doi: 10.22124/CR.2021.20851.1694

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم/ شماره سوم/ پاییز ۱۴۰۰ (۲۸۰-۲۶۹)

تجزیه ژنتیکی عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های اگرو-مورفولوژیک لاین‌های برگزیده ذرت زودرس با استفاده از تجزیه دای‌آلل

سید محمدصادق حسینی[۱]، خداداد مصطفوی[۲*]، محمدرضا شیری[۳]، عبداله محمدی[۲] و سید مهدی میری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

چکیده

اطلاعات جامع در مورد مبنای ژنتیکی وراثت برای برنامه‌های اصلاحی از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعه حاضر به‌صورت تلاقی دای‌آلل با استفاده از نه لاین برگزیده ذرت زودرس انجام شد. تعداد ۳۶ هیبرید حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل یک‌طرفه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، کشت و از نظر صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال طی دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب، تفاوت معنی‌داری را در سطوح احتمال یک و پنج درصد میان تلاقی‌ها از نظر تمامی صفات مورد بررسی نشان داد. تجزیه دای‌آلل به روش چهارم گریفینگ نشان داد که در کنترل وراثت صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال، ژن‌هایی با آثار افزایشی و غیر افزایشی دخالت داشتند، در حالی‌که در وارثت صفات وزن هزار دانه، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال، فقط ژن‌های با اثر افزایشی نقش داشتند. برآورد نسبت بیکر نیز نشان داد که اثر افزایشی ژن‌ها نقش بیش‌تری در کنترل صفات وزن صد دانه، درصد چوب بلال، ارتفاع بوته، درصد رطوبت دانه، ارتفاع بلال و عملکرد دانه داشت. مطلوب‌ترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای عملکرد دانه، دو لاین NK79 و KE 77008/1 بودند، در حالی‌که ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای KE 77005/2×K 1263/1 و KE 76009/311×K 1264/5-1 برای عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی نشان داد که استفاده از لاین‌های مورد مطالعه در برنامه‌های به‌نژادی برای اصلاح عملکرد دانه می‌تواند امیدبخش باشد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد دانه، ترکیب‌پذیری، تنوع ژنتیکی، نسبت بیکر، وراثت‌پذیری

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: mostafavi@kiau.ac.ir

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، بشر با چالش‌هایی در زمینه امنیت غذایی و حفظ پایداری زیست‌محیطی روبرو است (Alexandratos and Bruinsma, 2012). غلات منابع حیاتی برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای/انرژی جمعیت جهان هستند (Tilman *et al.*, 2011). به‌طور ویژه، ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات می‌باشد که برای اهدافی چون تولید اتانول، تأمین خوراک دام و سایر محصولات از جمله نشاسته و شربت مورد کشت قرار می‌گیرد (Foley, 2013). این گیاه یکی از متداول‌ترین محصولات زراعی است که سهم عمده‌ای از مواد غذایی مصرفی مردم جهان را تشکیل می‌دهد (Panda *et al.*, 2004; Jans *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2010). بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی، تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه تقریباً به دو برابر تقاضای کنونی خواهد رسید (Chaudhary *et al.*, 2014). بنابراین، افزایش بهره‌وری ذرت و کارایی استفاده از منابع ژنتیکی با توسعه و آزادسازی هیبریدهای با عملکرد کمی و کیفی مطلوب برای حفظ عرضه جهانی غذا و انعطاف زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

برای تولید ارقام با پتانسیل بالا به اطلاعات جامعی در رابطه با ساختار ژنتیکی والدین مورد استفاده در تلاقی‌ها و نیز میزان ترکیب‌پذیری آن‌ها مورد نیاز است. برای تحقق این امر می‌توان تلاقی‌های دای‌آلل را مورد توجه قرار داد. در ابتدا روش متداول برای طبقه‌بندی لاین‌ها، میانگین عملکرد آن‌ها در تلاقی‌ها بود. در سال ۱۹۴۲ اسپرگ و تاتوم (Sprague and Tatum, 1942) مفهوم قابلیت ترکیب‌پذیری را اصلاح و اصطلاح قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) را استفاده کردند. برای تعیین GCA و SCA لاین‌ها، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که تلاقی‌های دای‌آلل یکی از کاربردی‌ترین آنها است. از این تلاقی‌ها برای بررسی وراثت صفات در بین گروه‌های ژنوتیپی مختلف نیز استفاده می‌شود. تجزیه دای‌آلل بر اساس روش‌هایی که گریفینگ پیشنهاد داد، باعث تفکیک واریانس کل به ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها می‌شود. ترکیب‌پذیری عمومی بخش افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی بخش غیرافزایشی واریانس کل را شامل می‌شود که به‌میزان زیادی ناشی از انحرافات غالبیت و اپیستازی است (Rojas and Sprague, 1952). بنابراین می‌توان از این تلاقی‌ها جهت بررسی عمل ژن‌ها و تعیین الگوهای هتروتیک بهره برد (Melani and Carena, 2005; Miranda *et al.*, 2008).

تحقیقات متعددی با اهداف مختلف جهت مطالعات ژنتیکی و تولید ارقام با پتانسیل ژنتیکی مطلوب در ذرت و سایر گیاهان زراعی با استفاده از تلاقی دای‌آلل صورت پذیرفته است (Groos *et al.*, 2004; Joshi *et al.*, 2004; Saremirad and Mostafavi, 2018; Saremirad *et al.*, 2021). هارویل و همکاران (Harvil *et al.*, 1978) با استفاده از این روش، هفت لاین ذرت را به‌منظور تعیین قابلیت توارث ارتفاع بلال و خصوصیات مربوط به آن را مورد مطالعه قرار دادند. روود و ماجور (Rood and Major, 1981) سطح برگ را در ۴ لاین زودرس و هیبریدهای آن‌ها مطالعه نمودند و نشان دادند که افزایش تعداد برگ تحت تأثیر عمل ناقص ژن و سطح برگ تحت تأثیر عمل فوق غالبیت قرار دارد. وسل و همکاران (Vasal *et al.*, 1992) با انجام تلاقی دای‌آلل با استفاده از هفت والد، قابلیت ترکیب‌پذیری و هتروزیس ژرم‌پلاسم‌های ذرت زودرس را در نواحی گرمسیری و نواحی معتدله مطالعه کردند. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 1996) تلاقی‌های حاصل از ۱۰ لاین والدین را با استفاده از روش گریفینگ مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که اثرات GCA برای سرعت کاهش رطوبت بلال اهمیت بیشتری نسبت به اثرات SCA دارد. مالوار و همکاران (Malvar *et al.*, 1996) گزارش کردند که واریانس افزایشی برای صفت تعداد ردیف دانه در بلال معنی‌دار بوده ولی در کنترل تغییرات عملکرد دانه، واریانس غالبیت از اهمیت بیشتری برخوردار بود. سوجیپرهاتی و همکاران (Sujiprihati *et al.*, 2001) بیان داشتند که معنی‌دار بودن اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، اهمیت عمل افزایشی و غیر افزایشی ژن را برای عملکرد و صفات وابسته به آن را نشان می‌دهد. اونی و همکاران (Ünay *et al.*, 2004) اظهار کردند که اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در میان لاین‌های والدینی معنی‌دار است و عملکرد دانه نیز تحت تأثیر غالبیت ژن‌ها قرار داشت.

