

ارزیابی وراثت پذیری و پارامترهای ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مهم زراعی در لاین های ذرت (*Zea mays* L.) با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل ها

Evaluation of heritability and genetic parameters of grain yield and important agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) lines using generations mean analysis method

سید سعید موسوی^۱، فریرز قنبری^۲، محمدرضا عبداللهی^۳، علی رضا کیانی^۴ و سید افشین مساوات^۵

چکیده

موسوی، س. س.، ف. قنبری، م. ر. عبداللهی، ع. ر. کیانی و س. ا. مساوات. ۱۳۹۷. ارزیابی وراثت پذیری و پارامترهای ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مهم زراعی در لاین های ذرت (*Zea mays* L.) با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل ها. مجله علوم زراعی ایران. ۲۰(۲): ۱۰۷-۹۳.

اولین گام در به نژادی یک صفت، داشتن آگاهی کافی از پارامترهای ژنتیکی شامل نحوه وراثت پذیری و نوع عمل ژن ها برای آن صفت می باشد. روش تجزیه میانگین نسل ها به دلیل خطای برآورد کم تر، یکی از بهترین روش های برآورد پارامترهای ژنتیکی محسوب می شود. هدف تحقیق حاضر برآورد وراثت پذیری، تعیین تعداد و نوع عمل ژن ها برای برخی از صفات مهم آگرومورفولوژیک در ذرت بود. برای این منظور بذور شش نسل P1، P2، F1، F2، BC1 و BC2 در طی دو سال متوالی تهیه و در سال ۱۳۹۴ در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس وزنی نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نسل ها و امکان اجرای تجزیه میانگین نسل ها برای کلیه صفات مورد نظر بود. صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر چوب بلال و درصد چوب بلال توسط اثرات افزایشی و غالبیت نسبی کنترل می شدند و در کنترل سایر صفات، علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثر اپیستازی نیز نقش داشت. برای اغلب صفات، تفاوت بین دو جزء غالبیت و افزایشی زیاد و میانگین درجه غالبیت ژنی، بزرگ تر از یک بود که این موضوع نشان دهنده سهم بیش تر اثرات غیر افزایشی و در نتیجه اهمیت هتروزیس در بروز این صفات بود. بیش ترین مقدار هتروزیس نسبی و هتروبلتیویسی مثبت و معنی دار به ترتیب مربوط به صفات زیست توده بلال و عملکرد دانه در بلال بود. وراثت پذیری عمومی و خصوصی صفات، به ترتیب در دامنه ۶۲/۴۱ تا ۹۰/۰۶ و ۳/۴۳ تا ۶۰/۴۰ درصد برآورد شدند. حداقل تعداد ژن کنترل کننده صفات در دامنه ۰/۰۳ تا ۴/۷۴ برآورد شدند. به طور کلی، برخلاف عملکرد دانه، گزینش در نسل های اولیه برای صفات مرتبط با عملکرد وراثت پذیری خصوصی بالا؛ از جمله طول بلال، قطر چوب بلال، وزن ۲۵۰ دانه و تعداد ردیف دانه در بلال، منجر به بهبود عملکرد دانه در نسل های پیشرفته خواهد شد. علاوه بر این، با توجه به وراثت پذیری خصوصی بالا برای صفت در صد چوب بلال (۶۰/۴ درصد)، انتخاب در نسل های اولیه برای کاهش درصد چوب بلال، تا حدی که منجر به کاهش معنی دار وزن کلی بلال نشود، باعث افزایش شاخص برداشت بلال و در نتیجه بهبود عملکرد دانه ذرت خواهد شد.

واژه های کلیدی: اپیستازی، اثر غالبیت، تجزیه ژنتیکی، تجزیه میانگین نسل ها و ذرت.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۳ این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده دوم می باشد.

۱- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: s.moosavi@basu.ac.ir)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

۴- استاد بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

۵- استادیار پژوهش بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مقدمه

و عملکرد دانه ذرت دارند. میهایلوف و چرنوف (Mihailov and Chernov, 2006) اظهار داشتند که اثر ایستازی ژن‌ها در کنترل صفات عملکرد دانه، قطر بلال، تعداد دانه در بلال، تعداد بلال، تعداد روز تا گل دهی و تعداد روز تا رسیدگی، دارای اهمیت هستند، اما برای صفات وزن چوب بلال، وزن صد دانه، تعداد روز از گرده افشانی تا ظهور کاکل و طول کاکل، اثر افزایشی و غالبیت بیش‌ترین تأثیر را داشتند. هینز و لامکی (Hinz and Lamkey, 2003) گزارش کردند که اثر ایستازی برای عملکرد دانه در ذرت ناچیز است. حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2009) نشان دادند که اثر غالبیت و فوق‌غالبیت ژن‌ها برای صفات تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن صد دانه، طول بلال و عملکرد دانه در ذرت دارای اهمیت هستند. عزیزی و همکاران (Azizi *et al.*, 2006) گزارش کردند که در کنترل عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال در ذرت، اثر غالبیت اهمیت بیش‌تری نسبت به اثر ایستازی دارد. باتریل و همکاران (Butruille *et al.*, 2004) اظهار داشتند که برای صفت عملکرد دانه در ذرت، اثر غالبیت نقش بیش‌تری نسبت به اثر افزایشی دارد. چوکان (Choukan, 2002) گزارش کرد که در ذرت، درجه غالبیت بالا برای عملکرد دانه و عمق دانه حاکی از نقش اثر غالبیت و فوق‌غالبیت ژن‌ها در کنترل صفات می‌باشد. ولف و پترنلی (Wolf and Peternelli, 2000) اظهار داشتند که برای عملکرد دانه در ذرت، واریانس غالبیت مهم‌تر از واریانس افزایشی است و برای سایر صفات مرتبط با عملکرد، واریانس افزایشی مهم‌تر از واریانس غالبیت بوده و اثر ایستازی اهمیت کم‌تری داشت. زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2011) اظهار داشتند که برای صفات روز از کاکل دهی تا رسیدگی فیزیولوژی، روز از گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژی، ارتفاع بوته، عمق دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و عملکرد دانه در ذرت، بیش‌ترین سهم مربوط به اثرات فوق‌غالبیت بوده و در صفات روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژی و تعداد

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است که از نظر سطح زیر کشت، بعد از گندم و برنج، مقام سوم دنیا را به خود اختصاص داده است (Ashofteh-Beyraghi *et al.*, 2011). تولید کنندگان ذرت، همواره به دنبال راه‌هایی برای افزایش عملکرد دانه، کاهش هزینه‌ها یا ترکیبی از هر دو بوده‌اند (Farnham, 2001) و در این راستا، افزایش عملکرد از طریق به‌نژادی، کارآمدترین و پایدارترین روش می‌باشد. در واقع اولین گام در هر برنامه به‌نژادی، داشتن آگاهی از میزان وارث پذیری صفات و نوع عمل ژن‌ها است (Akhtar and Chaudhry, 2006). یکی از موانع مهم در تولید ارقام با عملکرد بالا، درک ناکافی از عمل ژن‌های مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد است (Roff and Emerson, 2006)، بنابراین جهت برآورد پارامترهای (فراسنجه‌های) ژنتیکی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود (Lamkey and Lee, 2005) که یکی از بهترین آنها، روش تجزیه میانگین نسل‌ها است (Kearsey and Pooni, 1996; Iqbal and Nadeem, 2003). این روش در مقایسه با روش‌های مبتنی بر سایر روش‌ها (تجزیه واریانس) از خطای برآورد کمتری برخوردار است (Hallauer and Miranda, 1985). تعدادی از تحقیقات قبلی در ذرت (Dorri *et al.*, 2014; Shahrokhi *et al.*, 2013; Zare *et al.*, 2008; Azizi *et al.*, 2006)، استفاده از پدیده هتروزیس جهت بهبود عملکرد دانه را گزارش کرده‌اند. تخمین وراثت‌پذیری یک صفت، اطلاعات لازم برای انتقال آن از والدین به نتاج را فراهم کرده، به به‌نژادگران امکان می‌دهد که پیشرفت ژنتیکی در شرایط گزینش را در شدت‌های مختلف گزینش، پیش‌بینی کنند (Ghannadha, 1998). ارشاد الحق و همکاران (Irshad-ul-Haq *et al.*, 2010) نشان دادند که اثرات غیرافزایشی اهمیت بیش‌تری در توارث و کنترل ژنتیکی صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد کاکل دهی، طول بلال

