه‌ای دانه باشد، استفاده از این والدین و تلاقی‌ها ممکن است در برنامه‌های به‌نژادی برای کاهش درجهٔ سفیدی نتیجه‌بخش باشد. اثر تلاقی‌های معکوس برای صفت درجهٔ سفیدی فقط در تلاقی IR36 × شاه‌پسند منفی و معنادار بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر ژن‌های مادری در والد IR36 روی این صفت بوده است و موجب کاهش درجهٔ سفیدی می‌شود؛ بنابراین بهتر است در برنامه‌های اصلاحی به آن توجه شود.

نتایج آزمون مقدماتی روش جینکز- هیمن (Jinks & Hayman, 1953) نشان داد که شیب خط رگرسیون W_r روی V_r برای صفات فیزیکی دانه اختلاف معناداری از یک نداشت ولی از صفر معنادار بود. درضمن آزمون W_r-V_r نیز برای این صفات معنادار نبود (جدول۴). بنابراین، اثر اپیستازی ژن‌ها در کنترل این صفات وجود نداشت و درنتیجه اجرای تجزیه‌وتحلیل گرافیکی دای‌آلل برای آنها امکان‌پذیر است. دربارهٔ صفات تبدیل دانه، فرض فقدان اپیستازی درست نبود، از این‌رو برای رفع مشکل و درستی این فرض، برخی از والدها حذف شدند و محاسبات آماری برای بقیه انجام و مجدداً شیب خط رگرسیون آزمایش شد. بنابر نتایج برای صفت بازدهی تبدیل، حذف والدهای واندانا و شاه‌پسند و برای درصد برنج سفید سالم (به کل برنج سفید) حذف والد شاه‌پسند سبب بی‌معنا شدن شیب خط و فقدان اثر اپیستازی ژن‌ها می‌شود. درضمن آزمون W_r-V_r نیز برای این دو صفت بی‌معنا و نشان‌دهندهٔ فقدان اثر اپیستازی بود (جدول۴) و روش تحلیل گرافیکی هیمن برای آنها انجام شد. برای صفت درجهٔ سفیدی نیز به علت وجود انحراف از فرضیات، انجام تجزیه‌وتحلیل هیمن ممکن نشد. خط رگرسیون W_r روی V_r به همراه سهمی محدودکننده و پراکنش والدها برای صفات مختلف در شکل‌های ۱ تا ۸ نشان داده شده‌است. برای صفات فیزیکی دانه، خط رگرسیون W_r روی V_r در قسمت مثبت، محور W_r را قطع کرده است.

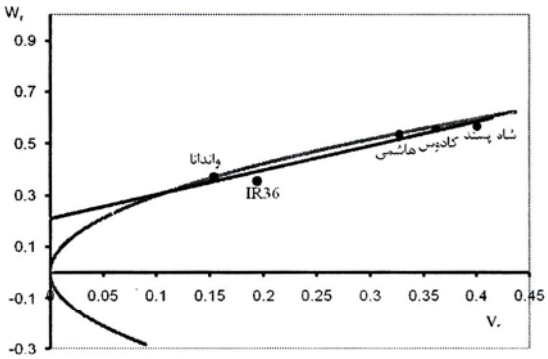
جدول۴. نتایج آزمون مقدماتی هیمن و جینکز، آزمون t (H0: $\hat{\beta}$ = 1) و (H0: $\hat{\beta}$ = 0) برای ضریب رگرسیون W_r روی V_r و آزمون آثار اپیستازی (W_r - V_r) بر صفات نامبرده