دهقانپور و همکاران (Dehghanpour *et al.*, 1996) هشت لاین اینبرد را با استفاده از تلاقی دای‌آلل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ترکیب‌پذیری

خصوصی و عمومی هر دو در تغییرپذیری ژنتیکی صفات مورد مطالعه مؤثر بودند. طی مطالعه دیگر دهقانپور (Dehghanpour, 2002) نتیجه گرفت که اثرات افزایشی در بیان اکثریت صفات دخیل هستند، ولی اثرات غیر افزایشی در بیان صفات تعداد ردیف دانه، طول برگ، تعداد برگ، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال دخالت دارند. همچنین دهقانپور (Dehghanpour, 2007) بیان کرد که پائین بودن وراثت‌پذیری خصوصی عملکرد دانه بیانگر این نکته است که گزینش برای عملکرد دانه بدون بهره‌وری از اثرات غالبیت ژنی چندان مؤثر نخواهد بود. از میان اجزای عملکرد دانه تنها تعداد ردیف دانه در بلال از وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برخوردار بود. دهقانپور و اهدایی (Dehghanpour and Ehdaie, 2013) نشان دادند که برای صفت عملکرد دانه تنها دو لاین (KE75039، K1264/5-1) بالاترین پایداری GCA را دارند و حداقل مشارکت را در برهمکنش محیط× GCA داشتند. تلاقی KE75039×K2331 نیز بیش‌ترین پایداری SCA عملکرد دانه را در تمام محیط‌ها داشت. واعظی و همکاران (Vaezi *et al.*, 1999) بیان داشتند که میزان هتروزیس در صفات عملکرد دانه و وزن بلال بالاترین میزان را دارد و نیز مقدار هتروزیس مثبت برای تمامی صفات، نشان از برتری F_1 در مقایسه با میانگین والدین و مطلوب بودن این تلاقی برای تولید هیبرید می‌باشد.

در این آزمایش نیز تعداد نه لاین برگزیده ذرت با استفاده از روش دای‌آلل مورد بررسی قرار گرفتند و هدف از اجرای آزمایش تعیین ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و برآورد پارامترهای ژنتیکی عملکرد دانه و برخی از صفات مهم اگرو- مورفولوژیک بود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تعداد نه لاین اینبرد برگزیده ذرت (جدول ۱) که از گروه‌های مختلف هتروتیک مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج گزینش شده بودند، در قالب طرح تلاقی دای‌آلل یک‌طرفه در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با یکدیگر تلاقی داده شدند. کلیه تلاقی‌ها برای تولید بذر هیبرید با استفاده از گرده‌افشانی کنترل‌شده بین آن‌ها انجام شد. بدین منظور لاین‌های مادری در خطوط میانی و لاین‌های پدری در دو خط جانبی کشت شدند و با رعایت نکات پوشانیدن گل‌آذین ماده در لاین مادری و با استفاده از دانه گرده لاین پدری کلیه تلاقی‌های مستقیم انجام شد. دورگ‌های F_1 حاصل در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند. این منطقه در ارتفاع ۱۳۲۱ متری از سطح دریا و دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی می‌باشد و به لحاظ آب‌وهوایی دارای آب و هوای استوایی سرد با متوسط دمای سالیانه ۱۲/۴ درجه سلسیوس و مجموع بارندگی سالیانه ۲۶۵/۷ میلی‌متر می‌باشد.

تعداد ۳۶ هیبرید به‌دست‌آمده از تلاقی‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. با توجه به بالا بودن تعداد هیبریدها و احتمال غیریکنواختی در داخل بلوک‌های آزمایشی، هر بلوک به دو بلوک ناقص تقسیم شد و در امتداد یکدیگر جای گرفتند. هیبریدهای مورد بررسی در دو خط با طول ۳/۲۵ متری کشت شدند. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و هر خط شامل ۱۲ کپه به فاصله ۳۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کلیه اقدامات زراعی در مرحله داشت از جمله مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. در پایان فصل رشد از هر دو خط با حذف ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان حاشیه، برداشت انجام شد. صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال یادداشت‌برداری شد. برای اندازه‌گیری هر صفت، تعداد ۱۰ نمونه تصادفی استفاده شد.

جدول ۱- لاین‌های اینبرد برگزیده ذرت استفاده شده در پژوهش حاضر

Table 1. Selected inbred lines of maize used in the current research

No.	Line name	Line code	No.	Line name	Line code	No.	Line name	Line code
1	K 1263/1	P1	4	NK79	P4	7	KE 75016/321	P7
2	K 1264/5-1	P2	5	KE 77008/1	P5	8	KE 77004/1	P8
3	KE 77005/2	P3	6	KE 76009/311	P6	9	KE 79017/3211	P9

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.2 انجام شد. با توجه به تأیید وجود تنوع میان ژنوتیپ‌ها، تجزیه دای‌آلل بر اساس روش چهارم تحت مدل ثابت گریفینگ (Griffing, 1956a; Griffing, 1956b) به‌وسیله نرم‌افزار SAS با استفاده از برنامه ارائه‌شده توسط ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2005) انجام شد. در این روش، مجموع مربعات تلاقی‌ها به دو جزء ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی تفکیک و اثر ترکیب‌پذیری عمومی برای هر والد و ترکیب‌پذیری خصوصی برای تلاقی‌ها محاسبه شد (Griffing, 1956a). به‌منظور بررسی اهمیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در تعیین عملکرد نتاج، نسبت بیکر بر اساس رابطه (۱) در محیط Excel محاسبه شد (Farshadfar, 1998).

$$\text{Baker ratio} = \frac{2MS_{GCA}}{(2MS_{GCA})+MS_{SCA}} \quad (۱)$$

که در آن، MSGCA و MSSCA به‌ترتیب میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی هستند.