تعیین نوع عمل ژن‌ها و برآورد تقریبی تعداد ژن‌های کنترل‌کننده صفات اگر مورفولوژیک مهم با استفاده از روش تجزیه و تحلیل میانگین نسل‌ها بود. نتایج حاصله برای طراحی برنامه‌های به‌نژادی جهت تهیه ارقام هیبرید با عملکرد بالا قابل استفاده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ایستگاه تحقیقاتی عراقی محله - گرگان انجام شد. مواد گیاهی (جدول ۱) طی سه سال تهیه شدند. پس از تلاقی دو اینبرد لاین $(P_2) \times (P_1) \text{ ILYH0231}$ (به‌عنوان والدین نسل‌ها که مبنای انتخاب آنها تفاوت در عملکرد دانه و برخی از صفات مهم زراعی بود) در سال اول (۱۳۹۲)، نسل F_1 حاصل از تلاقی والدین بدست آمد. در تیرماه سال ۱۳۹۳، والدین و F_1 ها در دو تاریخ کاشت، جهت ایجاد F_2 ها و برای ایجاد BC_1 و BC_2 کشت شدند. پس از تهیه شش نسل $(P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1, BC_2)$ ، در تیرماه سال سوم (۱۳۹۴)، بذرهاي شش نسل فوق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر نسل در هر بلوک در ردیف‌های پنج متری در ۳۰ کپه کشت و در هر کپه دو تا سه بذر برای اطمینان از سبز شدن بذرها کاشته شده و در مرحله سه برگگی، یک بوته در هر کپه حفظ و بوته‌های اضافی تنک شدند. در هر بلوک فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها ۱۷/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

پس از حذف اثر حاشیه، نمونه برداری‌ها از دو خط برای $F_1, P_1, P_2, BC_1, BC_2$ و در سه خط (به دلیل تنوع بیشتر) برای F_2 انجام شد. برای اندازه‌گیری هر صفت از کلیه نسل‌ها (بجز F_2) تعداد ۱۰ بوته و برای نسل F_2 تعداد ۲۰ بوته در هر تکرار انتخاب شدند. صفات مورد مطالعه عبارت بود از؛ روز از سبز شدن تا ظهور کاکل،

دانه در ردیف بلال، غالبیت کامل نقش بیش‌تری داشت. شاه‌رخ‌ی و همکاران (Shahrokhi et al., 2011) اظهار داشتند که برای عملکرد دانه ذرت، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف دانه در بلال، واریانس غالبیت مهم‌تر از واریانس افزایشی بوده، برای صفات طول بلال، ارتفاع بوته و وزن صد دانه، واریانس افزایشی مهم‌تر از واریانس غالبیت بود. علی و همکاران (Ali et al., 2007)، اهمیت بیش‌تر اثرات افزایشی در کنترل صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه و هم‌چنین سهم مؤثر اثرات غیر افزایشی را در کنترل صفات ارتفاع بوته، طول بلال، روز تا کاکل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژی گزارش کردند. آلوک و همکاران (Alok et al., 1998) گزارش کردند که اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در تظاهر صفات کمی مثل ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و عملکرد دانه در ذرت مؤثر است. اثر غیرافزایشی ژن‌ها نیز برای صفات قطر بلال و تعداد ردیف دانه در بلال به‌صورت غالبیت جزئی گزارش شد. لامکی و لی (Lamkey and Lee, 2005)، بتران و همکاران (Betran et al., 2003) به اهمیت اثر افزایشی در توارث عملکرد دانه، طول بلال، قطر بلال و وزن دانه در بلال در آزمایش خود اشاره کرده‌اند. ملانی و کارینا (Melani and Carena, 2003) گزارش کردند که در کنترل دو صفت عملکرد دانه و رطوبت دانه، اثرات افزایشی ژن‌ها نقش مهم‌تری از اثرات غیر افزایشی آن‌ها دارند. ذری و همکاران (Dorri et al., 2014) میانگین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی را برای صفت عملکرد دانه ذرت به ترتیب ۸۸ و ۱۶ درصد گزارش کردند. شاه‌رخ‌ی و همکاران (Shahrokhi et al., 2013) در دو تلاقی، میانگین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی را برای صفت عملکرد دانه ذرت، در تلاقی اول به ترتیب ۸۷ و ۱۶ درصد و در تلاقی دوم به ترتیب ۸۷ و ۳۰ درصد گزارش کردند. هدف از این تحقیق، برآورد پارامترهای ژنتیکی، تخمین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی،

جدول ۱- مشخصات اینبرد لاین‌های والدینی ذرت

Table 1. Characteristics of the parental maize inbred lines

| والدین Parents | کد لاین Code of lines | طول دوره رویش Growth duration |
|---------------------------------------|--------------------------|--|
| والد پدری P ₁ (male) | S0200237 | دیورس (۱۲۰-۱۱۰ روزه) Late maturity (110-120 days) |
| والد مادری P ₂ (female) | ILYH0231 | متوسطرس (۱۱۰-۱۰۰ روزه) Semi-early maturity (100-110 days) |

ژنتیکی با استفاده از روابط کانگ (Kang, 1994) و متزینگر (Matzinger, 1963) محاسبه گردید. برای آزمون وجود یا عدم وجود اثرات متقابل بین مکان‌های ژنی از آزمون مقیاس مشترک استفاده شد (Kearsey and Pooni, 1996). بعد از به‌دست آوردن میانگین نسل‌ها، پارامترهای مختلف ژنتیکی با استفاده از نسل‌های P₁، P₂، F₁، F₂، BC₁ و BC₂ و با استفاده از روش حداقل مربعات موازنه شده تخمین زده شدند. برای نشان دادن اثرات ژنی و اجرای واریانس ژنتیکی از علائم معرفی شده توسط کرسی و پونی (Kearsey and Pooni, 1996) استفاده شد. از مدل‌های دو، سه، چهار و پنج پارامتری در تبیین میانگین‌های مشاهده شده استفاده شد تا مشخص شود که کدام مدل به‌عنوان بهترین مدل می‌تواند میانگین‌ها را توجیه نماید. برآزش تمام مدل‌ها با استفاده از آزمون نیکویی برآزش بر مبنای توزیع کای اسکوتر به ترتیب با چهار، سه، دو و یک درجه آزادی ارزیابی شد. عکس و ضرب کردن ماتریس‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Minitab انجام شد. در نهایت بهترین مدل (مدلی که): ۱- تمام اجزای آن معنی‌دار باشد، ۲- خطای استاندارد آن کم‌تر بوده، و ۳- کای اسکوتر آن معنی‌دار نباشد، برای هر یک از صفات مشخص شد. اجزای تنوع هر صفت با استفاده از روابط مَدِر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) محاسبه شدند. میانگین انحرافات غالبیت در مکان‌های ژنی مختلف و میانگین درجه غالبیت از روش مَدِر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) با استفاده از اجزای تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری‌های عمومی و خصوصی از روش

روز از ظهور کاکل تا رسیدگی فیزیولوژی (طول دوره پر شدن دانه)، روز از سبز شدن تا رسیدن فیزیولوژی، ارتفاع بوته تا زیر کاکل، ارتفاع بوته تا اولین بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در هر ردیف بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، وزن ۲۵۰ دانه با رطوبت ۱۴ درصد، میزان رطوبت دانه در زمان برداشت، درصد چوب بلال، زیست توده بلال (با رطوبت دانه حدود ۱۴ درصد)، عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) و شاخص برداشت بلال بودند. پس از ارزیابی صفات و بررسی توزیع نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها، تجزیه واریانس انجام شد و با مشاهده تفاوت معنی‌دار بین نسل‌ها، تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفات، با استفاده از آزمون مقیاس مشترک (که حساس‌ترین آزمون برای آشکارسازی ایستازی بوده و اطلاعات تمام نسل‌ها را مورد نظر قرار می‌دهد) و با استفاده از نرم‌افزار Minitab و هم‌چنین مدل پیشنهادی مَدِر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) روی داده‌های حاصل از شش نسل، P₁، P₂، F₁، BC₁ و BC₂ صورت گرفت.