صفات آزمایشی	وضعیت	ضریب رگرسیون (b)	T محاسبه شده برای آزمون فرض آثار اپیستازی H_0: $\hat{\beta}$ = 1	t محاسبه شده برای فرض معناداری ضریب رگرسیون از شیب صفر H_0: $\hat{\beta}$ = 0	میانگین مربعات W_r - V_r (اثرات اپی‌ستازی)
طول دانهٔ قهوه‌ای	—	۰/۹۳۵	۰/۷۲۹^{ns}	۱۰/۴۸۵**	۰/۰۰۱^{ns}
عرض دانهٔ قهوه‌ای	—	۰/۸۵۱	۰/۸۴۵^{ns}	۴/۸۲۴**	۰/۰۰۰۰۰۸^{ns}
ضخامت دانهٔ قهوه‌ای	—	۱/۲۵۹	۱/۹۱۶^{ns}	۹/۳۱۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۴^{ns}
نسبت وجه (ضریب شکل)	—	۰/۹۲۸	۰/۴۶۵^{ns}	۵/۹۹۰**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲^{ns}
قطر معادل	—	۰/۸۹۶	۰/۵۵۹^{ns}	۴/۸۱۲۲۹**	۰/۰۰۰۰۰۰۷^{ns}
درجهٔ کرویت	—	۰/۹۴۵	۰/۵۰۷^{ns}	۸/۷۰۹**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۷^{ns}
بازدهی تبدیل	پس از حذف گونه‌های واندانا و شاه‌پسند	۱/۶۷۵	۳/۱۴۶^{ns}	۸/۸۰۰*	۸۸۴/۹۱۵^{ns}
درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید	پس از حذف گونهٔ شاه‌پسند	۱/۱۶۱	۰/۸۶۴^{ns}	۶/۲۲۸**	۳۸۲/۹۶۶^{ns}

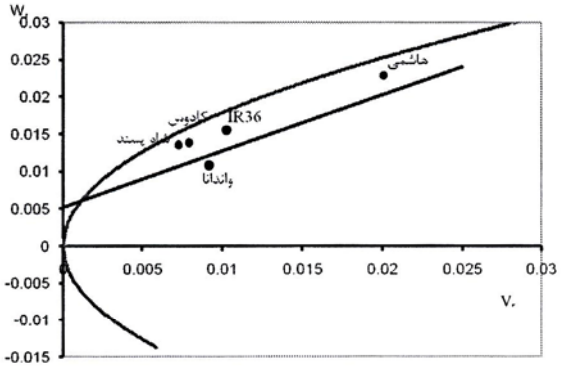
ns، * و ** به‌ترتیب بی‌معنا و معنادار با احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

(شکل‌های ۶ـ۱)، بدین معنا که این صفات متأثر از اثر غالبیت ناقص ژن‌ها قرار دارند. نتایج تجزیهٔ ژنتیکی به روش اول گریفینگ وجود سهم بیشتر عمل افزایشی ژن‌ها را بر کنترل این صفات نشان داده بود. پراکنش والدها در طول خط رگرسیون نشان داد که گونهٔ واندانا برای طول دانهٔ قهوه‌ای، گونهٔ شاه‌پسند برای عرض دانهٔ قهوه‌ای، گونهٔ IR36 برای ضخامت دانهٔ قهوه‌ای و قطر معادل، گونه‌های کادوس و واندانا برای نسبت وجه و درجهٔ کرویت، نزدیک‌ترین والدها به محل برخورد خط رگرسیون با محور W_r هستند. درنتیجه این گونه‌ها