به‌منظور بررسی نوع عمل ژن‌ها در کنترل صفات مورد مطالعه و نیز برآورد مقادیر واریانس افزایشی و غیرافزایشی در ایجاد تنوع ژنتیکی هر یک از صفات به‌ترتیب از روابط (۲) و (۳) استفاده شد (Griffing, 1956a). به‌کارگیری این روابط بر این فرض استوار است که لاین‌ها کاملاً اینبرد هستند. بنابراین، واریانس افزایشی معادل دو برابر واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و واریانس غیرافزایشی معادل واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی در نظر گرفته شد.

$$\sigma_A^2 = 2\sigma_{GCA}^2 \quad (۲)$$

$$\sigma_D^2 = \sigma_{SCA}^2 \quad (۳)$$

در این روابط، σ_A^2، σ_D^2 و σ_{SCA}^2 و σ_{GCA}^2 به‌ترتیب واریانس‌های افزایشی، غیرافزایشی، ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی می‌باشد.

درجه غالبیت (D) و وراثت‌پذیری عمومی (h_b^2) و خصوصی (h_n^2) نیز به‌ترتیب با استفاده از روابط ۴ (Griffing, 1956a)، ۵ و ۶ (Falconer, 1981) برآورد شد (σ_P^2 در این روابط، واریانس فنوتیپی است):

$$D = \sqrt{\frac{\sigma_{SCA}^2}{\sigma_{GCA}^2}} \quad (۴)$$

$$h_b^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2} \quad (۵)$$

$$h_n^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} \quad (۶)$$

نتایج و بحث

در ابتدا داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش برای هر یک از صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال با استفاده از آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواخت بودن خطای آزمایشی در دو سال تجزیه و تحلیل شدند. نتایج آزمون بارتلت، همگنی خطای آزمایش برای تمامی صفات مورد بررسی را تایید کرد و از این‌رو تجزیه واریانس مرکب بر اساس داده‌های دو سال انجام و نتایج آن در جدول ۲ ارایه شد. نتایج حاکی از تفاوت معنی‌دار بین سال‌های اجرای آزمایش برای کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد بود که این موضوع تأثیر متفاوت شرایط محیطی دو سال اجرای آزمایش را بر صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال را نشان می‌دهد. بین هیبریدهای آزمایشی تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای از نظر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و درصد چوب بلال در سطح احتمال یک درصد و وزن هزار دانه و درصد رطوبت دانه در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد. برهمکنش سال با هیبرید برای عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و برای ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع حاکی از تنوع میان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و مشکلاتی است که به‌نژادگران در گزینش و آزادسازی با آن مواجه هستند. برهمکنش سال و هیبرید برای وزن هزار دانه غیر معنی‌دار به‌دست آمد.

تنوع میان هیبریدهای به‌دست‌آمده از تلاقی‌ها با استفاده از روش چهارم گریفینگ به اجزای واریانس افزایشی و غیرافزایشی تفکیک شد. میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی برای تمامی صفات تحت مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات عملکرد دانه و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و برای ارتفاع بلال در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد. بر اساس نتایج اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها به‌صورت توأم در بیان و توارث صفات مورد مطالعه دخیل هستند. معنی‌دار نبودن ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات وزن هزار دانه، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال نشان داد که در کنترل ژنتیکی این صفات، ژن‌های با اثر غیرافزایشی نقش بر عهده نداشتند و در مقابل، با توجه به معنی‌داری

اثر ترکیب‌پذیری عمومی این صفات، صرفاً ژن‌هایی با اثر افزایشی در کنترل این صفات دخالت داشتند. این در حالی است که واکارو و همکاران (Vacaro *et al.*, 2002) بیان داشتند که در بیش‌تر صفات ذرت، میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی بیش‌تر از میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی بود و بنابراین نقش ژن‌های با اثر افزایشی را در کنترل صفات کمی ذرت گزارش کردند. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در تحقیقات حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2006)، گل‌پرور و همکاران (Golparvar *et al.*, 2012) و صارمی‌راد و مصطفوی (Saremirad and Mostafavi, 2018) نیز معنی‌دار گزارش شده است. دهقانپور (Dehghanpour, 2013) نیز در مطالعه‌ای که با هدف برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی انجام داد، به نتایج نسبتاً مشابهی دست یافت.

برهمکنش سال و هیبرید برای تمامی صفات به دو جز ترکیب‌پذیری عمومی×سال و ترکیب‌پذیری خصوصی×سال تفکیک شد. برهمکنش ترکیب‌پذیری عمومی و سال برای عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن این اثر حاکی از تفاوت واکنش جز افزایشی صفات در محیط‌های مختلف است. برهمکنش ترکیب‌پذیری خصوصی×سال برای هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود که نشان دهنده عدم تأثیرگذاری محیط بر اثرات غیرافزایشی ژن‌ها است (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده از برهمکنش سال و ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی با نتایج مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2008a) و گلاور و همکاران (Glover *et al.*, 2005) مطابقت داشت.

نسبت بیکر اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها را به شکل آشکارتری نشان می‌دهد. اگر این نسبت نزدیک به یک برآورد شود، به مفهوم نقش بیش‌تر اثرات افزایشی ژن‌ها و برعکس، اگر نزدیک به صفر باشد، مبین نقش مؤثرتر و مهم‌تر اثرات غیرافزایشی (غالبیت، فوق‌غالبیت و اپیستازی) و اگر در حدود ۰/۵ برآورد شود، نشان‌دهنده سهم برابر اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفت مربوطه می‌باشد (Baker, 1978). برآورد این نسبت در این آزمایش نقش بیش‌تر اثر افزایشی ژن‌ها را در کنترل تمامی صفات به‌ترتیب شامل وزن هزار دانه (۰/۹۱)، درصد چوب بلال (۰/۸۹)، ارتفاع بوته (۰/۸۶)، درصد رطوبت دانه (۰/۸۴)، ارتفاع بلال (۰/۸۳) و عملکرد دانه (۰/۸۰) نشان داد (جدول ۳). صارمی‌راد و مصطفوی (Saremirad and Mostafavi, 2018) به‌منظور تعیین نقش اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مختلف از نسبت بیکر استفاده و بیان کردند که اثرات افزایشی در کنترل صفات قطر ساقه و طول دانه سهم بیش‌تری دارند. دهقانپور (Dehghanpour, 2013) نسبت بیکر را برای عملکرد دانه ۰/۵۵ برآورد کرد و سهم اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها را در کنترل عملکرد دانه یکسان گزارش کرد. از آنجایی که پیش‌بینی عملکرد هیبریدها برای به‌نژادگر به‌طور مستقیم از طریق قابلیت ترکیب‌پذیری لاین‌های والدینی مشکل است، بنابراین لازم است روی اثر ترکیب‌پذیری خصوصی و یا صفات وابسته‌ای که می‌توانند باعث بهبودی عملکرد شوند، متمرکز شد.