رابطه ۱) $Y = m + \alpha[d] + \beta[h] + \alpha^2[i] + 2\alpha\beta[j] + \beta^2[l]$
 میانگین یک نسل، m: میانگین تمام نسل‌ها، [d]: مجموع اثرات افزایشی، [h]: مجموع اثرات غالبیت، [i]: مجموع اثرات متقابل بین اثرات افزایشی، [l]: مجموع اثرات متقابل بین اثرات غالبیت، [j]: مجموع اثرات متقابل بین اثرات افزایشی و غالبیت، α ، β ، α^2 و $2\alpha\beta$: ضرایب هر یک پارامترهای مدل می‌باشند (Mather and Jinks, 1982). درصد هتروزیس با هتروزیس نسبی روی میانگین داده‌ها و پس‌روی

حداقل تعداد ژن‌های کنترل کننده هر صفت با استفاده از رابطه ۲ (Lande, 1981) محاسبه شد؛ در رابطه فوق؛ n ، μ_{p1} ، μ_{p2} ، σ_{BC1}^2 ، σ_{BC2}^2 ، σ_{F1}^2

محمود و کرامر (Mahmud and Krammer, 1951) محاسبه شدند. به دلیل واقعی تر بودن تعداد ژن‌های برآوردی و داشتن حداقل اریب (Ghannadha, 1998)،

$$n = (\mu_{p2} - \mu_{p1})^2 / \{[\sigma_{BC1}^2 + \sigma_{BC2}^2] - (\sigma_{F1}^2 + 0.5\sigma_{P1}^2 + 0.5\sigma_{P2}^2)\} \quad (\text{رابطه ۲})$$

گزارش نمودند. هتروزیس مثبت برای صفات نشان دهنده برتری F_1 نسبت به میانگین والدین و مناسب بودن تلاقی جهت تولید دورگ می‌باشد. منفی بودن هتروزیس نشان دهنده این است که F_1 به طرف والد واجد مقدار کم تر صفت گرایش داشته است، از این رو استنباط می‌شود که در این تلاقی، روش اصلاحی مبتنی بر دورگ گیری می‌تواند جهت بهبود این صفات و بهبود عملکرد دانه مؤثر واقع شود. نتایج مقایسه میانگین نسل‌ها نشان دهنده اختلاف معنی دار بین صفات بود (جدول ۲). میانگین نسل‌ها و خطای معیار صفات مورد مطالعه در نسل‌های مختلف حاصل از تلاقی نشان داد که میانگین صفات طول بلال، ارتفاع بوته، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر چوب بلال، درصد چوب بلال، درصد رطوبت دانه و شاخص برداشت بلال تقریباً در حد واسط دو والد بوده و به یکی از والدین گرایش داشت که نشان دهنده وجود آثار افزایشی ژن‌ها تا غالبیت نسبی در کنترل این صفات و عدم وجود غالبیت کامل می‌باشد، بنابراین روش اصلاحی مبتنی بر گزینش می‌تواند مؤثرتر از دورگ گیری باشد. در سایر صفات مورد مطالعه، میانگین F_1 حاصل از تلاقی دو والد، از حد واسط دو والد بزرگ تر بود که نشان دهنده وجود آثار فوق غالبیت در کنترل این صفات می‌باشد، از این رو چنین استنباط می‌شود که در این صفات، روش اصلاحی مبتنی بر دورگ گیری می‌تواند جهت بهبود صفات و در نهایت عملکرد دانه، مؤثرتر از انتخاب باشد. در صفات تعداد ردیف دانه در بلال، قطر چوب بلال، درصد رطوبت دانه و درصد چوب بلال، پدیده تفکیک متجاوز مشاهده گردید (جدول ۲) که نشان دهنده برتری نتاج F_2 نسبت به والدین آن‌ها (F_1)

σ_{P1}^2 و σ_{P2}^2 به ترتیب نشان دهنده حداقل تعداد ژن‌های کنترل کننده صفت مورد نظر، میانگین والدین شماره اول، میانگین والدین شماره دوم، واریانس نسل تلاقی برگشتی اول، واریانس نسل تلاقی برگشتی دوم، واریانس افراد F_1 ، واریانس افراد F_2 ، واریانس والدین اول و واریانس والدین دوم می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برای کلیه صفات اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) در بین نسل‌ها وجود داشت، در نتیجه امکان اجرای تجزیه میانگین نسل‌ها فراهم شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان هتروزیس نسبی مثبت، بر اساس میانگین والدین و والد برتر به ترتیب مربوط به صفت زیست توده و عملکرد دانه در بوته و بیشترین میزان هتروزیس نسبی منفی برای هر دو هتروزیس مربوط به درصد چوب بلال بودند. صفاتی که دارای هتروزیس بیش تر (عملکرد دانه، زیست توده بلال و تعداد دانه در ردیف بلال) بودند، جزء غالبیت بیش تری را نسبت به جزء افزایشی در تجزیه ژنتیکی نسل‌ها داشتند، بنابراین والدین دورگ، دارای آلل‌های متفاوتی در هر مکان ژنی بودند که در بین آن‌ها آلل‌هایی با اثر غالبیت تا فوق غالبیت وجود داشتند. شاهرخی و همکاران (Shahrokhi et al., 2013) و عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2006)، بیشترین میزان هتروزیس را برای صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف بلال گزارش نمودند. ذری و همکاران (Dorri et al., 2014)، بیشترین میزان هتروزیس را در ذرت در صفات عمق دانه، عملکرد دانه و طول بلال

افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفت و منفی بودن علامت [d] نشان‌دهنده این است که والد P_2 ، والد برتر بوده، و بیش‌ترین تعداد ژن را برای بهبود صفات دارد. معنی‌دار شدن اثر غالبیت [h] در کلیه صفات، به جز صفت تعداد دانه در ردیف بلال نیز نشان‌دهنده سهم اثر غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفات و علامت منفی پارامتر غالبیت [h] نشان‌دهنده غالبیت نسبی در جهت کاهش صفات می‌باشد. این موضوع با نتایج رضایی و روحی (Rezaie and Roohi, 2004) و بتران و همکاران (Betran *et al.*, 2003) مطابقت دارد. در بیش‌تر صفات ارزش مقداری پارامتر غالبیت بیش‌تر از پارامتر افزایشی می‌باشد که نشان‌دهنده سهم مؤثر اثرات غالبیت و فوق غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفات می‌باشد. نتایج نشان داد که برای کلیه صفات علاوه بر اثر افزایشی، اثر افزایشی \times افزایشی [i] نیز معنی‌دار بود و نقش مهمی در کنترل توارث ایفا می‌کند (جدول ۳). این اپیستازی به‌وسیله گزینش در شرایط خودگشنی قابل تثبیت است. معنی‌دار شدن اثر اپیستازی افزایشی \times غالبیت [j] در بیش‌تر صفات نشان‌دهنده این است که این نوع اپیستازی به‌وسیله گزینش در شرایط خودگشنی (خصوصاً در نسل‌های اولیه در حال تفرق) قابل تثبیت نیست و گزینش تا دسترسی به سطح بالایی از تثبیت ژنی باید به تأخیر افتد و در مورد این صفات، گزینش در خصوص [j] نباید انجام شود. علامت منفی پارامتر [j] بستگی به جایگاه والدین دارد و با عوض شدن جای والدین، علامت آن نیز تغییر خواهد کرد، ولی علامت سایر پارامترها بدون تغییر باقی می‌ماند. معنی‌دار نبودن اثر [j]، ممکن است به‌علت خنثی کردن اثر مثبت و منفی در مکان‌های ژنی متفاوت باشد که امکان گزینش موفقیت‌آمیز گیاهان برای صفات می‌باشد (Ghaed Rahmat *et al.*, 2007). در صفات طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۲۵۰ دانه، درصد چوب بلال، عملکرد دانه و شاخص برداشت بلال، اثرات افزایشی [d] و افزایشی در افزایشی [i] دارای علامت