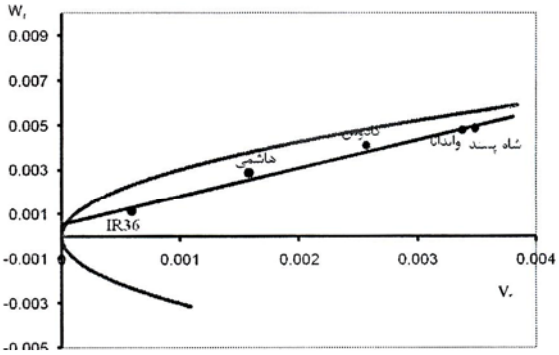
حداکثر ژن‌های غالب را دارند. گونهٔ هاشمی برای عرض دانه، نسبت وجه و درجهٔ کرویت، گونهٔ شاه‌پسند برای طول و ضخامت دانه و گونهٔ کادوس برای قطر معادل، بیشترین فاصله را با محل نامبرده داشتند، بنابراین حداکثر ژن‌های مغلوب را برای این صفات داشتند. برای صفات تبدیل دانه (بازدهی تبدیل و درصد برنج سفید سالم)، خط رگرسیون W_r روی V_r در قسمت منفی محور W_r، برخورد کرد اما تفاوت معناداری با ارزش مبدأ مختصات یعنی صفر نداشت. بنابراین نتیجه می‌شود که این صفات با اثر غالبیت کامل تا فوق غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شوند (شکل‌های۷ و ۸). نتایج تجزیهٔ ژنتیکی به روش اول گریفینگ نقش هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها با سهم بیشتر آثار غیرافزایشی را در کنترل این صفات نشان داده بود. پراکنش والدها در طول خط رگرسیون نشان داد که گونه‌های IR36 و واندانا به‌ترتیب برای بازدهی تبدیل و درصد برنج سفید سالم نزدیک‌ترین والدها به محل برخورد خط رگرسیون با محور W_r بودند. بنابراین حداکثر تعداد ژن‌های غالب برای این صفات را دارند. در مقابل گونه‌های کادوس و IR36 به‌ترتیب برای این دو صفت بیشترین فاصله را با محل برخورد خط داشتند؛ درنتیجه حداکثر ژن‌های مغلوب را دارند.



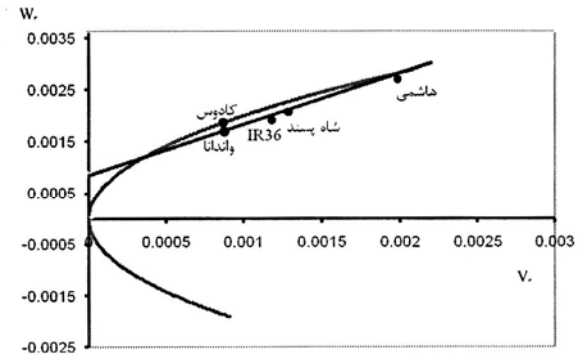
شکل۱. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای طول دانهٔ قهوه‌ای



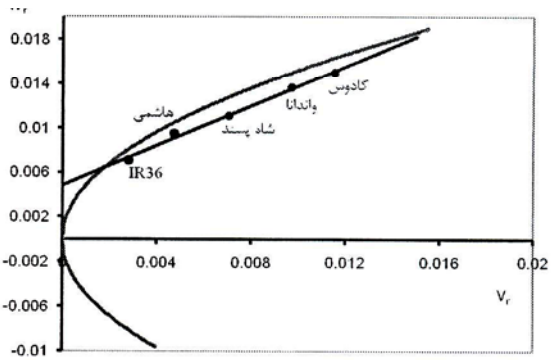
شکل۲. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای عرض دانهٔ قهوه‌ای



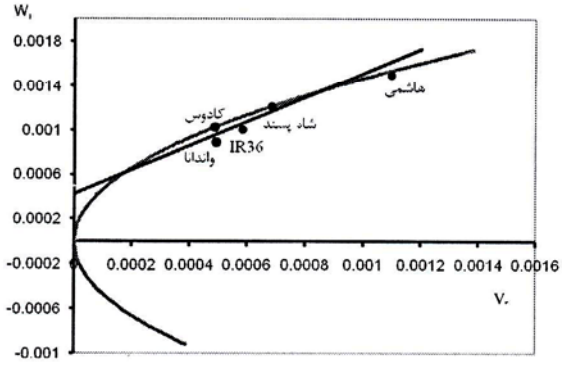
شکل۳. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای ضخامت دانهٔ قهوه‌ای