مقادیر پارامترهای مختلف ژنتیکی در جدول ۳ ارایه شده است. در رابطه با سهم واریانس‌های افزایشی و غیرافزایشی روند خاصی ملاحظه نشد. در صفت ارتفاع بوته سهم واریانس غیرافزایشی بیش‌تر از واریانس افزایشی بود، در حالی‌که برای سایر صفات شامل عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال، سهم واریانس افزایشی ژن‌ها بیش‌تر از واریانس غیرافزایشی برآورد شد. دهقانپور (Dehghanpour, 2013) برای صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال، سهم واریانس غیرافزایشی را بیش‌تر از واریانس افزایشی و برای صفت تعداد ردیف دانه در بلال، کم‌تر از واریانس افزایشی گزارش کرد که با نتایج آزمایش حاضر مغایرت داشت. چوکان و مساوات (Choukan and Mosavat, 2005) بیان کردند که در کنترل توارث صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد ردیف دانه در بلال، عرض دانه و تعداد دانه در بلال ژن‌هایی با اثر افزایشی و غیر افزایشی و در توارث صفات طول گل تاجی، طول محور بالایی گل تاجی، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و ضخامت دانه فقط ژن‌هایی با اثر افزایشی نقش دارند.

درجه غالبیت صفات مختلف مطالعه شده در پژوهش حاضر در دامنه ۰/۹۹ برای درصد رطوبت تا ۲/۱۲ برای عملکرد دانه قرار داشت (جدول ۳). درجه غالبیت دو صفت وزن هزار دانه و درصد رطوبت دانه در حدود یک بود که بیانگر غالبیت کامل در این صفات می‌باشد. مقادیر درجه غالبیت عملکرد دانه، درصد چوب بلال، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال بالاتر از عدد یک بود که نشان‌دهنده اثر فوق غالبیت در این صفات است. در صفات عملکرد دانه، درصد

چوب بلال و ارتفاع بلال علاوه بر چیرگی واریانس افزایشی بر واریانس غالبیت، این صفات تحت تأثیر اثر غالبیت ژنی نیز قرار دارند، لذا مطلوب است که به‌منظور بهبود عملکرد دانه با تولید ارقام هیبرید و بهره‌گیری از پدیده هتروزیس از این اثرات بهره برد. این نتایج تا حدود بسیار زیادی منطبق با نتایج دهقانپور (Dehghanpour, 2013) بود.

مقادیر وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی نیز در جدول ۳ ارایه شده است. وراثت‌پذیری عمومی از ۱۴/۷۳ تا ۴۹/۸۳ درصد متغیر بود که به‌ترتیب به صفات وزن هزار دانه و ارتفاع بوته تعلق داشت که نشان می‌دهد اهمیت واریانس ژنتیکی پایین است. وراثت‌پذیری عمومی صفات به‌طور کلی متوسط به پایین بود. دامنه تغییرات وراثت‌پذیری خصوصی نیز در بازه ۲/۴۰ درصد برای درصد رطوبت دانه تا ۳۱/۳۹ درصد برای عملکرد دانه برآورد شد. وراثت‌پذیری خصوصی در واکنش صفات به انتخاب در سطح اینبرد دخیل است. از آنجایی که وراثت‌پذیری خصوصی نسبت واریانس افزایشی به واریانس ژنتیکی را به نمایش می‌گذارد، از این‌رو در پیشبرد اهداف اصلاحی از نظر گزینش دارای اهمیت زیادی است. وراثت‌پذیری تمامی صفات تحت مطالعه پایین بود که علت آن می‌تواند ناشی از تأثیر اثرات غیر افزایشی ژن‌ها باشد. نتایج مشابهی توسط نوادو و کراس (Nevado and Cross, 1990) و دهقانپور (Dehghanpour, 2002; Dehghanpour, 2013) گزارش شده است. دهقانپور (Dehghanpour, 2007) طی تلاقی دای‌آللی که انجام داد، بیان کرد که پائین بودن وراثت‌پذیری خصوصی عملکرد دانه نشانگر این نکته است که گزینش برای عملکرد دانه بدون بهره‌وری از اثرات غالبیت ژنی چندان مؤثر نخواهد بود. از میان اجزاء عملکرد دانه تنها تعداد ردیف دانه در بلال از وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برخوردار بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی بر اساس روش چهارم گریفینگ

Table 2. Combined analysis of variance of the studied traits based on fourth method of Griffing

Source of variations†	df	Mean squares					
		Yield	100 kernel weights	Plant height	Ear height	Kernel moisture percentage	Cob percentage
Year	1	43.41**	38256.13**	24083.55**	16307.31**	480.88**	63.32**
Block (Year)	4	10.14	209.12	914.63	349.90	5.76	4.01
Hybrid	35	5.20**	1479.10*	558.40**	244.38**	5.50*	6.06**
GCA	8	8.66**	3933.28**	172.36**	419.40**	10.35**	14.31**
SCA	27	4.17**	748.05^{ns}	376.49**	166.60*	4.06^{ns}	3.61^{ns}
Year×Hybrid	35	3.63*	1170.60^{ns}	435.03**	213.39**	6.30**	6.64**
Year×GCA	8	5.49*	2993.56**	1414.27**	586.55**	12.83**	13.68**
Year×SCA	27	3.08^{ns}	630.47^{ns}	144.89^{ns}	102.83^{ns}	4.37^{ns}	4.55^{ns}
Error	140	2.13	972.12	140.29	93.12	3.51	3.21
CV (%)		10.12	9.97	5.65	9.20	8.48	10.16

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

†: GCA, general combining ability; SCA, specific combining ability.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مختلف ژنتیکی صفات مورد بررسی در لاین‌های برگزیده ذرت

Table 3. Values of the different genetic components of the studied traits in selected maize lines