بوده که ارزش فنوتیپی بالاتری نسبت به والدین خود داشته و نشانه پلی‌ژنیک بودن این صفات در نسل‌های در حال تفکیک می‌باشد. وقوع این پدیده می‌تواند نقش مؤثر اثرات افزایشی ژن‌ها را در کنترل ژنتیکی این صفات نشان دهد و بنابراین می‌توان این صفات را از طریق خودگشنی و گزینش تثبیت کرد. میزان خطای معیار در نسل‌های مختلف نشان‌دهنده تفاوت افراد در داخل نسل‌ها می‌باشد. در صفات روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، روز از سبز شدن تا رسیدن فیزیولوژی، ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، عمق دانه، وزن ۲۵۰ دانه، زیست توده بلال، عملکرد و شاخص برداشت بلال (جدول ۲)، میانگین هیبریدهای F_1 ، بیش از جمعیت‌های F_2 بود که دلیل آن را می‌توان به اثر منفی ناشی از خویش‌آمیزی ربط داد که باعث کاهش نمود نتایج به‌علت افزایش هموزیگوسیتی در نسل در حال تفرق می‌شود، ولی در صورت نامطلوب نبودن آلل‌های مغلوب، درصد صفات پس از خویش‌آمیزی افزایش می‌یابد (Golabadi *et al.*, 2008). نتایج نشان داد که بر اساس آزمون کای‌اسکوئر، اجزای ژنتیکی میانگین برای صفات روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، روز از ظهور کاکل تا رسیدن فیزیولوژی، طول بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، درصد چوب بلال، درصد رطوبت دانه و شاخص برداشت بلال در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۳). درجه آزادی کای‌اسکوئر برابر صفر است، بنابراین نمی‌توان نیکویی برازش مدل را آزمون نمود. برای تعیین دقت مدل و معنی‌داری یا غیر معنی‌داری کای‌اسکوئر، نمی‌توان از مدل شش پارامتری استفاده نمود و برای این منظور نیاز به نسل‌های بیش‌تری می‌باشد، بنابراین در ارتباط با این صفات پیشنهاد می‌شود از نسل‌های پیشرفته‌تر و از مدل‌هایی با تعداد پارامتر بیش‌تر استفاده شود تا چنانچه اثر متقابل سه‌گانه‌ای وجود داشته باشد، آشکار شود. در این تلاقی معنی‌دار شدن پارامتر [d] در تمام صفات، به جز صفت تعداد دانه در ردیف بلال، نشان‌دهنده سهم مؤثر اثر

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات گیاهی لاین‌های ذرت در نسل‌های حاصل از تلاقی S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂)

Table 2. Mean comparison of plant traits of maize lines in generations of S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂) crossing

| نسل Generation | روز از سبز شدن تا ظهور کاکل Days from emergence to tasseling | روز از ظهور کاکل تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days from tasseling to physiological maturity | روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days from emergence to physiological maturity | ارتفاع بوته Plant height (cm) | طول بلال Ear length (cm) | تعداد ردیف دانه در بلال No. of row.ear ⁻¹ | تعداد دانه در ردیف بلال No. of grain.row ⁻¹ | قطر بلال Ear diameter (mm) |
|-------------------|---|---|---|----------------------------------|-----------------------------|---|---|-------------------------------|
| P ₁ | 47.0 ^b ± 0.18 | 71.0 ^{cd} ± 0.18 | 118.0 ^c ± 0.02 | 203.0 ^d ± 1.75 | 129.1 ^{bc} ± 1.35 | 13.2 ^{ab} ± 0.06 | 20.5 ^c ± 0.06 | 36.9 ^c ± 0.03 |
| P ₂ | 48 ^{ab} ± 0.02 | 69.6 ^d ± 0.11 | 118.6 ^{bc} ± 0.21 | 253.9 ^a ± 1.75 | 131.1 ^{ab} ± 1.46 | 12.4 ^b ± 0.15 | 30.1 ^b ± 0.14 | 43.7 ^b ± 0.13 |
| F ₁ | 48.6 ^a ± 0.11 | 73.0 ^{ab} ± 0.37 | 119.6 ^a ± 0.11 | 249.4 ^{ab} ± 3.12 | 130.8 ^{ab} ± 1.42 | 13.2 ^{ab} ± 0.15 | 35.0 ^a ± 0.15 | 48.6 ^a ± 0.5 |
| F ₂ | 48.3 ^a ± 0.11 | 71.3 ^{bc} ± 0.11 | 119.6 ^a ± 0.11 | 241.4 ^{bc} ± 0.23 | 112.0 ^c ± 0.48 | 14.8 ^a ± 0.11 | 28.7 ^b ± 0.17 | 48.2 ^a ± 0.23 |
| BC ₁ | 45.6 ^c ± 0.11 | 73.3 ^a ± 0.1 | 118.6 ^{bc} ± 0.11 | 234.9 ^b ± 1.93 | 116.8 ^c ± 1.60 | 12.2 ^b ± 0.11 | 29.1 ^b ± 0.54 | 42.1 ^b ± 0.18 |
| BC ₂ | 48.0 ^{ab} ± 0.18 | 71.3 ^{bc} ± 0.11 | 119.3 ^{ab} ± 0.11 | 250.3 ^{ab} ± 0.69 | 139.0 ^a ± 0.63 | 14.6 ^a ± 0.13 | 31.7 ^b ± 0.30 | 48.4 ^a ± 0.09 |

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

ادامه جدول ۲

Table 2. Continued

| نسل Generation | قطر چوب بلال Cob diameter (mm) | عمق دانه Grain depth (mm) | وزن ۲۵۰ دانه 250 grain weight (g) | درصد رطوبت دانه Grain moisture content (%) | درصد چوب بلال Cob percent | زیست توده بلال Ear biomass (g.plant ⁻¹) | عملکرد دانه Grain yield (g.plant ⁻¹) | شاخص برداشت بلال Ear harvest index (%) |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|--|---|---|
| P ₁ | 23.5 ^d ± 0.04 | 25.2 ^c ± 0.04 | 63.7 ^c ± 0.14 | 25.1 ^b ± 0.42 | 24.7 ^a ± 0.20 | 77.7 ^c ± 1.19 | 68.4 ^c ± 1.68 | 88.1 ^b ± 2.76 |
| P ₂ | 27.9 ^{bc} ± 0.06 | 30.3 ^b ± 0.10 | 86.5 ^{ab} ± 0.70 | 30.2 ^a ± 0.24 | 20.8 ^c ± 0.07 | 149.8 ^{cd} ± 6.67 | 138.1 ^{bc} ± 5.13 | 92.7 ^{ab} ± 7.10 |
| F ₁ | 28.6 ^{ab} ± 0.39 | 34.3 ^a ± 0.31 | 90.4 ^a ± 0.44 | 25.8 ^b ± 0.39 | 20.2 ^c ± 0.26 | 213.4 ^a ± 15.27 | 174.9 ^{ab} ± 6.72 | 82.6 ^b ± 5.86 |
| F ₂ | 30.0 ^a ± 0.09 | 33.7 ^a ± 0.22 | 75.9 ^c ± 0.98 | 31.0 ^a ± 0.26 | 22.2 ^b ± 0.07 | 161.9 ^{bc} ± 5.72 | 110.8 ^{de} ± 5.68 | 68.4 ^c ± 2.69 |
| BC ₁ | 26.1 ^c ± 0.30 | 29.0 ^b ± 0.11 | 70.2 ^d ± 0.58 | 25.4 ^b ± 0.17 | 19.5 ^c ± 0.08 | 126.0 ^d ± 5.21 | 131.7 ^{cd} ± 8.09 | 104.3 ^a ± 2.98 |
| BC ₂ | 29.8 ^a ± 0.15 | 33.4 ^a ± 0.11 | 82.9 ^b ± 0.32 | 28.8 ^a ± 0.09 | 20.2 ^c ± 0.22 | 184.7 ^b ± 2.57 | 149.9 ^{ab} ± 5.26 | 81.1 ^b ± 1.75 |