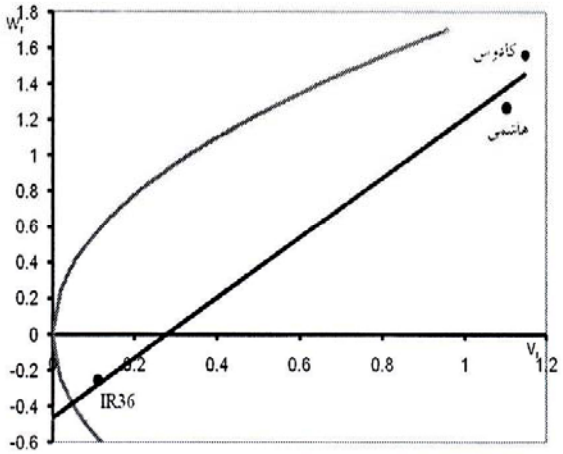
شکل۴. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای نسبت وجه



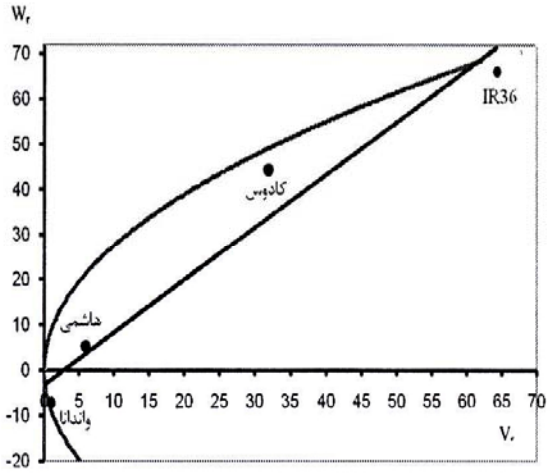
شکل۵. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای قطر معادل



شکل۶. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای درجهٔ کرویت



شکل۷. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به همراه پراکنش والدین برای راندمان تبدیل



شکل۸. خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدودکننده به‌همراه پراکنش والدین برای درصد برنج سفید سالم

برآورد شاخص‌های آماری و اجزای ژنتیکی صفات آزمایشی در جدول ۵ ارائه شده است. نسبت $\frac{H_2}{4H_1}$ برای صفات فیزیکی دانه (طول، عرض و ضخامت دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه، قطر معادل و درجهٔ کرویت) به‌ترتیب برابر با ۰/۲۱۴۱، ۰/۲۱۱۲، ۰/۲۰۱۴، ۰/۲۱۴۳، ۰/۲۱۹۳ و ۰/۱۸۷۵ بود که نامساوی بودن فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در مکان‌های ژنی مختلف را نشان می‌دهد. میانگین درجهٔ غالبیت نیز برای این صفات به‌ترتیب برابر با ۰/۳۵۷، ۰/۶۴۲، ۰/۶۴۲، ۰/۴۳۰، ۰/۵۰۱ و ۰/۴۱۸ بود که همانند تجزیهٔ گرافیکی نشان‌دهندهٔ وجود اثر غالبیت ناقص ژن‌ها بر کنترل این صفات بود.

محاسبهٔ نسبت آلل‌های غالب به مغلوب در والدها نشان داد که برای صفات طول و عرض دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه و درجهٔ کرویت نسبت آلل‌های مغلوب به غالب و برای صفات ضخامت دانهٔ قهوه‌ای و قطر معادل نسبت آلل‌های غالب به مغلوب بیشتر بود. ضمن اینکه علامت مقدار F نیز مؤید همین نتیجه‌گیری بود، به‌عبارت دیگر، از با به‌دست‌آمدن مقدار F منفی برای صفات طول و عرض دانه، نسبت وجه و درجهٔ کرویت، فراوانی آلل‌های مغلوب بیشتر است؛ و برعکس صفات ضخامت دانه و قطر معادل با مقدار F مثبت، آلل‌های غالب بیشتری دارند. برآورد وراثت‌پذیری خصوصی برای صفات فیزیکی دانه (جدول۵) نشان‌دهندهٔ وراثت‌پذیری بالای این صفات بود، بنابراین با توجه به سهم زیاد آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات، پتانسیل گزینش برای این صفات بالا خواهد بود.