Genetic component	Yield	100 kernel weights	Plant height	Ear height	Kernel moisture percentage	Cob percentage
Baker ratio	0.80	0.91	0.86	0.83	0.84	0.89
Additive / Non-additive	Additive	Additive	Non-additive	Additive	Additive	Additive
Additive variance	0.99	39.14	22.54	10.98	0.10	0.74
Non-additive variance	0.18	19.60	38.60	10.62	0.05	0.15
Degree of dominance	2.12	1.00	1.85	1.39	0.99	2.05
Broad sense heritability	32.44	14.73	49.83	35.13	15.90	22.84
Narrow sense heritability	31.39	3.43	8.06	7.65	2.40	17.79

مقادیر اثرات ترکیب‌پذیری عمومی تمامی صفات مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. دامنه تغییرات ترکیب‌پذیری عمومی عملکرد دانه بین ۰/۵۲۸- برای والد KE 79017/3211 تا ۰/۷۱۵ برای والد NK79 متغیر بود. ترکیب‌پذیری عمومی دو لاین NK79 و KE 77008/1 برای صفت عملکرد دانه در جهت مثبت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. استفاده از لاین‌های مذکور به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده عمومی سهم واریانس افزایشی و بازده گزینش را افزایش خواهد داد. بنابراین می‌توان برای افزایش عملکرد دانه در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر گزینش از این والدهایی که دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت هستند، استفاده کرد. همچنین می‌توان از این لاین‌ها جهت افزایش ژن‌هایی با اثر افزایشی و بهره‌برداری از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. والد KE 79017/3211 برای صفت عملکرد دانه در جهت منفی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در نتیجه این والد باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان عملکرد می‌شود. برای صفت وزن هزار دانه تنها یکی از والدین (KE 77004/1) ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. این والد سبب شد تا وزن هزار دانه با کاهش مواجه شود. در مورد ارتفاع بوته والدهای K 1264/5-1 و NK79 از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و والد KE 79017/3211 از ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برخوردار بودند.

در رابطه با ارتفاع بلال والد KE 79017/3211 دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری بود. ارتفاع زیاد بلال می‌تواند منجر به شکستن و خوابیدگی ساقه و در نتیجه کاهش عملکرد شود و بنابراین کاهش ارتفاع بلال می‌تواند مفید باشد. برای این منظور استفاده از لاینی که دارای اثر ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری است، می‌تواند سبب افزایش سهم آثار افزایشی ژن‌ها شده و بازدهی انتخاب را بالا برد. برای درصد رطوبت دانه والد KE 75016/321 دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار و والد K 1264/5-1 دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری بود. در خصوص درصد چوب بلال والد KE 76009/311 از ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری برخوردار بود، در مقابل دو لاین K 1264/5-1 و K 1263/1 ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- ترکیب‌پذیری عمومی عملکرد و برخی ویژگی‌های اگرو-مورفولوژیک لاین‌های برگزیده ذرت بر اساس تلاقی‌های دای‌آلل

Table 4. General combining ability of grain yield and some of agro-morphological traits in selected maize lines based on diallel crosses

No.	Parent	Yield	100 kernel weights	Plant height	Ear height	Kernel moisture percentage	Cob percentage
1	K 1263/1	-0.007^{ns}	-5.212^{ns}	-0.946^{ns}	1.632^{ns}	-0.340^{ns}	-0.820**
2	K 1264/5-1	0.275^{ns}	-7.080^{ns}	6.320*	3.684^{ns}	-0.755*	-1.031**
3	KE 77005/2	0.198^{ns}	2.979^{ns}	-0.656^{ns}	-2.124^{ns}	0.006^{ns}	0.089^{ns}
4	NK79	0.715**	8.284^{ns}	6.062*	1.217^{ns}	-0.200^{ns}	0.223^{ns}
5	KE 77008/1	0.692**	16.594^{ns}	3.786^{ns}	2.151^{ns}	-0.152^{ns}	-0.204^{ns}
6	KE 76009/311	-0.328^{ns}	-0.906^{ns}	-2.375^{ns}	-0.462^{ns}	0.633^{ns}	0.718*
7	KE 75016/321	-0387^{ns}	-7.742^{ns}	-1.075^{ns}	2.803^{ns}	0.873*	0.348^{ns}
8	KE 77004/1	-0.078^{ns}	-14.281**	0.024^{ns}	-2.820^{ns}	-0.200^{ns}	0.446^{ns}
9	KE79017/3211	-0.528*	7.367^{ns}	-11.141**	-6.082**	0.135^{ns}	0.229^{ns}

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

در مجموع از لاین‌های مورد استفاده در این پژوهش، سه لاین NK79، KE 77008/1 و KE 75016/321 اثرات مثبتی را بر صفات مورد بررسی داشتند. لاین KE 79017/3211 در کل با اثرات منفی روی صفات همراه بود و سبب کاهش در میزان آن‌ها شد. نظر به اینکه قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مبین اثرات افزایشی ژن‌ها است، بنابراین والدهایی که از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالایی برخوردارند، اثر افزایشی زیادی نیز به همراه دارند که می‌توان از آن‌ها در تولید ارقام سینتتیک بهره برد. مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2008b) گزارش کردند که لاین‌های K166B، K3615/2 و K3653/2 برای عملکرد دانه از بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی هستند و بنابراین استفاده از آن‌ها جهت بهبود ژنتیکی عملکرد مفید خواهد بود. طی مطالعه دیگری که

به‌منظور بررسی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های اینبرد زودرس ذرت به‌وسیله روش چهار گریفینگ انجام شد، نتیجه‌گیری شد که اثرات افزایشی در بیان کلیه صفات مورد اندازه‌گیری دخیل بودند، اما اثرات غیرافزایشی در بیان صفات تعداد ردیف دانه، طول برگ، تعداد برگ، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال دخالت داشتند (Dehghanpour, 2002).

ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها برای صفات مورد بررسی در جدول ۵ ارایه شده است. در رابطه با عملکرد دانه، دامنه تغییرات ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها در بازه ۱/۶۱۳- برای تلاقی KE 76009/311×K 1263/1 تا ۱/۸۲۹ برای تلاقی KE 77005/2×K 1263/1 قرار داشت. میزان ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای KE 77005/2×K 1263/1 و KE 76009/311×K 1264/5-1 مثبت و معنی‌دار و هیبریدهای KE 76009/311×K 1263/1 و KE 76009/311×KE 77008/1 منفی و معنی‌دار برآورد شد. بنابراین استفاده از هیبریدهای با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار، می‌تواند در افزایش ژن‌هایی با اثر غیرافزایشی جهت تولید هیبرید مفید واقع شود.