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

[H] و متوسط غالبیت ژنی $(H/D)^{1/2}$ کم‌تر از یک بود (جدول ۴) که نشان دهنده غالبیت نسبی و اهمیت جزء افزایشی در کنترل ژنتیکی و توارث این صفات بوده و در تطابق با مقادیر مربوط به واریانس افزایشی و غالبیت می‌باشد، زیرا در این صفات مقدار واریانس افزایشی بیش‌تر از واریانس غالبیت بود. در سایر صفات، واریانس غالبیت [H]، بزرگ‌تر از واریانس افزایشی [D] بود (جدول ۴). با توجه به این که متوسط غالبیت ژنی $(H/D)^{1/2}$ بیش‌تر از یک بود، با توجه به تفاوت وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی که ناشی از نقش بیش‌تر واریانس غالبیت می‌باشد، انتخاب در نسل‌های اولیه مشکل بوده و تلاقی دو والد به‌همراه گزینش دوره‌ای یا تلاقی دی‌آلل جهت یافتن والدین برتر در نسل‌های بعدی قابل توصیه است. بعلاوه جهت دستیابی به اهداف اصلاحی مورد نظر برای صفات مذکور، دورگ‌گیری مؤثرتر از گزینش خواهد بود. در صفت ارتفاع بوته، میانگین غالبیت ژنی یک بود که نشان دهنده غالبیت کامل در کنترل ژنتیکی این صفت است. در صفات عمق دانه و درصد چوب بلال، قدر مطلق متوسط غالبیت ژنی $F/(H \times D)^{1/2}$ بزرگ‌تر از یک بود (جدول ۴) که نشان دهنده عدم تفاوت در علامت و بزرگی اثر ژن‌های مسئول صفات در مکان‌های مختلف می‌باشد. در این حالت $(H/D)^{1/2}$ می‌تواند برآورد خوبی از غالبیت باشد. در سایر صفات، قدر مطلق نسبت $F/(H \times D)^{1/2}$ کوچک‌تر از یک (و یا صفر) بود که نشان دهنده متفاوت بودن علامت و بزرگی اثر ژن‌های مسئول صفات در مکان‌های مختلف می‌باشد و آلل‌های غالب در هر دو والد پراکنده شده‌اند. در این حالت مقدار نسبت h/d کاهش یا افزایش پیدا می‌کند و این نسبت نمی‌تواند برآورد خوبی از غالبیت باشد، بنابراین $(H/D)^{1/2}$ ، میانگین غالبیت را نشان می‌دهد (Mather and Jinks, 1982). در بیش‌تر صفات مورد بررسی، درجه غالبیت (h/d) بزرگ‌تر از یک بود که نشان دهنده سهم اثرات غالبیت و فوق‌غالبیت در کنترل صفات

مخالف بودند که نشان دهنده ماهیت متضاد اثر متقابل برای این صفات است (جدول ۳). بعلاوه علامت مخالف اثرات غالبیت [h] و غالبیت \times غالبیت [I] در بیش‌تر صفات مورد بررسی، دلیلی بر وجود ایستازی دوگانه است و واریانس صفت برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد. این نوع ایستازی در جهت گزینش گیاهان مطلوب مشکل ایجاد می‌کند و روند اصلاحی را کند کرده و گزینش تا دسترسی به سطح بالایی از تثبیت ژنی باید به تأخیر افتد (Dorri et al., 2014; Zare et al., 2008). نتایج اجزای تنوع صفات نشان داد که در بیش‌تر صفات، مقدار پارامتر F منفی بود که بیانگر غالبیت آلل‌های والد با میانگین کوچک‌تر بر آلل‌های والد با میانگین بزرگ‌تر می‌باشد (جدول ۴). به عبارتی برتری ژن‌های مسئول این صفات، در جهت کاهش مقدار این صفات می‌باشد و کم‌تر از یک بودن پارامتر F به مفهوم عدم وجود واریانس غالبیت و فوق‌غالبیت نیست، بلکه نشان دهنده پراکندگی آلل‌های غالب در والدین است (Dorri et al., 2014).

اگر مقدار این پارامتر صفر (یا نزدیک به صفر) شباهت، نشان دهنده این است که غالبیت وجود نداشته و یا این که غالبیت غیر جهت‌دار می‌باشد (غالبیت در مکان‌های ژنی مختلف مشابه نیست) و ژن‌های غالب بیش‌تر در والدی هستند که مقدار بیش‌تری را از لحاظ صفت اندازه‌گیری شده (نسبت به والد دیگر) دارا هستند (Roy, 2000)، بنابراین در صفات روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، تعداد ردیف دانه در بلال و درصد چوب بلال، علامت F مثبت می‌باشد (جدول ۴) که نشان دهنده غالبیت آلل‌های والد با میانگین بزرگ‌تر (P_2) بر آلل‌های والد با میانگین کوچک‌تر (P_1) است و ژن‌های مسئول صفات مورد نظر در جهت افزایش صفات برتری دارند. واریانس افزایشی [D] در صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر چوب بلال و درصد چوب بلال، بزرگ‌تر از واریانس غالبیت

نشان دهنده اهمیت نسبتاً زیاد اثرات افزایشی ژن‌ها و تفاوت زیاد برآورد دو نوع وراثت‌پذیری، نشان‌دهنده سهم بیش‌تر اثرات غیر افزایشی ژن‌ها و وجود فوق-غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفات است که با نتیجه حاصل از درجه غالبیت مطابقت دارد. در تلاقی‌های آزمایش حاضر، صفت تعداد دانه در ردیف بلال و عمق دانه (به ترتیب ۹۰/۰ و ۸۹/۷) دارای بیش‌ترین وراثت‌پذیری عمومی و صفت تعداد ردیف دانه در بلال دارای کم‌ترین (۶۲/۴۱) وراثت‌پذیری عمومی بودند. مقدار پایین برآوردهای وراثت‌پذیری عمومی ممکن است ناشی از اهمیت اثرات محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در بروز صفات باشد (Dorri *et al.*, 2014). وراثت‌پذیری خصوصی نیز بیش‌ترین مقدار را در صفت درصد چوب بلال (۶۰/۴) و کم‌ترین مقدار را در صفت شاخص برداشت بلال در بوته (۳/۴) نشان داد. بر این اساس هر قدر میزان وراثت‌پذیری صفتی بالاتر باشد، بیش‌تر تحت تأثیر و کنترل عوامل ژنتیکی بوده و تنوع ژنتیکی بیش‌تری را باعث شده و این موضوع نشان می‌دهد که نرخ نسبی انتقال صفات از والدین به نتاج بالا است.

اگر چه وراثت‌پذیری عمومی به خوبی وراثت‌پذیری خصوصی نمی‌تواند سهم ژنتیکی تنوع را مشخص نماید، اما بالا بودن میزان آن معرف انتقال نسبی بهتر صفات از والدین به نتاج می‌باشد (Golabadi *et al.*, 2008). بالا بودن وراثت‌پذیری نشان‌دهنده سهم بسیار بالای جزء افزایشی در صفت عملکرد دانه می‌باشد که با مقادیر مربوط به H و D مطابقت دارد. سرعت پیشرفت اصلاح صفت تحت گزینش، بستگی به وراثت‌پذیری خصوصی آن دارد، البته وراثت‌پذیری خصوصی پایین در بیش‌تر صفات این تحقیق نشان می‌دهد که گزینش در نسل‌های اولیه اصلاحی به‌منظور بهبود این صفات، بازده ژنتیکی مطلوبی نداشته و بهتر است به نسل‌های پیشرفته‌تر موکول شود تا همراه با افزایش سهم اثرات افزایشی

مورد نظر می‌باشد. بعلاوه مقدار متوسط درجه غالبیت در بیش‌تر صفات بزرگ‌تر از یک بود که این موضوع نشان دهنده اهمیت غالبیت برای این صفات است و مطابق با وراثت‌پذیری خصوصی پایین برای آن صفات است. کومار و گوپتا (Kumar and Gupta, 2003) در تجزیه ژنتیکی صفات تعداد روز تا ظهور گل تاجی، ارتفاع بوته، طول بلال و عملکرد دانه در لاین‌های اینبرد ذرت دریافتند که اجزای واریانس غالبیت و افزایشی نقش مهم و معنی‌داری در کنترل کلیه صفات دارند.