برآورد نسبت $\frac{H_2}{4H_1}$ برای صفات تبدیل دانه (بازدهی تبدیل و درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید) به‌ترتیب ۰/۲۱۲۰ و ۰/۲۳۸۵ بود (جدول۵) که نشان‌دهندهٔ نابرابر بودن فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در مکان‌های ژنی کنترل‌کننده این صفات بود. برآورد میانگین درجهٔ غالبیت برای این دو صفت نزدیک به یک و به‌ترتیب ۰/۹۴۶ و ۰/۹۷۶ بود که نشان از اثر غالبیت کامل ژن‌ها داشت. بیشتر بودن آلل‌های غالب نسبت به آلل‌های مغلوب برای این دو صفت با محاسبه نسبت [(4DH1)1/2 + F]/[(4DH1)1/2 - F] مشخص شد.

البته علامت مثبت مقدار F نیز همین نتیجه را نشان داد. وراثت‌پذیری خصوصی برای این دو صفت به‌ترتیب ۰/۳۸۶ و ۰/۴۰۲ برآورد شد (جدول۳) که نشان‌دهندهٔ وراثت‌پذیری پایین آنها است. از این‌رو روش دورگ‌گیری و استفاده از پدیدهٔ هتروزیس برای بهبود آنها مناسب‌تر است.

جدول۵. برآورد شاخص‌های آماری و پارامترهای ژنتیکی صفات آزمایشی به‌روش هیمن

اجزای ژنتیکی	صفات							
	طول دانهٔ قهوه‌ای	عرض دانهٔ قهوه‌ای	ضخامت دانهٔ قهوه‌ای	نسبت وجه	قطر معادل	درجهٔ کرویت	راندمان تبدیل	درصد برنج سفید سالم به کل برنج سفید
D (سهم واریانس افزایشی)	۰/۸۸۰۳	۰/۰۳۱۴	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۴۰	۰/۰۲۲۷	۰/۰۰۲۲	۲/۵۰۹۸	۷۲/۹۲۳۷
H_1 (واریانس غالبیت)	۰/۱۱۲۰	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۰۴	۲/۲۴۳۹	۶۹/۴۵۵۴
H_2 (سهمی از واریانس غالبیت)	۰/۰۹۵۹	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۰۳	۱/۹۰۳۱	۶۶/۲۶۲۶
F (کوواریانس اثرات افزایشی با غالبیت)	-۰/۱۴۵۹	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۱	۱/۵۹۵۷	۳۸/۴۵۹۵
$H_2/4H_1$ (نسبت ژن‌های با آثار مثبت به منفی در والدین)	۰/۲۱۴۱	۰/۲۱۱۲	۰/۲۰۱۴	۰/۲۱۴۳	۰/۲۱۹۳	۰/۱۸۷۵	۰/۲۱۲۰	۰/۲۳۸۵
$(H_1/D)^{1/2}$ (میانگین درجهٔ غالبیت)	۰/۳۵۷	۰/۶۴۲	۰/۶۴۲	۰/۴۳۰	۰/۵۰۱	۰/۴۱۸	۰/۹۴۶	۰/۹۷۶
$[(4DH_1)^{1/2} + F] / [(4DH_1)^{1/2} - F]$ (نسبت ژن‌های غالب به مغلوب در والدین)	۰/۶۲۲۹	۰/۹۹۵۰	۱/۹۷۹۲	۰/۸۸۷۲	۱/۰۷۲۹	۰/۸۹۸۸	۲/۰۱۳۰	۱/۷۴۰۵
h^2_b (وراثت‌پذیری عمومی)	۰/۹۸۸	۰/۹۸۰	۰/۹۳۳	۰/۹۹۲	۰/۹۶۱	۰/۹۹۰	۰/۶۷۹	۰/۷۵۵
h^2_n (وراثت‌پذیری خصوصی)	۰/۹۴۴	۰/۸۴۴	۰/۷۴۶	۰/۹۳۰	۰/۸۶۵	۰/۹۳۳	۰/۳۸۶	۰/۴۰۲