جدول ۵- ترکیب‌پذیری خصوصی عملکرد و برخی ویژگی‌های اگرو- مورفولوژیک لاین‌های برگزیده ذرت بر اساس تلاقی‌های دای‌آلل

Table 5. Specific combining ability of grain yield and some of agro-morphological traits in selected maize lines based on diallel crosses

No.	Hybrid	Yield	100 kernel weights	Plant height	Ear height	Kernel moisture percentage	Cob percentage
1	K 1264/5-1×K 1263/1	-0.980^{ns}	-4.966^{ns}	3.802^{ns}	2.304^{ns}	0.099^{ns}	-0.642^{ns}
2	KE 77005/2×K 1263/1	1.829**	15.987^{ns}	2.945^{ns}	0.716^{ns}	0.614^{ns}	-0.180ns
3	NK79×K 1263/1	0.331^{ns}	11.683^{ns}	-1.840^{ns}	-2.559^{ns}	-0.994^{ns}	0.907^{ns}
4	KE 77008/1×K 1263/1	0.226^{ns}	3.567^{ns}	1.769^{ns}	4.707^{ns}	0.274^{ns}	-0.359^{ns}
5	KE 76009/311×K 1263/1	-1.61**	-5.666^{ns}	2.730^{ns}	-0.245^{ns}	-0.494^{ns}	-0.713^{ns}
6	KE 75016/321×K 1263/1	-0.134^{ns}	-11.027^{ns}	0.430^{ns}	1.221^{ns}	0.148^{ns}	0.455^{ns}
7	KE 77004/1×K 1263/1	0.157^{ns}	1.735^{ns}	-4.335^{ns}	-4.688^{ns}	0.773^{ns}	0.574^{ns}
8	KE 79017/3211×K 1263/1	0.182^{ns}	-11.313^{ns}	-5.502^{ns}	-1.592^{ns}	-0.330^{ns}	-0.042^{ns}
9	KE 77005/2×K 1264/5-1	0.136^{ns}	15.205^{ns}	-9.454^{ns}	-4.935^{ns}	0.045^{ns}	0.820^{ns}
10	NK79×K 1264/5-1	-0.443^{ns}	-3.864^{ns}	-5.940^{ns}	-3.878^{ns}	-1.030^{ns}	-0.316^{ns}
11	KE 77008/1×K 1264/5-1	-0.183^{ns}	-7.341^{ns}	8.635^{ns}	9.021^{ns}	-0.944^{ns}	-0.451^{ns}
12	KE 76009/311×K 1264/5-1	1.436*	2.379^{ns}	2.064^{ns}	0.502^{ns}	0.953^{ns}	-0.559^{ns}
13	KE 75016/321×K 1264/5-1	-0.636^{ns}	13.012^{ns}	5.164^{ns}	4.735^{ns}	-0.070^{ns}	-0.215^{ns}
14	KE 77004/1×K 1264/5-1	0.187^{ns}	-5.965^{ns}	4.197^{ns}	-2.140^{ns}	0.202^{ns}	0.493^{ns}
15	KE 79017/3211×K 1264/5-1	0.473^{ns}	-8.460^{ns}	-8.469^{ns}	-5.645^{ns}	0.833^{ns}	0.871^{ns}
16	NK79×KE 77005/2	-1.161^{ns}	-12.877^{ns}	19.335**	10.564*	-0.825^{ns}	0.162^{ns}
17	KE 77008/1×KE 77005/2	-0.404^{ns}	-9.012^{ns}	-8.721^{ns}	-10435*	-0.573^{ns}	0.817^{ns}
18	KE 76009/311×KE 77005/2	0.767^{ns}	-3.708^{ns}	0.873^{ns}	1.845^{ns}	-1.075^{ns}	-0.810^{ns}
19	KE 75016/321×KE 77005/2	0.498^{ns}	-3.363^{ns}	-3.426^{ns}	-0.121^{ns}	1.250^{ns}	-0.171^{ns}
20	KE 77004/1×KE 77005/2	-0.860^{ns}	-14.929^{ns}	-1.892^{ns}	1.269^{ns}	-0.442^{ns}	-0.185^{ns}
21	KE 79017/3211×KE 77005/2	-0.805^{ns}	12.699^{ns}	-1.659^{ns}	0.997^{ns}	1.005^{ns}	-0.435^{ns}
22	KE 77008/1×NK79	0.035^{ns}	-13.484^{ns}	-8.040^{ns}	-2.178^{ns}	0.867^{ns}	-0.336^{ns}
23	KE 76009/311×NK79	0.963^{ns}	7.084^{ns}	-1.445^{ns}	0.102^{ns}	0.348^{ns}	0.478^{ns}
24	KE 75016/321×NK79	-0.011^{ns}	8.627^{ns}	-4.335^{ns}	0.402^{ns}	0.374^{ns}	-0.424^{ns}
25	KE 77004/1×NK79	0.301^{ns}	-3.231^{ns}	-4.645^{ns}	-4.340^{ns}	1.164^{ns}	-0.127^{ns}
26	KE 79017/3211×NK79	-0.025^{ns}	6.062^{ns}	6.921^{ns}	1.888^{ns}	0.095^{ns}	-0.353^{ns}
27	KE 76009/311×KE 77008/1	-1.296*	-8.100^{ns}	-13.835*	-8.130^{ns}	1.633^{ns}	2.153**
28	KE 75016/321×KE 77008/1	0.096^{ns}	7.987^{ns}	10.346^{ns}	0.635^{ns}	-0.089^{ns}	-0.353^{ns}
29	KE 77004/1×KE 77008/1	1.004^{ns}	18.733^{ns}	5.230^{ns}	4.226^{ns}	-0.816^{ns}	-1.729*
30	KE 79017/3211×KE 77008/1	0.522^{ns}	7.649^{ns}	4.597^{ns}	2.154^{ns}	-0.351^{ns}	0.258^{ns}
31	KE75016/321×KE76009/311	0.159^{ns}	-5.243^{ns}	7.692^{ns}	4.316^{ns}	-0.675^{ns}	-0.377^{ns}
32	KE 77004/1×KE 76009/311	0.078^{ns}	18.137^{ns}	-2.007^{ns}	2.707^{ns}	-0.501^{ns}	0.446^{ns}
33	KE79017/3211×KE76009/311	-0.496^{ns}	-4.883^{ns}	1.926^{ns}	-1.097^{ns}	-0.187^{ns}	-0.626^{ns}
34	KE 77004/1×KE 75016/321	-0.494^{ns}	-11.359^{ns}	-7.307^{ns}	-5.759^{ns}	-0.125^{ns}	0.632^{ns}
35	KE79017/3211×KE75016/321	0.522^{ns}	1.366^{ns}	-8.573^{ns}	-5.430^{ns}	-0.811^{ns}	0.453^{ns}
36	KE 79017/3211×KE 77004/1	-.374^{ns}	-3.119^{ns}	10.759^{ns}	8.726^{ns}	-0.254^{ns}	-0.106^{ns}