اطلاع از نحوه کنترل ژنتیکی صفات (تک ژنی و یا چند ژنی) برای تعیین روش به‌نژادی بسیار مهم است. برآورد حداقل تعداد ژن کنترل‌کننده هر صفت بر اساس فرمول‌های مختلف و وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفات مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج روش‌های مختلف محاسبه حداقل تعداد ژن، نیاز به پیش‌فرض‌های خاصی چون عدم وجود لینکاژ، عدم وجود رابطه بین میانگین و واریانس، عدم وجود اپیستازی، عدم وجود غالبیت یا اثرهای نامساوی در تمام مکان‌های ژنی، وجود آلل‌های مثبت در یک والد و آلل‌های منفی در والد دیگر و بالاخره درجه غالبیت مساوی برای همه آلل‌های مثبت دارد، بنابراین با انحراف از این مفروضات، برآورد تعداد ژن‌های در حال تفرق از میزان واقعی تفاوت خواهد داشت. با توجه به این که هر کدام از روش‌های یاد شده دارای فرضیاتی متفاوت از سایر روش‌ها هستند، برآورد تعداد ژن‌های در حال تفرق از هر روش، با سایر روش‌ها متفاوت است و در برخی از روش‌ها به‌دلیل این که تعدادی از فرضیات صادق نیستند (به‌ویژه اگر تمام عوامل دارای اثر مساوی باشند)، برآورد تعداد عوامل مؤثر در حال تفرق غیر قابل توصیه است (Ghannadha, 1998). حداقل تعداد ژن کنترل‌کننده صفات در محدوده ۰/۰۳ تا ۴/۷۴ برآورد شدند. حداقل تعداد ژن کنترل‌کننده صفات در محدوده ۱ تا ۱۹ برآورد شد. تفاوت کم وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی در برخی از صفات

جدول ۳- برآورد اجزای ژنتیکی برای صفات گیاهی لاین‌های ذرت در نسل‌های حاصل از تلاقی S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂)

Table 3. Estimation of genetic components for plant traits of maize lines in generations of S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂) crossing

| Traits | صفات | m | [d] | [h] | [i] | [j] | [l] | χ ² |
|--|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|---------------|----------------|--------------------|
| Day from emergence to tasseling | روز از سبز شدن تا ظهور کامل | 53.5±0.06 ^{ns} | ** -0.5±0.09 | ** -14.83±1.55 | ** -6±1.54 | ** -3.66±0.59 | ** 9±0.98 | 0.00 |
| Day from tasseling to physiological maturity | روز از ظهور کامل تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 66.33±0.5 ^{ns} | ** 0.66±0.1 | ** 13.33±1.32 | ** 4±0.52 | ** 2.66±0.37 | ** -6.67±1.05 | 0.00 |
| Day from emergence to physiological maturity | روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 121.11±0.52 ^{ns} | ** -0.44±0.08 | ** -4.33±1.26 | ** -2.66±0.52 | - | ** 2.88±0.78 | 3.32 ^{ns} |
| Plant height | ارتفاع بوته | 230.21±2.6 ^{ns} | ** -25.47±1.24 | ** 22.58±5.10 | ** -1.22±2.66 | ** 15.71±4.12 | - | 3.31 ^{ns} |
| Ear length | طول بلال | ** 51.03±4.06 | ** -13.5±0.1 | ** 162.1±11.49 | ** 63.6±11.49 | ** -17.4±3.97 | ** -80.3±7.9 | 0.00 |
| No. of grain-row per ear | تعداد ردیف دانه در بلال | 16.33±0.25 ^{ns} | ** -0.57±0.08 | ** -3.19±0.36 | ** -4.51±0.27 | ** -3.60±0.38 | - | 6.5 ^{ns} |
| No. of grain per row | تعداد دانه در ردیف بلال | 22.61±0.36 ^{ns} | -4.79±0.07 ^{ns} | 12.46±0.46 ^{ns} | ** 2.70±0.37 | - | - | 13 ^{ns} |
| Ear diameter | قطر بلال | ** 22.74±1.43 | ** -3.71±0.58 | ** -12.86±1.55 | ** -13.07±1.61 | ** -7.15±2.24 | - | 1.59 ^{ns} |
| Cob diameter | قطر چوب بلال | ** 52.13±1.01 | ** -3.41±0.06 | ** -12.22±2.30 | ** -11.75±1.01 | ** -5.77±0.43 | ** 8.72±1.60 | 0.00 |
| Grain depth | عمق دانه | ** 35.38±0.92 | ** -2.55±0.05 | ** -7.79±1.98 | ** -7.63±0.92 | ** -3.75±0.32 | ** 6.73±1.23 | 0.00 |
| 250 grain weight | وزن ۲۵۰ دانه | ** 71.74±4.14 | ** -11.70±0.32 | ** -1.80±8.80 | ** 3.68±4.11 | - | ** 20.53±4.8 | 2.90 ^{ns} |
| Cob percent | درصد چوب بلال | ** 32.33±0.55 | ** 1.98±0.1 | ** -28.17±1.56 | ** -9.54±0.54 | ** -5.45±0.52 | ** 16.06±1.13 | 0.00 |
| Grain moisture content | درصد رطوبت دانه | ** 43.15±1.12 | ** -2.51±0.24 | ** -31.31±2.50 | ** -15.47±1.09 | ** -1.9±0.62 | ** 14.03±1.59 | 0.00 |
| Ear-biomass per plant | زیست توده بلال در بوته | * 116.29±18.53 | * -35.48±3.35 | * 83.69±29.02 | * -3.16±3.35 | * -46.56±13.2 | - | 1.70 ^{ns} |
| Grain yield per plant | عملکرد دانه در بوته | ** -5.17±29.13 | ** -33.66±2.59 | ** 284.04±71.40 | * 107.50±18.70 | - | ** -103.9±44 | 2.74 ^{ns} |
| Ear harvest index | شاخص برداشت بلال | ** -6.62±13.33 | ** -2.31±3.81 | ** 211.12±32.50 | ** 97.06±12.77 | ** 50.98±10.3 | ** 121.85±22.4 | 0.000 |

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

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

[m]: میانگین والدین، [d]: مجموع اثرهای افزایشی، [h]: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی و غالبیت، [i]: مجموع اثر متقابل اثرهای غالبیت و χ²: آزمون کای اسکور

[m]: mid-parent value, [d]: pooled additive effects, [h]: pooled dominance effects, [i]: pooled interactions between additive effects, [j]: pooled interactions between additive and dominance effects, [l]: pooled interactions between dominance effects

جدول ۴- اجزای واریانس برای صفات گیاهی لاین‌های ذرت در نسل‌های حاصل از تلاقی S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂)

Table 4. Variance components for plant traits of maize lines in generations of S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂) crossing

| Traits | صفات | D | H | F | E _w | (H/D) ^{1/2} | F/(H×D) ^{1/2} | (h/d) |
|--|--|--------|---------|--------|----------------|----------------------|------------------------|--------|
| Day from emergence to tasseling | روز از سبز شدن تا ظهور کاکل | 1.23 | 2.32 | 0.67 | 0.42 | 1.32 | 0.38 | 29.66 |
| Day from tasseling to physiological maturity | روز از ظهور کاکل تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 3.14 | 8 | - | 2.33 | 1.5 | 0 | 20.19 |
| Day from emergence to physiological maturity | روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 0.17 | 0.68 | - | 0.5 | 2 | 0 | 9.84 |
| Plant height | ارتفاع بوته | 244.88 | 272.37 | -97.08 | 192.18 | 1.05 | -0.38 | -0.88 |
| Ear length | طول بلال | 148.96 | 85.11 | -64.4 | 60.20 | 0.75 | -0.75 | -12 |
| No. of grain-row per ear | تعداد ردیف دانه در بلال | 0.53 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.75 | 0.25 | 5.59 |
| No. of grain per row | تعداد دانه در ردیف بلال | 18.38 | 38.15 | -6.94 | 0.54 | 1.44 | -0.26 | -2.60 |
| Ear diameter | قطر بلال | 3.76 | 16.75 | -0.76 | 3.91 | 2.11 | -0.09 | 3.46 |
| Cob diameter | قطر چوب بلال | 5.95 | 3.55 | -2 | 2.31 | 0.77 | -0.43 | 3.58 |
| Grain depth | عمق دانه | 4.32 | 9.09 | -0.01 | 1.53 | 1.45 | 10.77 | 3.05 |
| 250 grain weight | وزن ۲۵۰ دانه | 89.18 | 89.50 | -7.2 | 6.85 | 1.35 | -0.001 | 0.15 |
| Cob percent | درصد چوب بلال | 2.73 | 0.37 | 1.28 | 1.42 | 0.36 | 1.27 | -14.22 |
| Grain moisture content | درصد رطوبت دانه | 5.51 | 19.48 | -0.65 | 4.07 | 1.88 | -0.06 | 12.43 |
| Ear-biomass per plant | زیست توده بلال در بوته | 189.43 | 1524.15 | -61.68 | 384.31 | 2.84 | -0.11 | -2.35 |
| Grain yield per plant | عملکرد دانه در بوته | 171.22 | 371.94 | -113.3 | 89.58 | 1.47 | -0.45 | -8.43 |
| Ear harvest index | شاخص برداشت بلال | 14.82 | 323.12 | -17.41 | 95 | 4.67 | -0.25 | -91.39 |