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد که صفات طول، عرض و ضخامت دانهٔ قهوه‌ای، نسبت وجه، قطر معادل و درجهٔ کرویت با توجه به معنادار شدن نسبت واریانس GCA به واریانس SCA، میزان بالای نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) و وراثت‌پذیری خصوصی، با آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها با سهم بیشتر آثار افزایشی کنترل می‌شوند. درنتیجه برای بهبود این صفات در جمعیت می‌توان از روش‌های اصلاحی مبتنی بر انتخاب بهره جست. حال آنکه درخصوص صفات بازدهی تبدیل، درصد برنج سفید سالم (نسبت به کل برنج سفید) و درجهٔ سفیدی نظر به بی‌معنا شدن نسبت واریانس GCA به واریانس SCA و با توجه به مقادیر پایین نسبت بیکر (نسبت ژنتیکی) و وراثت‌پذیری خصوصی، به‌نظر می‌رسد که این صفات با آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها با سهم بیشتر آثار غیرافزایشی کنترل می‌شوند و بنابراین می‌توان از روش‌های اصلاحی مبتنی بر هیبریداسیون استفاده کرد. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل گرافیکی به روش هیمن نشان داد که همهٔ خصوصیات فیزیکی مرتبط با کیفیت دانه با کنترل غالبیت ناقص ژن‌ها و همهٔ خصوصیات تبدیل با عمل غالبیت کامل تا فوق غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شدند. به این ترتیب، نتایج روش هیمن نیز ضمن تأیید نتایج قبلی نشان داد که برای بهبود خصوصیات فیزیکی دانه‌ها روش انتخاب و برای بهبود خصوصیات تبدیل دانه‌ها در جمعیت آزمایشی روش تولید هیبرید مؤثر و مطلوب خواهد بود. با توجه به مجموع نتایج، برای صفات فیزیکی والدین هاشمی، کادوس و شاه‌پسند و برای صفات تبدیل والد هاشمی، GCA معنادار برای بیشتر این صفات داشتند. درخصوص تلاقی‌ها، برای صفات فیزیکی تلاقی‌های کادوس × شاه‌پسند و کادوس × IR36 و برای صفات تبدیل تلاقی‌های واندانا × شاه‌پسند و کادوس × IR36 برای بیشتر این صفات SCA معناداری داشتند.

سپاسگزاری

باتوجه به اجرای پژوهش با هزینهٔ مالی دانشگاه گیلان، از زحمات کارکنان محترم دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و همچنین از همکاری کارکنان محترم مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور (رشت) تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Asfaliza, R., Rafii, M. Y., saleh, G., Omar, O. & Puteh, A. (2012). Combining ability and heritability of selected rice varieties for grain quality traits. *Australian Journal of Crop Science*, 6(21), 1718-1723.