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

نتایج مشابهی توسط چوکان و مساوات (Choukan and Mosavat, 2005) و مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2008b) گزارش شده است. دهقانپور و اهدایی (Dehghanpour and Ehdaie, 2013) ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی را در لاین‌های زودرس ذرت بررسی و کردند و نشان دادند که فقط دو لاین KE75039 و K1264/5-1 برای صفت عملکرد دانه حداقل مشارکت را در برهمکنش محیط×GCA ایفا کردند و بالاترین پایداری GCA را داشتند. تلاقی KE75039×K2331 نیز بیش‌ترین پایداری SCA عملکرد دانه را در تمام محیط‌ها دارا بود.

دامنه تغییرات وزن هزار دانه بین ۱۴/۹۲۹- برای تلاقی KE 77005/2×KE 77004/1 تا ۱۸/۱۳۷ برای تلاقی KE 76009/311×KE 77004/1 متغیر بود، اما ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری مشاهده نشد. برای ارتفاع بوته، هیبرید NK79×KE 77005/2 ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و هیبرید KE 76009/311×KE 77008/1 ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشت. برای ارتفاع بلال در میان تلاقی‌های والدینی تنها دو تلاقی NK79×KE 77005/2 و KE 77008/1×KE 77005/2 ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان دادند که اولین تلاقی در جهت مثبت و دیگری در جهت منفی بود. برای درصد رطوبت دانه نیز ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری مشاهده نشد، اما دامنه تغییرات آن بین ۱/۰۷۵- تا ۱/۶۳۳ به‌ترتیب برای تلاقی‌های KE 76009/311×KE 77005/2 و KE 76009/311×KE 77008/1 متغیر بود. برای درصد چوب بلال، هیبرید KE 76009/311×KE 77008/1 ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و هیبرید KE 77004/1×KE 77008/1 ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشتند (جدول ۵). آزمایش‌های انجام‌شده روی ذرت نشان می‌دهند که میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی نقش موثری در کنترل صفات دارند (Choukan and Mosavat, 2005; Mostafavi *et al.*, 2008a; Mostafavi *et al.*, 2008b). در آزمایش دیگری (Dehghanpour, 2013)، عنوان شد که تنها سه لاین OH43/1-42، KE75039 و K1263/1 به‌ترتیب ترکیب‌پذیری عمومی نسبتاً خوبی داشتند که اگر هدف تهیه ارقام ترکیبی باشد، می‌توانند مفید باشند، اما برای تولید هیبرید، تلاقی‌های KE75039×K1263/2-1، K1263/1×KE72012/1، K1263/1×K2331 و OH43/1/42×K1263/2-1 که ترکیب‌پذیری خصوصی قابل توجهی داشتند، می‌توانند استفاده شوند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این آزمایش، وجود تنوع معنی‌دار بین هیبریدهای حاصل از تلاقی بین والدین مورد مطالعه را نشان داد. بر اساس نتایج، صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال توسط ژن‌های با هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی کنترل شدند، اما در وارثت صفات وزن هزار دانه، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال، تنها ژن‌هایی با اثر افزایشی دخیل بودند. در این آزمایش دو لاین NK79 و KE 77008/1 به‌ترتیب از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مطلوبی برای عملکرد دانه برخوردار بودند و بنابراین برای تهیه ارقام ترکیبی می‌توان از این‌لاین‌ها بهره برد. اما برای تولید هیبریدهای سینگل‌کراس با استفاده از لاین‌های اینبرد، تلاقی‌های KE 77005/2×K 1263/1 و KE 76009/311×K 1264/5-1 که دارای ترکیب‌پذیری خصوصی قابل‌توجهی بودند، می‌توانند مفید واقع شوند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision.

Baker, R. 1978. Issues in diallel analysis. **Crop Science** 18: 533-536.

Chaudhary, H. K., Kaila, V. and Rather, S. A. 2014. Maize. In: Pratap, A. and Kumar, J. (Eds.). Alien gene transfer in crop plants: Achievements and impacts. Springer, New York. pp: 27-50.

Choukan, R. and Mosavat, A. 2005. Mode of gene action of different traits in maize tester lines. **Seed and Plant Journal** 21: 547-556. (In Persian with English Abstract).

Dehghanpour, Z. 2002. General and specific combining ability and genetic parameters of maize inbreed lines for different triats**. Seed and Plant Improvment Journal** 18: 49-61. (In Persian with English Abstract).

Dehghanpour, Z. 2007. Evaluation of the compatibility of selected early maize lines using diallel crossing. Final report of the project. Agricultural Scientific Information and Documentation Center. (In Persian).

Dehghanpour, Z. 2013. Diallel analysis of grain yield, number of kernel rows per ear and number of kernels per row in early maturity maize hybrids. **Iranian Journal of Crop Sciences** 15 (2): 1-17. (In Persian with English Abstract).

Dehghanpour, Z. and Ehdaie, B. 2013. Stability of general and specific combining ability effects for grain yield in elite Iranian maize inbred lines. **Journal of Crop Improvement** 27: 137-152.

Dehghanpour, Z., Ehdaie, B. and Moghaddam, M. 1996. Diallel analysis of agronomic characters in white endosperm corn. **Journal of Genetic and Breeding** 50: 357-365.

Falconer, D. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.

Farshadfar, E. 1998. Application of biometrical genetics in plant breeding. Razi University of Kermanshah Publications. Kermanshah, Iran. (In Persian).

Foley, J. 2013. Its time to rethink America's corn system. Scientific American. https://www.scientificamerican.com/article/time-to-rethink-corn.

Glover, M. A., Willmot, D. B., Darrah, L. L., Hibbard, B. E. and Zhu, X. 2005. Diallel analyses of agronomic traits using Chinese and US maize germplasm. **Crop Science** 45: 1096-1102.

Golparvar, A., Mottaghi, S. and Lotfifar, O. 2012. Diallel analysis of grain yield and its components in bread wheat genotypes under drought stress conditions. **Plant Production Technology** 3: 51-62. (In Persian with English Abstract).