D: additive variance, H: dominance variance, F: the correlation of D and H on all loci of any trait, V_E: environmental variance or non-genetic variance, (H/D)^{1/2}: average of gene dominance, F/(H×D)^{1/2}: modulus of dominance deviation and h/d: dominance degree

جدول ۵- برآورد تعداد ژن و وراثت پذیری صفات گیاهی لاین‌های ذرت در نسل‌های حاصل از تلاقی S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂)

Table 5. Estimation of gene number and heritability for plant traits of maize lines in generations of S0200237 (P₁) × ILYH0231 (P₂) crossing

| Traits | صفات | برآورد تعداد ژن Estimation of the gene number | وراثت پذیری عمومی Broad sense heritability (Hb) | وراثت پذیری خصوصی Narrow sense heritability (Hn) |
|--|--|--|--|---|
| Day from emergence to tasseling | روز از سبز شدن تا ظهور کاکل | 0.06 | 89.68 | 32.68 |
| Day from tasseling to physiological maturity | روز از ظهور کاکل تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 1.11 | 82.70 | 22.31 |
| Day from emergence to physiological maturity | روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی | 0.21 | 62.96 | 12.59 |
| Plant height | ارتفاع بوته | 1.01 | 72.91 | 34.52 |
| Ear length | طول بلال | 0.03 | 79.54 | 50.62 |
| No. of grain-row per ear | تعداد ردیف دانه در بلال | 0.14 | 62.41 | 39.85 |
| No. of grain per row | تعداد دانه در ردیف بلال | 0.34 | 90.06 | 32.21 |
| Ear diameter | قطر بلال | 1.30 | 83.99 | 15.40 |
| Cob diameter | قطر چوب بلال | 0.09 | 80.44 | 50.38 |
| Grain depth | عمق دانه | 4.74 | 89.76 | 28.92 |
| 250 grain weight | وزن ۲۵۰ دانه | 1.81 | 89.31 | 48.07 |
| Cob percent | درصد چوب بلال | 0.54 | 68.58 | 60.40 |
| Grain moisture content | درصد رطوبت دانه | 0.06 | 85.99 | 18.96 |
| Ear-biomass per plant | زیست توده بلال در بوته | 2.10 | 81.68 | 9.03 |
| Grain yield per plant | عملکرد دانه در بوته | 0.84 | 85.84 | 27.06 |
| Ear harvest index | شاخص برداشت بلال | 0.16 | 78.06 | 3.43 |

بلال و درصد چوب بلال توسط اثرات افزایشی و غالبیت نسبی کنترل شدند، در کنترل سایر صفات بویژه عملکرد دانه، علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثر اپیستاری نیز نقش داشت، بعبارت دیگر در بیش تر صفات مورد مطالعه از جمله عملکرد دانه، اثرات غیرافزایشی در مقایسه با اثرات افزایشی، نقش بیش تری در کنترل این صفات داشتند که مفهوم آن این است که گزینش این صفات باید در نسل های پیشرفته تر صورت گیرد. در تایید نتایج فوق، در بیش تر صفات، تفاوت بین دو جزء غالبیت و افزایشی زیاد و متوسط درجه غالبیت ژنی، بزرگ تر از یک بود که این موضوع بیانگر سهم بیش تر اثرات غیرافزایشی و در نتیجه اهمیت هتروزیس در بروز این صفات بود. بیش ترین مقدار هتروزیس نسبی و هتروبلتیوسیس مثبت و معنی دار به ترتیب مربوط به صفات زیست توده بلال و عملکرد دانه بود. در مجموع نتایج کلی این آزمایش نشان دهنده نقش بیش تر اثرات غیرافزایشی در کنترل صفت عملکرد دانه و در نتیجه وراثت پذیری خصوصی نسبتاً پایین آن (۲۷/۰۶) بود که نشان دهنده مطلوب نبودن گزینش مستقیم برای عملکرد بالا در نسل های اولیه می باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، گزینش در نسل های اولیه برای صفات مرتبط با عملکرد که دارای وراثت پذیری خصوصی نسبتاً مطلوبی می باشند؛ از جمله طول بلال (۵۰/۶)، قطر چوب بلال (۵۰/۳)، وزن ۲۵۰ دانه (۴۷/۰۷) و تعداد ردیف دانه در بلال (۳۹/۸)، می توان انتظار داشت که این کار باعث بهبود عملکرد دانه در نسل های پیشرفته شود. با توجه به اینکه بیش ترین وراثت پذیری خصوصی مربوط به صفت درصد چوب بلال (۶۰/۴) است، به نظر می رسد که انتخاب در نسل های اولیه برای کاهش درصد چوب بلال تا حدی که منجر به کاهش چشمگیر وزن کلی بلال نشود، باعث افزایش شاخص برداشت بلال و در نتیجه بهبود عملکرد دانه ذرت خواهد شد.

ژن ها، بازده ژنتیکی گزینش نیز افزایش یابد (Dorri et al., 2014)، بنابراین می توان نتیجه گرفت که برای صفاتی که وراثت پذیری خصوصی بالایی دارند، انتخاب در نسل های اولیه می تواند موفقیت آمیز باشد. پایین بودن وراثت پذیری خصوصی صفات می تواند به علت بیش تر بودن سهم اثرات غیر افزایشی ژن ها نسبت به افزایشی، در کنترل صفات مورد مطالعه باشد. ضمن این که پایین بودن نسبی این برآوردها باعث خواهد شد که گزینش در نسل های در حال تفکیک، از موفقیت چندانی برخوردار نباشد، بنابراین باید گزینش را تا نسل های پیشرفته اصلاحی به تعویق انداخت (Kumar and Gupta, 2003). بالابودن وراثت پذیری عمومی احتمالاً معرف زیادتر بودن تنوع ژنتیکی نسبت به تنوع محیطی و هم چنین ادغام اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در جامعه مورد نظراست. زارع و همکاران (Zare et al., 2008) در دو تلاقی، میانگین وراثت پذیری عمومی و خصوصی را برای صفت عملکرد دانه ذرت، در تلاقی اول به ترتیب ۶۱ و ۴۲ درصد و در تلاقی دوم به ترتیب ۵۷ و ۳۰ درصد گزارش کردند. ذری و همکاران (Dorri et al., 2014) میانگین وراثت پذیری عمومی و خصوصی را برای صفت عملکرد دانه ذرت، به ترتیب ۸۸ و ۱۶ درصد گزارش کردند. شاهرخی و همکاران (Shahrokhii et al., 2013) در دو تلاقی، میانگین وراثت پذیری عمومی و خصوصی را برای صفت عملکرد دانه ذرت، در تلاقی اول به ترتیب ۸۷ و ۱۶ درصد و در تلاقی دوم به ترتیب ۸۷ و ۳۰ درصد گزارش نمودند.