2. Askari Asli-Ardeh, E., Shojaei, S. & Shakarbeygi, S. (2010). Determination of some mechanical properties of three paddy varieties in different moisture levels. *Journal of Science and Food Engineering*, 7(2), 99-106. (In Farsi)
3. Bagheri, I., Dehpour, M.B., Payman, S.H. & Zareiforoush, H. (2011). Rupture strength of brown rice varieties as affected by moisture content and loading rate. *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1239-1246.
4. Bagheri, M.M., Taghiasad, H., Pakniyat, H. & Nematzadeh, G. (2002). A study of combining ability and heterosis in rice varieties. In: Proceedings of the 7th Iranian Crop Sciences Congeress, 24-26 August, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, pp. 348.
5. Baker, R.J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science*, 18, 533-536.
6. Fu, F.H., Wang, F., Huang, W.J., Peng, H.P. Wu, Y.Y. & Huang, D.J. (1994). Genetic analysis of grain characters in hybrid rice. *Acta Agronomica Sinica*, 20(1), 39-45.
7. Griffing, B. (1956a). A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10, 31-50.
8. Griffing, B. (1956b). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Science*, 9, 463-493.
9. Hayman, B.I. 1954. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10, 235-244.
10. Honarnejad, R., Tarang, A. & Hossainian, A. S. (1998). Genetic analysis of quantitative and qualitative characteristics in segregating (F_2) populations of rice (*Oryza sativa* L.) *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2(2), 17-29.
11. International Rice Research Institute. (2013). About Rice/ Rice facts/ Rice basics. Retrieved september 8, 2013, from http://www.irri.org.
12. Jinks, J. L. & Hayman, B. I. (1953). The analysis of diallel crosses. *Maize Genetics Coop*. *Newsletter*. 27, 48-54.
13. Kuo, Y. C. & Liu, C. (1986). Genetic studies on large kernel size of rice. II. Inheritance of grain dimensions of brown rice. *Journal of Agricultural Research of China*, 35(4), 401-412.
14. Leng, Y. & Hong, D. L. (2004). Quality characters of hybrid rice grain derived from different ecological types and their genetic analysis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). *Chinese Journal of Rice Science*, 18(1), 29-33.
15. Lin, J. R., Wu, M. G., Shi, C.H. & Lin, J. R. (2001). Analysis on genetic effects of appearance quality traits in japonica hybrid rice. *Chinese journal of Rice Science*, 15(2), 93-96.
16. Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials* P.891 (2nd Ed.). New York, EE.UU: Gordon and Breach Publishers.
17. Murai, M., Kinoshita, T. & Hirose, S. (1987). *Diallel analysis of plant type in rice*. Bulletin of the college of Agriculture and veterinary Medicine. Nihon University (44), 112-122.
18. Nomani, M., Rashidi, V., Abdollahi, S. & Rahimsoroush, H. (2011). Evaluation of yield stability in rice promising lines. *Journal of Eco-Physiology of Crop and Weeds*, 4(16), 109-120. (In Farsi)
19. Rabiei, B., Valizadeh, M., Ghareyazie, B., Moghaddam, M. & Ali, A. J. (2004). Identification of QTLs for rice grain size and shape of Iranian cultivars using SSR markers. *Euphytica*, 137, 325-332.
20. Rahimi, M., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H. & Kafi-Ghasemi, A. (2008). Evaluation of combining ability in rice cultivars based on second and fourth Griffing methods. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(43), 129-141. (In Farsi)
21. Rahimi, M., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H. & Kafi-Ghasemi, A. (2010). Combining ability and heterosis in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(2), 223-231.
22. Sadeghi, M., Samizadeh Lahiji, H. & Allahgholipour, M. (2010). Study of rice lines and cultivars combining ability using diallel method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(1), 131-139. (In Farsi)
23. Saeidzadeh, F. (2010). Study of adaptation in 30 rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to the climatic conditions of Gilan west- Astara. *Journal of Eco-Physiology of Crop and Weeds*, 4(15), 111-126. (In Farsi)
24. Sharifi, P., Dehghani, H., Mumeni, A. & Moghaddam, M. (2009). Genetic and genotype × environment interaction effects for appearance quality of rice. *Agricultural Sciences in China*, 8, 891-901.
25. Singh, N. B. & Singh, H. G. (1985). Heterosis and combining ability for kernel size in rice. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 45(2), 181-185.
26. Singh, S. P. & Shrivastava, M. N. (1982). Combining ability and heterosis in components of grain yield and panicle geometry in rice. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 52(5), 271-277.
27. Surek, H. & Korkut, K. Z. (1998). Diallel analysis of some quantitative characters in F_1, and F_2 generations in rice (*Oryza sativa* L.). *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 76(2), 651-662.