Griffing, B. 1956a. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** 9: 463-493.

Griffing, B. 1956b. A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity** 10: 31-50.

Groos, C., Bervas, E. and Charmet, G. 2004. Genetic analysis of grain protein content, grain hardness and dough rheology in a hard×hard bread wheat progeny. **Journal of Cereal Science** 40: 93-100.

Harvil, B. G., Josephson, L. M. and Kincer, H. C. 1978. Diallel analysis for ear height and associated characters in corn. **Crop Science** 18:273-275.

Heidari, B., Rezaie, A. and Maibody, S. M. 2006. Diallel analysis for the estimation of the genetic parameters of grain yield and grain yield components in bread wheat. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 10 (2): 121-139. (In Persian with English Abstract).

Jans, W. W., Jacobs, C. M., Kruijt, B., Elbers, J. A., Barendse, S. and Moors, E. J. 2010. Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crop: Influence of phenology. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 139: 316-324.

Joshi, S., Sharma, S., Singhania, D. and Sain, R. 2004. Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). **Hereditas** 141: 115-121.

Liu, Y., Li, S., Chen, F., Yang, S. and Chen, X. 2010. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management** 97: 769-775.

Malvar, R., Ordás, A., Revilla, P. and Cartea, M. 1996. Estimates of genetic variances in two Spanish populations of maize. **Crop Science** 36: 291-295.

Melani, M. and Carena, M. 2005. Alternative maize heterotic patterns for the Northern corn Belt. **Crop Science** 45: 2186-2194.

Miranda, G. V., De Souza, L. V., Galvão, J. C. C., Guimarães, L. J. M., De Melo, A. V. and Dos Santos, I. C. 2008. Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. **Euphytica** 162: 431-440.

Mostafavi, K., Choukan, R., Bihamta, M., Heravan, E. M. and Taeb, M. 2008a. Evaluation and identification of Iranian corn inbred lines for heterotic patterns and heterotic groups. Ph. D. Dissertation. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. (In Persian).

Mostafavi, K., Choukan, R., Taeb, M. and Bihamta, M. R. 2008b. Investigation of combining ability in Iranian corn inbred lines (*Zea mays* L.) using a diallel cross design. **Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding** 4: 1-17. (In Persian with English Abstract).

Nevado, M. and Cross, H. 1990. Diallel analysis of relative growth rates in maize synthetics. **Crop Science** 30: 549-552.

Panda, R., Behera, S. and Kashyap, P. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. **Agricultural Water Management** 66: 181-203.

Rojas, B. A. and Sprague, G. F. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials: III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. **Agronomy Journal** 44: 462-466.

Rood, S. and Major, D. 1981. Diallel analysis of leaf number, leaf development rate, and plant height of early maturing maize. **Crop Science** 21: 867-873.

Saremirad, A., Abbasi, S. and Mostafai, K. 2021. Study of genetic structure of grain yield and some agro-morphological characteristics in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using diallel analysis and GGE biplot method. **Journal of Crop Breeding** 13: 130-139. (In Persian with English Abstract).

Saremirad, A. and Mostafavi, K. 2018. Genetic analysis of important agronomic traits in some of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under normal and drought stress conditions. **Cereal Research** 8: 397-408. (In Persian with English Abstract).

Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy** 34 (10): 923-932.

Sujiprihati, S., Saleh, G. and Ali, E. 2001. Combining ability analysis of yield and related characters in single cross hybrids of tropical maize (*Zea mays* L.). **Sabrao Journal of Breeding and Genetic** 33: 111-120.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. and Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 108: 20260-20264.

Ünay, A., KONAK, C. and BAŞAL, H. 2004. Inheritance of grain yield in a half-diallel maize population. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 28: 239-244.

Vacaro, E., Barbosa Neto, J. F., Pegoraro, D. G., Nuss, C. N. and Conceição, L. D. H. 2002. Combining ability of twelve maize populations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37: 67-72.

Vaezi, S., Abd-Mishani, C., Yazdi-Samadi, B. and Ghanadha, M. R. 1999. Genetic analysis of quantitative traits in maize, I. Generation mean analysis of yield and yield components. **Iranian Journal of Agricultural Science** 30: 839-851. (In Persian with English Abstract).

Vasal, S. K., Srinivasan, G., Crossa, J. and Beck, D. L. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early-maturity maize germplasm. **Crop Science** 32: 884-890.

Zhang, Y., Kang, M. S. and Lamkey, K. R. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner–Eberhart analyses. **Agronomy Journal** 97: 1097-1106.

Zhang, Y., Kang, M. S. and Magari, R. 1996. A diallel analysis of ear moisture loss rate in maize. **Crop Science** 36: 1140-1144.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/CR.2021.20851.1694

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 11, No. 3, Autumn 2021 (269-280)

Genetically analysis of grain yield and some agro-morphological characteristics of selected early maturity maize lines using diallel analysis

Seyyed Mohammad Sadegh Hosseini[1], Khodadad Mostafavi[2*], Mohammadreza Shiri[3], Abdollah Mohammadi[2] and Seied Mehdi Miri[4]

Received: October 16, 2021 Accepted: December 16, 2021

Abstract

Comprehensive information on the genetics basis of inheritance is important for breeding programs. The present study was performed as a diallel crosses using nine selected early maturity maize lines. Thirty-six hybrids resulting from their one-way diallel crosses were planted in a randomized complete block design with three replications during two years, 2020 and 2021. Based on two-year combined analysis of variance, a significant difference was observed in the probability levels of 5% and 1% between the crosses for all studied traits. Diallel analysis using fourth method of Griffing showed that both additive and non-additive effects of genes are involved in the genetic control of grain yield, plant height and ear height, but only genes with additive effects plays an important role in control of of 100-grain weight, grain moisture percentage and cob percentage. Estimation of Baker ratio also showed that the additive effects of genes had a greater role in controlling 100-grain weight, cob percentage, plant height, grain moisture percentage, ear height and grain yield. The most desirable general combinator for grain yield were two lines NK79 and KE 77008/1, while the specific combining ability of crosses KE 77005/2 × K 1263/1 and KE 76009/311 × K 1264 / 5-1 for grain yield were positive and significant. In total, the results of general and specific combining ability indicated that the use of studied lines and crosses to improve grain yield in breeding programs can be promising.

Keywords: Baker ratio, Combining ability, Genetic diversity, Heritability, Yield components

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
[*] Corresponding author: mostafavi@kiau.ac.ir