نتیجه گیری

با توجه به انتخاب والدین تلاقی در این آزمایش بر اساس بیش ترین تفاوت از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد، نتایج حاصله تفاوت بین میانگین P_1 و P_2 را برای صفات فوق یاد شده تایید نمود. در حالی که صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر چوب

References

- Akhtar, N and M. A. Chowdhry. 2006.** Genetic analysis of yield and some other quantitative traits in bread wheat. *Int. J. Agric. Biol.* 4:523-527.
- Ali, G., A. C. Rather, A. Ishfaq, S. A. Dar, S. Wani and M. N. Khan. 2007.** Gene action for grain yield and its attributes in maize (*Zea mays L.*). *Int. J. Agric. Sci.* 3(2): 278-289.
- Alok, K., M. G. Gangashetli and A. Kumar. 1998.** Gene effects in some metric traits of maize (*Zea mays L.*). *Ann. Agric. Biol. Res.* 3: 139-143.
- Ashofteh-Beiragi, M., M. Ebrahimi, Kh. Mostafavi, M. Golbashy and S. Khavari-Khorasani. 2011.** A study of morphological basis of maize (*Zea mays L.*) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. *J. Cereals Oilseeds.* 2(2): 32-37.
- Azizi, F., A. M. Rezai and G. Saeidi. 2006.** Generation mean analysis to estimate genetic parameters for different traits in two crosses of maize inbred lines at three planting densities. *J. Agric. Sci. Technol.* 8(2): 153-169.
- Betran, F. J., J. M. Ribaut, D. Beck and D. Gonzalez de leon. 2003.** Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 43: 797-806.
- Butruille, D. V., H. D. Silva, S. M. Kaeppler and J. G. Coors. 2004.** Response to selection and genetic drift in three populations derived from the golden glow maize population. *Crop Sci.* 44:1527-1534.
- Choukan, R. 2002.** Genetic analysis of grain yield and yield components in maize. *Seed Plant Improve. J.* 18: 170-178 (In Persian with English abstract).
- Dorri, P., S. Khavari- Khorasani, M. Valizadeh and P. Taheri. 2014.** The study of inheritance and gene effects on yield and agronomic traits of early generations of genetic maize Dehghan (KSC400). *Plant Gen. Res.* 1(2): 33-42. (In Persian with English abstract).
- Farnham, D. E. 2001.** Row spacing, plant density and hybrid effects on maize grain yield and moisture. *Agron. J.* 93: 1049-1053.
- Ghaed-Rahmat, M., R. Choukan, B. A. Siasar, M. Zamani, 2007.** The study genetic control of resistance to common smut in corn (*Zea Mays L.*). *J. Crop Sci.*, 9: 21-33 (In Persian).
- Ghannadha, M. R. 1998.** Gene action for latent period of stripe rust in five cultivars of wheat. *Iran. J. Crop Sci.* 1: 53-71. (In Persian with English abstract).
- Golabadi, M., A. Arzani and A. M. Meybodi. 2008.** The effect of finally water stress on yield and morphophysiological traits in F₃ families of durum wheat. *J. Agric. Res.* 6: 405-418 (In Persian with English abstract).
- Hallauer, A. R and J. B. Miranda. 1985.** *Quantitative Genetics in Maize Breeding.* Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Hinze, L. L. and K. R. Lamkey. 2003.** Absence of epistasis for grain yield in elite maize hybrids. *Crop Sci.* 43:46-56.
- Hussain, I., M. Ahsan, M. Saleem and A. Ahmad. 2009.** Gene action studies for agronomic traits in maize under

- normal and water stress conditions. Pak. J. Agric. Sci., 46: 65-78.
- Iqbal, M. Z and M. A. Nadeem. 2003.** Behavior of some polygenic characters in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Asia. J. Plant Sci. 2(6): 485-490.
- Irshad-ul-Haq, M., S. Ajmal, M. Munir and M. Gulfaraz. 2010.** Gene action studies of different quantitative traits in maize. Pak. J. Bot. 42(2): 1021-1030.
- Kang, M. S. 1994.** Applied Quantitative Genetics. Baton Rouge, LA 70810-6966 USA.
- Kearsey, M. J and H. S. Pooni. 1996.** Genetic Analysis of Quantitative Traits. Chapman and Hall Press.
- Kumar, P. and S. C. Gupta. 2003.** Genetic analysis in maize. J. Res: Birsa Agric. Univ. 15: 107-110.
- Lamkey, K. R and M. Lee. 2005.** Quantitative genetics, molecular markers and plant improvement <http://maize2.agron.iastate.edu/Lamkey/Publications/PDF/australia.htm>.
- Lande, R. 1981.** The minimum number of genes contributing to quantitative variation between and within population. Genetics. 99: 541-553.
- Mahmud, I. and H. S. Krammer. 1951.** Segregation for yield, height and maturity following a soybean cross. Agric. J. 43: 605-609.
- Mather, K and J. L. Jinks. 1982.** Biometrical genetics. The study of continuous variation. (Third Ed.). Chapman and Hall, London. UK.
- Matzinger, D. F. 1963.** Experimental estimates of genetic parameters and their applications in self fertilizing plants. In: Hanson, W.D and Robinson, H.F (Eds.). Statistical Genetics and Plant Breeding. No. 982. NAS-NRC.
- Melani, M. D and M. J. Carena. 2003.** Alternative maize heterotic patterns for the northern maize belt. Plant Genet. Resour. 35(2): 87-96.
- Mihailov, M. E and A. A. Chernov. 2006.** Using double haploid lines for quantitative trait analysis. Maize Genet. Cooper. Newsl. 80: 30.
- Roff, D. A and K. Emerson. 2006.** Epistasis and dominance: Evidence for differential effects in life history versus morphological traits. Evolution, 60: 1981-1990.
- Roy D, 2000.** Plant breeding analysis and exploitation of variation. Alpha Science International LTD.
- Shahrokhi, M., S. Khavari-Khorasani and A. Ebrahimi. 2013.** Study of genetic components in various maize (*Zea mays* L.) traits, using generation mean analysis method. Int. J. Agron. Plant Prod. 4(3): 405-412.
- Shahrokhi, M., S. Khorasani and A. Ebrahimi. 2011.** Generation mean analysis for yield and yield components in maize (*Zea mays* L.). J. Plant Physiol. Breed. 1(2): 59-72.
- Wolf, D. P and L. A. Peternelli. 2000.** Estimate of genetic variance in F₂ maize population. J. Hered. 95: 384-391.
- Zare, M., R. Choukan, E. Majidi-Heravan and M. R. Bihamta. 2008.** Generation mean analysis for grain yield and its associated traits in maize. Seed Plant Improv. J. 24: 1.63-81. (In Persian with English abstract).
- Zare, M., R. Choukan, M. R. Bihamta, E. Majidi Heravan and M. M. Kamelmanesh. 2011.** Gene action for some agronomic traits in maize (*Zea mays* L.). Crop Breed. J. 1(2): 133-141.

Evaluation of heritability and genetic parameters of grain yield and important agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) lines using generations mean analysis method

Moosavi, S. S.¹, F. Ghanbari², M. R. Abdollahi³, A. R. Kiani⁴ and S. A. Mosavat⁵

ABSTRACT

Moosavi, S. S., F. Ghanbari, M. R. Abdollahi, A. R. Kiani and S. A. Mosavat. 2018. Evaluation of heritability and genetic parameters of grain yield and important agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) lines using generations mean analysis method. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 20(2): 93-107. (In Persian).

Enough information about genetic parameters, including heritability and gene action, is the first step in breeding of a trait. Among different methods, generation mean analysis, with lower estimation error, is one of the best methods for estimation of genetic parameters. The present experiment was carried out to estimate heritability, number of genes and gene action for some agro-morphological traits in maize. The seeds of the generations of P₁, P₂, F₁, F₂, BC₁ and BC₂ were prepared during two successive years and were evaluated based on randomized complete block design in Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Iran during 2015. Results of weighted ANOVA showed significant differences between the generations for all traits, therefore, generation mean analysis was performed. While, additive effect and relative dominance controlled ear length, number of row.ear⁻¹, cob diameter and cob percentage, the additive, dominance and epistatic effects controlled the other traits simultaneously. Difference between dominance and additive components and the average of gene dominance was greater than unity which indicated the role of non-additive and the importance of heterosis effects in expression of these traits. The maximum heterosis and heterobeltiosis belonged to ear biomass and grain yield respectively. The broad and narrow sense heritability of the traits was ranged from 62.41 to 90.06 and 3.46 to 60.40, respectively. The average number of genes was ranged from 0.03 to 4.74 for different traits. In general, unlike grain yield, selection in early generations for yield-related traits with high narrow sense heritability such as ear length, cob diameter, 250-grain weight and number of grain.row⁻¹, may improve grain yield in advanced generations. In addition, due to the high narrow sense heritability for cob percent (60.4%), selection in early generations for reduction in percentage of cob, with no significant increase the overall weight of the ear, may increase the ear harvest index and improving grain yield of maize.

Key words: Additive effect, Dominance effect, Epistasis, Genetic analysis and Generation mean analysis.

Received: July, 2017

Accepted: July, 2018

1. Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Corresponding author)
(Email: s.moosavi@basu.ac.ir)

2. Former MSc. Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Associate Prof., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

4. Professor, Agricultural Engineering Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

5. Research Assistant Prof., Agronomy & Horticulture Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran