

گروه‌بندی هتروتیک و پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای ذرت با استفاده از نشانگرهای SNP

رضا درویش‌زاده^{۱*}، ایرج برنوسی^۲ و هادی علی‌پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

چکیده

تولید ارقام هیبرید یکی از روش‌های مهم اصلاح ذرت است که می‌تواند بر اساس گروه‌بندی هتروتیک ژنوتیپ‌ها تسهیل شود. در این پژوهش، ابتدا ۹۳ لاین اینبرد ذرت از منابع مختلف براساس داده‌های SNP در دو گروه هتروتیک متفاوت، گروه‌بندی و سپس تعداد شش لاین از این دو گروه، انتخاب و به‌همراه دو لاین B73 و MO17 به‌عنوان شاهد در قالب یک طرح دای‌آل کامل تلاقی داده شدند. ۶۴ هیبرید حاصل از تلاقی‌ها در قالب طرح لاتیس ساده با سه تکرار در مرکز تحقیقات توتون ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس بر اساس داده‌های حاصل از عملکرد این هیبریدها و داده‌های SNP، عملکرد دانه ۱۵۶۶ هیبرید که بالقوه می‌توانند از تلاقی افراد دو گروه هتروتیک حاصل شوند، با مدل خطی مخلوط پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که هیبرید H50 (1_4×18_2) دارای عملکرد دانه بیش‌تری از هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ بود. با توجه به اینکه این هیبرید (H50) زودرس‌تر از هیبرید شاهد سینگل‌کراس ۷۰۴ (به‌عنوان هیبرید غالب منطقه) بود، بنابراین در صورتی که این نتیجه در آزمایش‌های تکمیلی نیز تایید شود، آن را می‌توان به‌عنوان یک هیبرید جدید معرفی کرد. در ادامه آزمایش به‌منظور به‌دست آوردن نتایج تکمیلی، تعداد ۱۳ هیبرید شامل H4, H9, H10, H11, H17, H18, H38, H41, H42, H45, H47, H49 و H50 به‌عنوان هیبریدهای مطلوب این آزمایش به‌همراه هیبریدهای Simon, SC703 و SC704 به‌عنوان شاهد در شرایط محیطی کرج مورد ارزیابی مجدد قرار گرفتند. نتایج این ارزیابی نشان داد که هرچند هیبریدهای شاهد Simon, SC703 و SC704 به‌ترتیب با متوسط ۱۲/۶۳، ۱۲/۰۱ و ۱۰/۶۴ تن در هکتار عملکرد بالایی داشتند، اما هیبرید H50 با متوسط عملکرد دانه ۱۰/۵۰ تن در هکتار، نه‌تنها عملکرد مطلوبی داشت، بلکه تعداد روز تا تاسل‌دهی و کاکل‌دهی کم‌تری نیز در مقایسه با هیبریدهای شاهد نشان داد. بنابراین، هیبرید H50 با وجود ویژگی مطلوب زودرسی، عملکرد نسبتاً بالایی نیز داشت و برای ارزیابی در آزمایشات ناحیه‌ای عملکرد به‌منظور معرفی آن به‌عنوان یک هیبرید جدید پرمحصول و زودرس پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توالی‌یابی نسل جدید، زودرسی، وارسته‌های هیبرید، BLUP

۱- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 ۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 ۳- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 * نویسنده مسئول: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت کشورها از یک سو و محدودیت هرچه بیشتر منابع تولیدی از سوی دیگر، تأمین مواد غذایی مورد نیاز مردم به عنوان ضروری‌ترین عامل در کسب موفقیت استقلال اقتصادی مطرح می‌شود (Warburton *et al.*, 2005). بخش کشاورزی منبع اصلی تأمین کننده نیازهای اساسی جوامع در حال توسعه است و بنابراین بیش‌ترین اهمیت را در برنامه‌های توسعه هر کشور دارد. ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی است از خانواده گرامینه با دوره رویشی کوتاه، که میزان عملکرد محصول دانه آن در واحد سطح نسبت به گیاهان مشابه به مراتب بیش‌تر است و می‌تواند قسمتی از نیاز جوامع بشری را جابگو باشد. این گیاه سومین محصول مهم غذایی بعد از گندم و برنج است. اخیراً ذرت در ایران جزو محصولات عمده قرار گرفته است و موارد استعمال متعددی از جمله تهیه نان، تغذیه حیوانات و پرندگان، تهیه گلوتن خوراکی، تهیه مالت و نشاسته، روغن‌کشی و الکل‌گیری، تهیه اسید لاکتیک و اسید استیک، تهیه غذای کودک، کاغذهای روغنی، رنگرزی، پلاستیک‌سازی و صابون‌سازی دارد (Tajbakhsh, 1996). ذرت به دلیل قابلیت‌هایی نظیر قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، عملکرد زیاد، قدرت قرار گرفتن در تناوب‌های مختلف، قابلیت استفاده از مکانیزاسیون و موارد مصرف متعدد در بسیاری از کشورها به‌طور گسترده کشت می‌شود. به‌علاوه علوفه‌ای بسیار مطلوب برای دام بوده و از نظر تأمین انرژی برای دام و طیور نیز کم‌نظیر است (Dehghanpour, 2001). با توجه به موارد استعمال گوناگون این گیاه و افزایش روز افزون تقاضا، دولت به ناچار سالانه مقدار چشمگیری ذرت را از بازارهای جهانی خریداری و وارد می‌کند.

تولید ارقام هیبرید یکی از روش‌های مهم افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش وابستگی به واردات ذرت می‌باشد (Ziaie Bidhendi *et al.*, 2012). استفاده گسترده از هیبریدهای ذرت همراه با بهبود عملیات زراعی توسط کشاورزان، عملکرد ذرت را در آمریکا در طی پنجاه سال به بیش از سه برابر افزایش داده است که در مورد هیچ محصولی در دنیا چنین افزایشی اتفاق نیفتاده است. در این بین سهم اصلاح و بیوتکنولوژی ذرت ۶۰ درصد برآورد شده است (Bernardo, 2010). تولید هیبرید در واقع استفاده از پدیده هتروزیس است (Hallauer, 1990)

و این امر از طریق تولید لاین‌های خالص از جمعیت‌های در حال تفرق به وسیله خودگشنی، گزینش ظاهری بین و درون نتاج و نهایتاً ارزیابی آنها در ترکیبات هیبرید به دست می‌آید. با این وجود، شناسایی و تلاقی والدین مناسب برای نیل به حداکثر هتروزیس، چالش اصلی برنامه‌های تولید هیبرید در ذرت می‌باشد. در این راستا گروه‌بندی هتروتیک و شناسایی الگوی هتروتیک در برنامه‌های تولید بذر هیبرید پیشنهاد شده است (Hallauer and Miranda, 1988). یک گروه هتروتیک نشان دهنده گروهی از ژنوتیپ‌ها است که ترکیب‌پذیری و واکنش مناسبی در تلاقی با ژنوتیپ‌های متمایز از نظر ژنتیکی نشان می‌دهند. گروه‌بندی اولیه ژرم پلاسما ذرت آمریکا به دو گروه "رید یلو دنت" و "لنکستر شور کراپ" از مثال‌های موفق این روش می‌باشد. تلاقی‌های دی‌آلل یک روش مؤثر در انتساب لاین‌ها به گروه‌های هتروتیک است (Han *et al.*, 1991). با این وجود، این روش می‌تواند فقط تعداد محدودی از لاین‌ها را ارزیابی کند (Terron *et al.*, 1997). استفاده از تلاقی‌های لاین در تستر، از دیگر روش‌های متداول در انتساب لاین‌ها به گروه‌های هتروتیک است. تسترهای مورد استفاده معمولاً والدین هیبریدهای پر محصول رایج هستند. در چند دهه اخیر نیز از نشانگرهای مولکولی DNA به‌عنوان ابزاری امیدبخش برای گروه‌بندی لاین‌ها استفاده شده است (Smith and Smith, 1992; Yu *et al.*, 2007). اخیراً نشانگرهای SNP به‌طور گسترده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان برای شناسایی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی هتروتیک، تهیه نقشه‌های ژنتیکی با وضوح بالا، نقشه‌یابی ارتباطی کل ژنوم، انتخاب ژنومی و مطالعه تاریخچه تکاملی جمعیت‌ها استفاده می‌شوند (Aranzana *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2007; Akhunov *et al.*, 2009). با توجه به معرفی نسل جدید توالی‌یابی (NGS)، آرایه‌های ژنوتیپ‌سنجی جدید و با وضوح بالا برای ذرت از قبیل آرایه‌های ژنوتیپ‌سنجی Illumina® MaizeSNP50 و Affymetrix® (Ganal *et al.*, 2011) و Maize 600K genotyping array معرفی شدند (Unterseer *et al.*, 2014)، که پشتوانه بسیار قوی برای توسعه نشانگرهای SNP هستند. متعاقب گروه‌بندی هتروتیک، بهترین هیبریدها را می‌توان با کمک روش‌های مختلف از جمله تلاقی بین آنها شناسایی کرد (Han *et al.*, 1991)، ولی این روش بسیار کند و حجیم است. برای

برای این منظور به ترتیب از پاکت‌های کاغذی نخودی و پلاستیکی استفاده شد. بعد از خروج تارهای ابریشمی بلال، تلاقی دستی هر یک از بوته‌ها انجام گرفت.

ارزیابی عملکرد هیبریدها در شرایط مزرعه‌ای

ارزیابی فنوتیپی هیبریدهای حاصل از تلاقی لاین‌های منتخب از دو گروه هتروتیک، در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات توتون ارومیه با طول جغرافیایی ۴۴/۵۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳۷/۳۴ درجه با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریای آزاد در قالب طرح لاتیس ساده ۸×۸ با سه تکرار انجام گرفت (شکل ۱). هر تکرار شامل ۸ بلوک ناقص و هر بلوک ناقص شامل ۸ کرت زراعی بود. در هر کرت نیز یک ردیف به طول دو متر با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر کشت و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میزان بارندگی سالانه محل اجرای آزمایش بر مبنای متوسط ۱۰ ساله، ۳۳۶ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه آن ۱۲°C و متوسط دمای زمستانه و تابستانه آن به ترتیب ۵/۸°C- و ۲۲/۱°C بود. برای آماده‌سازی زمین، پس از شخم عمیق پاییزه و شخم نسبتاً عمیق عمود بر جهت شخم پاییزه در فصل بهار، دوبار دیسک به صورت عمود بر هم زده شد. آبیاری مزرعه در مواقع لازم (عموماً هفت روز یکبار) و کوددهی بر اساس نتایج آزمایش خاک از منبع ازت (اوره) و فسفر (سوپر فسفات تریپل) انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز و سله‌شکنی به صورت دستی انجام گرفت و برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها نیز در مواقع لازم از سموم شیمیایی استفاده شد. ارزیابی عملکرد هیبریدها پس از برداشت انجام شد.

تجزیه‌های آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نشانگرهای SNP

تعداد SNP روی ژنوم و هر کروموزوم، اندازه هر کروموزوم (Mbp)، تراکم SNP روی کروموزوم‌ها (SNP/Mbp)، میزان جهش نقطه‌ای همسان (% Tv)، مقدار جهش‌های A↔G و T↔C، میزان جهش غیرهمسان، میزان تبدیل A↔T، A↔C، T↔G و C↔G، نسبت جهش نقطه‌ای همسان به غیرهمسان (Ts/Tv) با استفاده از فرمول‌نویسی در اکسل محاسبه شد (Pootakham et al., 2015). برای ترسیم دندروگرام گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار DARwin 5 استفاده شد.

مثال اگر یک الگوی هتروتیک شامل دو گروه و هر گروه شامل ۵۰ لاین باشد، امکان تولید ۲۵۰۰ هیبرید وجود دارد که تولید و ارزیابی این تعداد عملاً غیر ممکن است. با استفاده از روابط خویشاوندی افراد بر اساس نشانگرهای SNP و همچنین عملکرد تعدادی هیبرید ارزیابی شده، می‌توان عملکرد هیبریدهای ارزیابی نشده را به روش بهترین پیش‌بینی ناآریب خطی (BLUP) برآورد کرد. در این پژوهش با بهره‌مندی از تکنولوژی نشانگرهای مولکولی SNP و روش‌های آماری چند متغییره، گروه‌بندی هتروتیک و پیش‌بینی عملکرد هیبریدها و مقایسه هیبریدهای حاصل با ارقام تجاری انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، استخراج DNA و توسعه نشانگرهای SNP

مواد گیاهی این آزمایش شامل ۹۳ لاین ذرت بود که از دانشگاه رازی کرمانشاه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. بذر هر لاین در شش گلدان به ابعاد ۲۴×۲۴ سانتی‌متر به منزله شش تکرار در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در محوطه گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه کشت شد (شکل ۱). برای استخراج DNA، یک نمونه برگ‌گی مخلوط از شش تکرار هر لاین در مرحله چهار برگ‌گی تهیه و استخراج DNA به روش Cetyl Trimethyl Ammonium (CTAB) (Murry and Thompson, 1980)، پس از اطمینان از مناسب بودن کمیت و کیفیت DNAهای استخراج شده، نمونه‌های DNA برای توالی‌یابی به شرکت TraitGenetics آلمان ارسال شدند. توالی‌یابی با استفاده از روش Affymetrix® Maize 600K genotyping array انجام و کتابخانه ژنومی نمونه‌ها ساخته شد.

گروه‌بندی هتروتیک و انجام تلاقی‌ها

بر اساس نتایج گروه‌بندی با نشانگرهای SNP، هشت لاین (چهار لاین از هر گروه هتروتیک که با خطوط سیاه رنگ در شکل ۲ مشخص شده است) برای تلاقی انتخاب شدند. از هر یک از لاین‌های انتخاب شده تعداد ۸ گلدان (ابعاد: ۲۴×۲۴ سانتی‌متر) در ۳ تاریخ کاشت مختلف (با فاصله ۵ روز) کشت شد. در مرحله زایشی تاسل (اندام نر) و بلال (اندام ماده) هر بوته جداگانه پاکت‌گذاری شدند.



شکل ۱- نمایی از مزرعه تکثیر بذر و تلاقی بین لاین‌های منتخب ذرت در دانشگاه ارومیه (شکل سمت چپ بالا)، بلال حاصل از یکی از تلاقی‌ها (شکل سمت راست بالا)، ارزیابی هیبریدهای ذرت حاصل از تلاقی در مرکز تحقیقات توتون ارومیه (شکل‌های پایین)
 Figure 1. View of the seed propagation field and the hybridization of selected maize lines in Urmia University (above-left), ear from one of the hybridization (above-right), evaluation of corn hybrids obtained from cross-breeding in Urmia Tobacco Research Center (bottom Figures)

پیش‌بینی عملکرد هیبریدها

عملکرد سینگل کراس‌ها به صورت زیر مدل‌سازی شد (Bernardo, 2010):

$$Y = X\beta + Ug_1 + Wg_2 + Zs + e \quad (1)$$

در مدل خطی مخلوط، g_1 بردار ترکیب‌پذیری عمومی اینبرد لاین‌های گروه هتروتیک یک وقتی با گروه هتروتیک دوم تلاقی داده می‌شوند، g_2 بردار ترکیب‌پذیری

عمومی اینبرد لاین‌های گروه هتروتیک دوم وقتی با گروه هتروتیک اول تلاقی داده می‌شوند، S بردار اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها و U, W, Z ماتریس‌های تلاقی یک و صفر می‌باشند. β بردار اثرات ثابت مربوط به محیط آزمایش می‌باشد. ماتریس X بردار β را به Y مربوط می‌کند. مدل خطی مربوطه برای عملکرد ۱۶ سینگل کراس در نماد ماتریس به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} Y_{15} \\ Y_{16} \\ Y_{17} \\ Y_{18} \\ Y_{25} \\ Y_{26} \\ Y_{27} \\ Y_{28} \\ Y_{35} \\ Y_{36} \\ Y_{37} \\ Y_{38} \\ Y_{45} \\ Y_{46} \\ Y_{47} \\ Y_{48} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} [b_1] + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{14} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{25} \\ g_{26} \\ g_{27} \\ g_{28} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S(1 \times 5) \\ S(1 \times 6) \\ S(1 \times 7) \\ S(1 \times 8) \\ S(2 \times 5) \\ S(2 \times 6) \\ S(2 \times 7) \\ S(2 \times 8) \\ S(3 \times 5) \\ S(3 \times 6) \\ S(3 \times 7) \\ S(3 \times 8) \\ S(4 \times 5) \\ S(4 \times 6) \\ S(4 \times 7) \\ S(4 \times 8) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \\ e_7 \\ e_8 \\ e_9 \\ e_{10} \\ e_{11} \\ e_{12} \\ e_{13} \\ e_{14} \\ e_{15} \\ e_{16} \end{bmatrix}$$

بردار ضرایب (β, g_1, g_2, S) با معادلات هندرسون (Henderson, 1990) محاسبه شد:

$$\begin{bmatrix} \beta \\ g_1 \\ g_2 \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}U & X'R^{-1}W & X'R^{-1}Z \\ U'R^{-1}X & U'R^{-1}U + \theta_1 & U'R^{-1}W & U'R^{-1}Z \\ W'R^{-1}X & W'R^{-1}U & W'R^{-1}W + \theta_2 & W'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}U & Z'R^{-1}W & Z'R^{-1}Z + \theta_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'R^{-1}Y \\ U'R^{-1}Y \\ W'R^{-1}Y \\ Z'R^{-1}Y \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = G_1^{-1} \begin{bmatrix} V_R \\ V_{GCA_1} \end{bmatrix}, \quad \theta_2 = G_2^{-1} \begin{bmatrix} V_R \\ V_{GCA_2} \end{bmatrix}, \quad \theta_3 = S^{-1} \begin{bmatrix} V_R \\ V_{SCA} \end{bmatrix}$$

CUT ماتریس کواریانس بین سینگل کراس‌های ارزیابی نشده با سینگل کراس‌های ارزیابی شده و C_{TT} ماتریس کواریانس فنوتیپی بین سینگل کراس‌های ارزیابی شده، است؛ در حقیقت ماتریس C_{TT} مشخص می‌کند که سینگل کراس‌های ارزیابی شده تا چه حد به هم شبیه هستند. ماتریس CUT دارای ابعاد $n_u \times n_t$ است. n_u : تعداد هیبریدهای ارزیابی نشده و n_t : تعداد هیبریدهای ارزیابی شده را نشان می‌دهد. برای محاسبه ماتریس CUT نخست ضرایب خویشاوندی بین اعضای گروه هتروتیک اول و ضرایب خویشاوندی بین اعضای گروه هتروتیک دوم جداگانه با استفاده از نشانگرهای SNP در نرم‌افزار تاسل نسخه ۵ محاسبه شدند، سپس عناصر ردیف i ام و ستون j ام ماتریس CUT (کواریانس بین هیبرید ارزیابی نشده i ام مثلاً هیبرید 9×67 و هیبرید ارزیابی شده j ام مثلاً هیبرید 1×5) به صورت رابطه (۶) محاسبه شد:

$$COV_{(9 \times 67)(1 \times 5)} = (f_{9,1} \times V_{GCA(1)}) + (f_{5,67} \times V_{GCA(2)}) + (f_{9,1} \times f_{5,67} \times V_{SCA}) \quad (6)$$

عناصر ردیف i و ستون j ماتریس C_{TT} (کواریانس بین هیبرید ارزیابی شده i مانند هیبرید 1×5 و هیبرید ارزیابی شده j مانند هیبرید 1×6) نیز با رابطه (۷) محاسبه شد:

$$COV_{(1 \times 5)(1 \times 6)} = (f_{1,1} \times V_{GCA(1)}) + (f_{5,6} \times V_{GCA(2)}) + (f_{1,1} \times f_{5,6} \times V_{SCA}) \quad (7)$$

عناصر قطری ماتریس C_{TT} نیز با رابطه (۸) محاسبه شد (Bernardo, 2010):

$$COV_{(SCA)(SCA)} = V_{GCA(1)} + V_{GCA(2)} + V_{SCA} + V_{\bar{x}} \quad (8)$$

که در آن مقدار $V_{\bar{x}}$ برابر است با:

$$V_{\bar{x}} = \frac{V_R}{j\text{th diagonal element of the } Z'R^{-1}Z \text{ matrix}} \quad (9)$$

کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از رویه Proc iml نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

مقایسه عملکرد هیبریدها با تعدادی از هیبریدهای تجاری

عملکرد تعدادی از هیبریدهای امیدبخش از مجموعه هیبریدهای حاصل از تلاقی بین لاین‌های گروه هتروتیک اول با دوم در آزمایش تکمیلی به همراه ارقام هیبرید سیگل کراس ۷۰۳، ۷۰۴ و Simon در منطقه کرج مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

در این روابط G_1 ، G_2 و S به ترتیب ماتریس ضرایب خویشاوندی بین اینبردهای گروه هتروتیک اول، دوم و بین هیبریدها، V_{GCA} و V_{SCA} به ترتیب واریانس ترکیب‌پذیری عمومی گروه‌های هتروتیک و خصوصی هیبریدها و V_R واریانس باقی مانده‌هاست. در این آزمایش مشابهت افراد منتخب از گروه هتروتیک اول با ۴۵۰۱۳۳ نشانگر SNP در نرم‌افزار تاسل ورژن ۵ محاسبه شد. همچنین مشابهت افراد منتخب از گروه هتروتیک دوم با همان تعداد نشانگر تعیین شد. ضرایب خویشاوندی بین هیبریدها با استفاده از ماتریس‌های G_1 و G_2 از طریق رابطه (۳) محاسبه شد:

$$COV_{SC} = f_{jj'} V_{GCA(1)} + f_{kk'} V_{GCA(2)} + f_{jj'} f_{kk'} V_{SCA} \quad (3)$$

که در آن، $f_{jj'}$ ضریب هم‌نسبی بین اینبردهای j و j' ، $f_{kk'}$ ضریب هم‌نسبی بین اینبردهای k و k' ، $V_{GCA(1)}$ واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هتروتیک اول در تلاقی با گروه هتروتیک دوم، $V_{GCA(2)}$ واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هتروتیک دوم در تلاقی با گروه هتروتیک اول و V_{SCA} اثر ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها است.

تجزیه لاین \times تستر داده‌های عملکرد دانه

به منظور برآورد $V_{GCA(1)}$ و $V_{GCA(2)}$ (به ترتیب واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هتروتیک اول در تلاقی با گروه دوم و برعکس واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هتروتیک دوم در تلاقی با گروه اول) و نیز V_{SCA} (قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها)، از تجزیه لاین \times تستر استفاده شد. برای انجام این تجزیه، یک‌بار لاین‌های منتخب از گروه هتروتیک دوم به‌عنوان تستر برای گروه اول و بار دیگر لاین‌های منتخب از گروه هتروتیک اول به‌عنوان تستر برای گروه دوم در نظر گرفته شدند. تجزیه لاین در تستر با رویه LineXtester در بسته agricolae در نرم‌افزار R انجام گرفت.

پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای ارزیابی نشده

با استفاده از وضعیت سینگل کراس‌های ارزیابی شده و با بهره‌مندی از روابط زیر، وضعیت سینگل کراس‌های ارزیابی نشده به شرح زیر پیش‌گویی شدند (Bernardo, 2010):

$$\hat{Y}_U = C_{UT} C_{TT}^{-1} \hat{Y}_T \quad (4)$$

$$\hat{Y}_T = (Z'R^{-1}Z)^{-1} Z'R^{-1} (Y - X\hat{\beta}) \quad (5)$$

نتایج و بحث

تنوع ژنتیکی با نشانگرهای SNP

پس از توالی‌یابی نمونه‌ها توسط شرکت TraitGenetics آلمان (<http://www.traitgenetics.com/>)، بر اساس آرایه Affymetrix® Maize 600K در نهایت ۶۰۰ هزار نشانگر SNP چندشکلی نشان دادند که پس از حذف SNP‌های دارای فراوانی آلل جزئی کم‌تر از ۱۰ درصد، تعداد ۴۵۰۱۳۳ نشانگر SNP باقی ماند که از این تعداد، ۴۴۹۹۲۹ نشانگر SNP روی ۱۰ کروموزوم ذرت تعیین موقعیت شدند. کروموزوم ۱ و ۱۰ به ترتیب با ۷۲۲۲۶ و ۳۰۵۹۶ نشانگر SNP بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد SNP را داشتند. به‌طور کلی، بیش‌تر جایگزینی‌های نوکلئوتیدی مشاهده شده با ۳۰۲۴۱۱ SNP (۶۷/۲۱ درصد) به‌صورت جایگزینی‌های همجنس (Ts) بود، در حالی‌که جایگزینی‌های غیرهمجنس (Tv) با ۱۴۷۵۱۸ SNP حدود ۳۲/۷۹ درصد از جایگزینی‌های نوکلئوتیدی را شامل شدند (جدول ۱). فراوانی بالای جایگزینی همجنس در بسیاری از گونه‌ها مشاهده شده است که به‌نظر می‌رسد ناشی از تمایل جهش متیل‌سیتوزین به اوراسیل باشد که در نتیجه تصحیح به تیمین تبدیل می‌شود (Coulondre *et al.*, 1978).

در کل لاین‌های مورد مطالعه بر اساس الگوریتم WPGMA در دو گروه هتروتیک قرار گرفتند (شکل ۲). لاین‌های توسعه یافته در دانشگاه رازی کرمانشاه اکثراً با فاصله ژنتیکی نسبتاً کم در کنار هم گروه‌بندی شدند. لاین

والد پدری رقم هیبرید ۷۰۴ (MO17) با کد 9_1 در زیرگروه لاین‌های تولید شده در دانشگاه رازی کرمانشاه قرار گرفت. بنابراین می‌توان لاین‌های پدری را از این زیرگروه شناسایی و در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد. بین لاین‌های تولید شده در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، تنوع نسبتاً بالایی مشاهده شد. لاین‌های B73 (3_1) و B73 (RFCORCMS) (6_1) در کنار دو لاین معرفی شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در یک زیرگروه قرار گرفتند. بنابراین می‌توان لاین‌های مادری را از این زیرگروه شناسایی و در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود. براساس فاصله‌های ژنتیکی برآورد شده در نهایت لاین‌های 1_4، 9_4، 14_4، 20_4، 28_2، 18_2 به همراه لاین‌های 9_1 و 3_1 انتخاب و به صورت دیپال کامل ۸×۸ تلاقی یافتند.

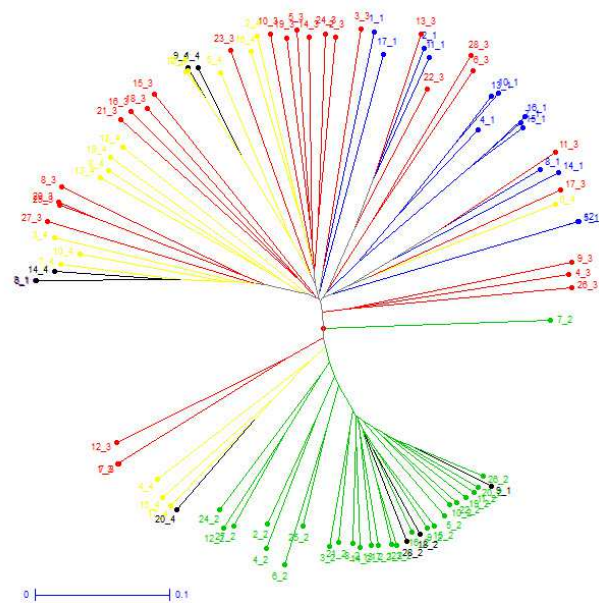
تجزیه لاین × تستر

واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های متعلق به گروه هتروتیک اول وقتی با لاین‌های گروه هتروتیک دوم تلاقی می‌یابند، واریانس ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های متعلق به گروه هتروتیک دوم وقتی با لاین‌های گروه هتروتیک اول تلاقی می‌یابند و همچنین واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای حاصل از دو گروه با تجزیه لاین × تستر برآورد شد (جدول ۲).

جدول ۱- خلاصه اطلاعات جهش‌های تک نوکلئوتیدی شناسایی شده در کروموزوم‌های مختلف ۹۳ لاین اینبرد ذرت

Table 1. A summary of single nucleotide substitutions identified in different chromosomes of 93 maize inbred lines

Chromosome	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
SNPs	72226	54110	53906	50408	49153	34873	35489	35009	34159	30596	449929
A↔G	24212	17901	17876	16987	16329	11511	11955	11760	11356	10408	150295
T↔C	24225	18130	18358	17080	16612	11928	12000	11896	11597	10290	152116
Transition	48437	36031	36234	34067	32941	23439	23955	23656	22953	20698	302411
Ts %	67.06	66.59	67.22	67.58	67.02	67.21	67.50	67.57	67.19	67.65	67.21
A↔T	4265	3184	3072	2868	2892	2011	2059	1998	2026	1688	26063
A↔C	6845	5141	5195	4755	4692	3277	3262	3253	3235	2919	42574
T↔G	6979	5214	5067	4796	4590	3296	3340	3311	3165	2882	42640
C↔G	5700	4540	4338	3922	4038	2850	2873	2791	2780	2409	36241
Transverion	23789	18079	17672	16341	16212	11434	11534	11353	11206	9898	147518
Tv %	32.94	33.41	32.78	32.42	32.98	32.79	32.50	32.43	32.81	32.35	32.79
Ts/Tv ratio	2.04	1.99	2.05	2.08	2.03	2.05	2.08	2.08	2.05	2.09	2.05



شکل ۲- گروه‌بندی ۹۳ لاین اینبرد ذرت با استفاده از داده‌های حاصل از ژنوتیپ‌سنجی با Affymetrix® Maize 600K genotyping array براساس الگوریتم WPGMA. رنگ سبز نشان‌دهنده لاین‌های توسعه یافته در دانشگاه رازی کرمانشاه، رنگ آبی و زرد نشان‌دهنده لاین‌های توسعه یافته در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و رنگ قرمز نشان‌دهنده لاین‌های توسعه یافته در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی می‌باشند. رنگ مشکی نشان‌دهنده لاین‌هایی است که برای برنامه تلاقی انتخاب شدند.

Figure 2. Grouping of 93 inbred maize lines using genotyping data from Affymetrix® Maize 600K genotyping array based on WPGMA algorithm. Green color indicates the developed lines in Razi University of Kermanshah, blue and yellow color indicate the developed lines in Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, and red color indicates the developed lines in Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center. Black color indicates the lines selected for the crossing program.

جدول ۲- میانگین برآورد مقادیر واریانس‌های ترکیب‌پذیری بر اساس تجزیه‌های لاین در تستر در ذرت

Table 2. Mean of estimated combining ability variances based on line × tester analyzes in maize

Variance components	V _R	V _{GCA1}	V _{GCA2}	V _{SCA}
value	5270.68	297.35	297.35	1763.31

3_1×28_2، 14_4×9_1، 14_4×18_2، 14_4×20_4 نخست قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه‌های هترووتیک اول و دوم به‌همراه قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها با مدل خطی مخلوط به‌صورت جدول ۴ برآورد شد. بر مبنای برآوردهای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هترووتیک اول، قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های گروه هترووتیک دوم و ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها، عملکرد هیبریدها به‌صورت جدول ۵ برآورد شد. در توافق با داده‌های مشاهده شده در مزرعه، در برآوردها نیز عملکرد هیبرید 1_4×18_2 بیش‌تر از بقیه هیبریدها بود.

برآورد عملکرد هیبریدها با مدل خطی مخلوط

ماتریس‌های G1، G2 و S بر اساس نشانگرهای SNP برآورد شد (جدول ۳). از این ماتریس‌ها به‌همراه میانگین برآوردهای واریانس‌های قابلیت‌های ترکیب‌پذیری که از طریق تجزیه لاین × تستر تخمین زده شده‌اند (جدول ۲)، در برآورد عملکرد هیبریدها استفاده شد.

به‌منظور برآورد عملکرد مشاهده شده (Y) هیبریدهای حاصل از تلاقی افراد گروه هترووتیک اول (9_4، 1_4، 14_4، 3_1) با گروه هترووتیک دوم (28_2، 20_4، 18_2، 9_1)، یعنی هیبریدهای (9_4×28_2، 9_4×20_4، 9_4×18_2، 9_4×9_1، 1_4×28_2، 1_4×20_4، 1_4×18_2، 1_4×9_1، 14_4×28_2، 14_4×20_4، 14_4×18_2، 14_4×9_1)

جدول ۳- برآورد ماتریس ضرایب خویشاوندی بین اینبردهای گروه هتروتیک اول (G1)، ماتریس ضرایب خویشاوندی بین اینبردهای گروه

هتروتیک دوم (G2) و ماتریس ضرایب خویشاوندی بین هیبریدها (S) بر اساس نشانگرهای SNP

Table 3. Estimation of the matrix of kinship coefficients between inbreeds of the first heterotic group (G1), matrix of kinship coefficients between inbreeds of the second heterotic group (G2) and matrix of kinship coefficients between hybrids (S) based on SNP markers

$$G_1 = \begin{bmatrix} 2.00 & 1.28 & 0.03 & 0.10 \\ 1.28 & 2.00 & 0.04 & 0.02 \\ 0.03 & 0.04 & 2.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.02 & 0.00 & 2.00 \end{bmatrix}$$

$$G_2 = \begin{bmatrix} 2.00 & 0.06 & 0.54 & 0.58 \\ 0.06 & 2.00 & 0.00 & 0.47 \\ 0.54 & 0.00 & 2.00 & 0.60 \\ 0.58 & 0.47 & 0.60 & 2.00 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 4.00 & 0.11 & 1.08 & 1.17 & 2.56 & 0.07 & 0.69 & 0.75 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.02 & 0.21 & 0.01 & 0.06 & 0.06 \\ 0.11 & 4.00 & 0.00 & 0.93 & 0.07 & 2.56 & 0.00 & 0.60 & 0.00 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.01 & 0.21 & 0.00 & 0.05 \\ 1.08 & 0.00 & 4.00 & 1.21 & 0.69 & 0.00 & 2.56 & 0.77 & 0.02 & 0.00 & 0.07 & 0.02 & 0.06 & 0.00 & 0.21 & 0.06 \\ 1.17 & 0.93 & 1.21 & 4.00 & 0.75 & 0.60 & 0.77 & 2.56 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.07 & 0.06 & 0.05 & 0.06 & 0.21 \\ 2.56 & 0.07 & 0.69 & 0.75 & 4.00 & 0.11 & 1.08 & 1.17 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.02 & 0.04 & 0.00 & 0.01 & 0.01 \\ 0.07 & 2.56 & 0.00 & 0.60 & 0.11 & 4.00 & 0.00 & 0.93 & 0.00 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.00 & 0.04 & 0.00 & 0.01 \\ 0.69 & 0.00 & 2.56 & 0.77 & 1.08 & 0.00 & 4.00 & 1.21 & 0.02 & 0.00 & 0.07 & 0.02 & 0.01 & 0.00 & 0.04 & 0.01 \\ 0.75 & 0.60 & 0.77 & 2.56 & 1.17 & 0.93 & 1.21 & 4.00 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.07 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.04 \\ 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.02 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.02 & 4.00 & 0.11 & 1.08 & 1.17 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.00 & 0.07 & 0.00 & 0.02 & 0.11 & 4.00 & 0.00 & 0.93 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.02 & 0.00 & 0.07 & 0.02 & 0.02 & 0.00 & 0.07 & 0.02 & 1.08 & 0.00 & 4.00 & 1.21 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.07 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.07 & 1.17 & 0.93 & 1.21 & 4.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.21 & 0.01 & 0.06 & 0.06 & 0.04 & 0.00 & 0.01 & 0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 4.00 & 0.11 & 1.08 & 1.17 \\ 0.01 & 0.21 & 0.00 & 0.05 & 0.00 & 0.04 & 0.00 & 0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.11 & 4.00 & 0.00 & 0.93 \\ 0.06 & 0.00 & 0.21 & 0.06 & 0.01 & 0.00 & 0.04 & 0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.08 & 0.00 & 4.00 & 1.21 \\ 0.06 & 0.05 & 0.06 & 0.21 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.17 & 0.93 & 1.21 & 4.00 \end{bmatrix}$$

بر اساس جدول ۷ و شکل ۴ بالاترین عملکرد پیشگویی شده در رابطه با هیبریدهای ارزیابی نشده در تلاقی‌های ۲۴×۸۹، ۲۴×۷۰، ۲۴×۷۳ و ۲۴×۷۳ متصور هست. البته این هیبریدها در رتبه بعد از هیبریدهای 1_4×18_2، 1_4×28_2 و 3_1×9_1 قرار می‌گیرند.

مقایسه عملکرد هیبریدها با تعدادی از هیبریدهای تجاری

بر اساس نتایج، هیبرید جدید حاصل از این پروژه (H50; 1_4×18_2) در ارزیابی‌ها در منطقه ارومیه از نظر عملکرد دانه بالاتر از سینگل ۷۰۴ بود (شکل ۳). در ارزیابی‌های انجام شده در منطقه کرج، این هیبرید مشابه با هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود (جدول ۸). با توجه به زودرسی این هیبرید نسبت به سینگل کراس ۷۰۴ در صورت تایید عملکرد آن در آزمایشات تکمیلی، این هیبرید می‌تواند به‌عنوان یک رقم جدید معرفی شود.

بررسی ارتباط عملکرد مشاهده شده و برآورد شده هیبریدها

رابطه رگرسیونی بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد برآورد شده هیبریدهای ذرت در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه خطی قوی بین عملکرد مشاهده شده و برآورد شده هیبریدهای ارزیابی شده وجود دارد (شکل ۳). این نتیجه نشان دهنده قدرت نشانگرهای SNP و مدل خطی مخلوط در تخمین عملکرد هیبریدهاست. هیبریدهای 1_4×18_2، 1_4×28_2، 3_1×9_1، 9_4×9_1، 14_4×20_4، 14_4×9_1 و 3_1×18_2 به ترتیب عملکرد بوته بیشتری در مقایسه با هیبرید تجاری ۷۰۴ نشان دادند.

پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای ارزیابی نشده با BLUP

ماتریس شباهت بین هیبریدهای ارزیابی شده با همدیگر و بین هیبریدهای ارزیابی شده و نشده در جدول ۶ و عملکرد پیشگویی شده هیبریدهای ارزیابی نشده به روش BLUP در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶- برآورد ماتریس شباهت بین هیبریدهای ارزیابی شده با همدیگر (ماتریس C_{TT}) و ماتریس شباهت بین هیبریدهای ارزیابی شده با ارزیابی نشده (ماتریس C_{UT})

Table 6. Estimating similarity matrix between evaluated hybrids (C_{TT} matrix) and similarity matrix between evaluated and un-evaluated hybrids (C_{UT} matrix)

$C_{TT} =$

7628.69	806.05	2655.39	2826.06	5491.46	522.00	1757.82	1871.86	727.29	30.12	203.50	219.50	995.27	57.79	290.93	312.44
806.05	7628.69	594.70	2374.79	522.00	5491.46	380.77	1570.31	30.12	727.29	10.31	177.19	57.79	995.27	31.15	255.55
2655.39	594.70	7628.69	2904.16	1757.82	380.77	5491.46	1924.05	203.50	10.31	727.29	226.82	290.93	31.15	995.27	322.29
2826.06	2374.79	2904.16	7628.69	1871.86	1570.31	1924.05	5491.46	219.50	177.19	226.82	727.29	312.44	255.55	322.29	995.27
5491.46	522.00	1757.82	1871.86	7628.69	806.05	2655.39	2826.06	736.04	31.03	206.35	222.53	676.08	24.84	186.79	201.74
522.00	5491.46	380.77	1570.31	806.05	7628.69	594.70	2374.79	31.03	736.04	10.99	179.75	24.84	676.08	6.33	162.22
1757.82	380.77	5491.46	1924.05	2655.39	594.70	7628.69	2904.16	206.35	10.99	736.04	229.93	186.79	6.33	676.08	208.57
1871.86	1570.31	1924.05	5491.46	2826.06	2374.79	2904.16	7628.69	222.53	179.75	229.93	736.04	201.74	162.22	208.57	676.08
727.29	30.12	203.50	219.50	736.04	31.03	206.35	222.53	7628.69	806.05	2655.39	2826.06	594.70	16.43	160.24	173.51
30.12	727.29	10.31	177.19	31.03	736.04	10.99	179.75	806.05	7628.69	594.70	2374.79	16.43	594.70	0.00	138.42
203.50	10.31	727.29	226.82	206.35	10.99	736.04	229.93	2655.39	594.70	7628.69	2904.16	160.24	0.00	594.70	179.58
219.50	177.19	226.82	727.29	222.53	179.75	229.93	736.04	2826.06	2374.79	2904.16	7628.69	173.51	138.42	179.58	594.70
995.27	57.79	290.93	312.44	676.08	24.84	186.79	201.74	594.70	16.43	160.24	173.51	7628.69	806.05	2655.39	2826.06
57.79	995.27	31.15	255.55	24.84	676.08	6.33	162.22	16.43	594.70	0.00	138.42	806.05	7628.69	594.70	2374.79
290.93	31.15	995.27	322.29	186.79	6.33	676.08	208.57	160.24	0.00	594.70	179.58	2655.39	594.70	7628.69	2904.16
312.44	255.55	322.29	995.27	201.74	162.22	208.57	676.08	173.51	138.42	179.58	594.70	2826.06	2374.79	2904.16	7628.69

$C_{UT} =$

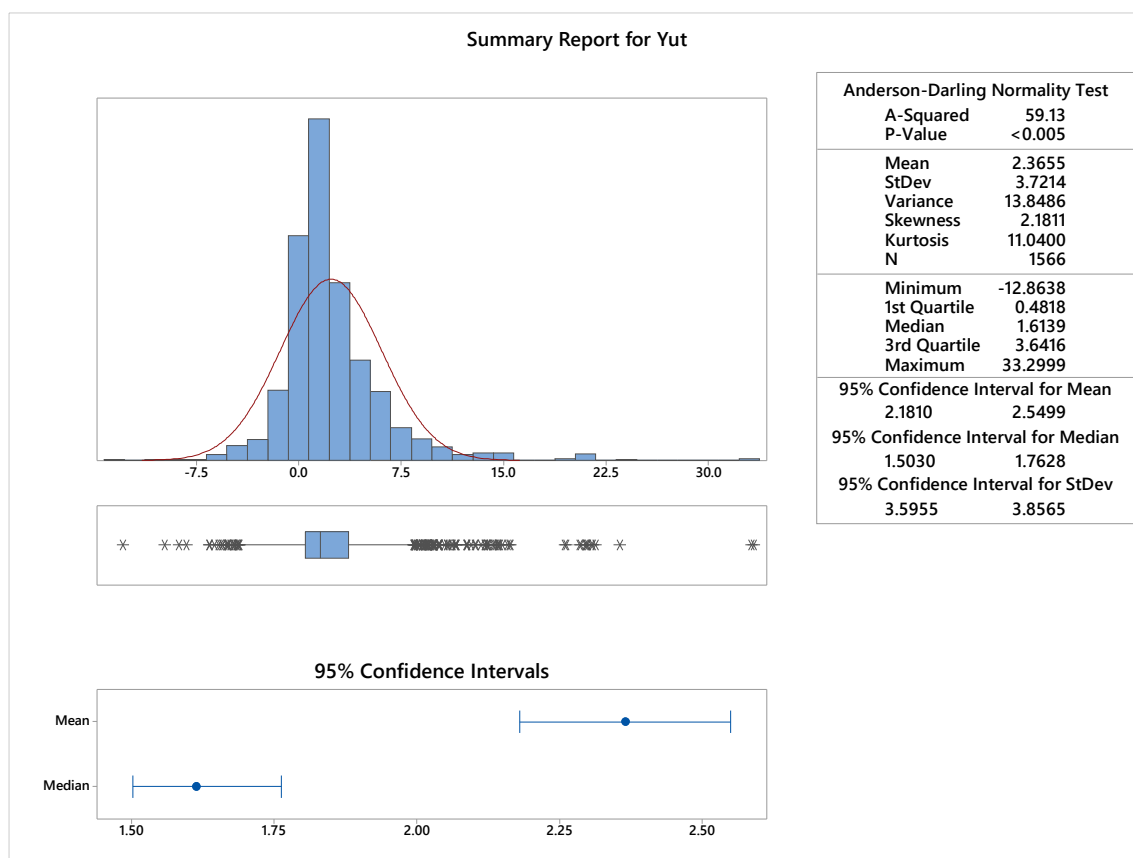
428.56	156.73	351.72	419.77	408.22	147.93	334.64	399.80	477.87	178.03	393.12	468.18	413.66	150.28	339.21	405.14
1274.98	522.50	1062.27	1250.65	1273.20	521.73	1060.78	1248.90	1224.17	500.54	1019.62	1200.77	1370.87	563.94	1142.77	1344.79
790.13	312.98	655.25	774.71	799.53	317.04	663.14	783.93	671.45	261.69	555.62	658.20	731.12	287.47	605.72	716.78
1356.70	557.81	1130.88	1330.87	1353.69	556.51	1128.34	1327.91	989.90	399.30	822.96	970.81	1139.31	463.87	948.38	1117.47
1244.33	509.25	1036.54	1220.56	1253.73	513.31	1044.43	1229.79	1200.78	490.43	999.98	1177.81	1380.71	568.19	1151.03	1354.44
1276.31	523.07	1063.39	1251.96	1250.11	511.75	1041.40	1226.24	1316.24	540.33	1096.91	1291.16	1653.39	686.02	1379.94	1622.11
1522.00	629.25	1269.65	1493.14	1719.91	714.77	1435.78	1687.41	1014.74	410.04	843.81	995.19	1096.47	445.36	912.42	1075.42
409.23	148.37	335.49	400.80	368.70	130.86	301.47	361.01	431.60	158.04	354.28	422.76	403.08	145.71	330.33	394.76
658.54	256.11	544.78	645.53	624.03	241.19	515.81	611.65	577.71	221.18	476.93	566.18	643.40	249.57	532.08	630.67
345.50	120.83	281.99	338.23	310.31	105.63	252.45	303.70	347.46	121.68	283.63	340.16	236.85	73.88	190.78	231.58
1473.23	608.17	1228.70	1445.26	1494.75	617.47	1246.76	1466.38	1405.37	578.84	1171.73	1378.65	1640.97	680.66	1369.51	1609.92
.
.
.
455.07	220.67	304.05	314.07	451.90	218.96	301.83	311.78	402.37	192.41	267.10	276.07	488.42	238.54	327.43	338.11
417.00	200.26	277.37	286.63	402.23	192.34	267.00	275.97	626.69	312.65	424.37	437.79	873.68	445.05	597.53	615.85
324.72	150.79	212.66	220.10	308.62	142.16	201.38	208.49	274.43	123.83	177.41	183.84	321.28	148.95	210.26	217.62

جدول ۷- عملکرد پیشگویی شده هیبریدهای ارزیابی نشده به روش BLUP (بخشی از نتایج گزارش شده است)

Table 7. Predicted performance of non-evaluated hybrids by BLUP method (part of the results reported)

G1	G2	Yut	G1	G2	Yut	G1	G2	Yut
9	67	0.05376	9	68	0.170644	9	93	-0.67631
10	67	1.110787	10	68	1.67219	10	93	-1.60231
11	67	1.087179	11	68	1.497542	11	93	-0.66305
.
.
.
64	67	1.109219	64	68	1.679064	64	93	-1.59942
65	67	-1.10061	65	68	-0.82403	65	93	-4.00282
66	67	0.292912	66	68	0.599158	66	93	-1.33136

G1 and G2, are the persons belong to the first and second heterotic groups, respectively, and Yut is predicted yield of the hybrid.



شکل ۴- گزارش خلاصه تصویری از برآورد عملکرد برای هیبریدهای ارزیابی نشده بر اساس روش BLUP

Figure 4. A pictorial summary from estimating yield of non-evaluated hybrids using BLUP method

جدول ۸- مقایسه عملکرد هیبرید امیدبخش با هیبریدهای تجاری در منطقه کرچ

Table 8. Comparison of yield of promising hybrids with commercial hybrids in Karaj region

Hybrid	Maternal	Paternal	Urmia_GY (g/plant)	Karaj_GY (kg/Ha)	Cross between Heterotic groups	Predicted yield of evaluated hybrid (g/plant)
H50	18_2	1_4	433.27	10.50	√	110.083
SC704	B73	MO17	327.15	10.64		

هیبرید قبل از تلاقی یکی از راه‌های مؤثر جهت بهره‌وری بیش‌تر در برنامه‌های اصلاحی است (Bernardo, 1999). ابتدا برنامه BLUP برای پیش‌بینی عملکرد دام در اصلاح دام به‌کار برده شد، ولی امروزه از آن برای پیش‌بینی عملکرد هیبریدها در برنامه اصلاحی گیاهان در سطح وسیعی استفاده می‌شود. انتخاب برای هیبرید برتر در روش‌های اصلاحی کلاسیک به‌دلیل اثرات محیطی و طولانی بودن مسیر، روش غیرمعتبری است (Graner et al., 1994).

برناردو (Bernardo, 1994) با بررسی ۳۱ لاین ذرت و به‌دست آوردن فاصله ژنتیکی و ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی آن‌ها با روش بلاپ، پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای تست نشده را انجام داد. نتایج نشان داد که دو لاینی که پس از تلاقی بالاترین میزان عملکرد را دارا بودند، متعلق به دو گروه هتروژیک مجزا هستند. برناردو (Bernardo, 1999) با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از ۴۷۷۵ لاین ذرت طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵، ۱۶ گروه هتروژیک را برای ذرت‌های آمریکا پیشنهاد کرد. وی با استفاده از روش BLUP و با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از نشانگر RFLP به پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای ذرت پرداخت و نشان داد که روش BLUP با استفاده از داده‌های نشانگر RFLP می‌تواند برای شناسایی بهترین عملکرد هیبریدهای ارزیابی نشده مفید باشد (Bernardo, 1999). تامس و همکاران (Toms et al., 2005) عنوان کردند که برای پیش‌بینی عملکرد هیبریدها، استفاده از نشانگرهای مولکولی روشی مؤثرتر نسبت به داده‌های شجره‌ای است.

بالستر و همکاران (Balestre et al., 2010) نیز عملکرد هیبریدهای سینگل‌کراس ذرت را با استفاده از روش خطی مخلوط و اطلاعات حاصل از نشانگرهای ریزماهواره پیش‌بینی کردند و نشان دادند که با این روش پیش‌بینی دقیق‌تری از عملکرد هیبریدهای تولید نشده نسبت به پیش‌بینی بر اساس صفات مورفولوژیک و شجره‌ای به‌دست می‌آید. بالستر و همکاران (Balestre et al., 2011) در تحقیق دیگری به پیش‌بینی عملکرد هیبریدهای دابل‌کراس ذرت با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره و روش BLUP پرداختند و گزارش کردند که روش BLUP در ترکیب با نشانگرهای ریزماهواره، پیشگویی بهتری از عملکرد هیبریدهای دابل‌کراس ارائه می‌دهد. چن و همکاران (Chen et al., 2012) نیز اظهار

در ایران روند تولید بذر هیبرید ذرت مبتنی بر ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های ذرت با تست‌های مختلف، گروه‌بندی لاین‌های ذرت در گروه‌های هتروژیک و ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی تعدادی از لاین‌ها از گروه‌های مختلف می‌باشد. دهقان نیری و همکاران (Dehghan Naieri et al., 2005) با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره، ۴۶ اینبرد لاین ذرت را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج گروه‌بندی، دو لاین تجاری B73 و MO17 از دو گروه هتروژیک مجزا با یکدیگر تلاقی و هیبریدی با عملکرد بالا تولید شد. ایشان اظهار داشتند که نشانگرهای ریزماهواره قادر هستند چندشکلی بالایی را برای گروه‌بندی هتروژیک لاین‌ها نشان دهند و از این‌رو ابزار مفیدی برای انگشت‌نگاری ژنوتیب‌ها و گروه‌بندی لاین‌ها می‌باشند. پورساربان‌ی و همکاران (Poorsarebani et al., 2005) نیز با استفاده از نشانگر RFLP، ۶۳ لاین خالص ذرت را برای تعیین گروه‌های هتروژیک و شناسایی نشانگرهای آگاهی‌بخش برای صفات زراعی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دو گروه هتروژیک را شناسایی کردند که دو لاین موجود در دو گروه هتروژیک متفاوت بیش‌ترین میزان عملکرد را نشان دادند. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2006) به‌منظور کاربرد تجزیه خوشه‌ای در برآورد پایداری هیبریدهای ذرت، با بررسی تعدادی لاین خالص ذرت، به گروه‌بندی هتروژیک این لاین‌ها با استفاده از صفات مورفولوژیک پرداختند. چوگان (Choukan, 2006) در آزمایشی ۴۰ لاین ذرت را با ۵ تستر تلاقی داد و سپس با برآورد ترکیب‌پذیری خصوصی هر ترکیب، لاین‌های هتروژیک را گروه‌بندی کرد. بالاترین عملکرد هیبرید مربوط به تلاقی لاین‌های افتراقی از رقم سنتتیک دیررس K3615/2 با تستر MO17 بود. نتایج ایشان نشان داد که علاوه بر دو گروه هتروژیک موجود در ژرم‌پلاسم ایران، "لنکستر شور کراپ و رید یلو دنت"، می‌تواند دو گروه هتروژیک دیگر را نیز معرفی کرد. با توجه بررسی منابع علمی قابل دسترس، تا به امروز هیچ‌گونه تولید بذر هیبرید با عملکرد و پایداری بالا با استفاده از گروه‌بندی هتروژیک و روش BLUP در ایران گزارش نشده است.

در کشور آمریکا که یکی از بزرگترین تولیدکنندگان ذرت در دنیا می‌باشد، تولید بذر هیبرید با استفاده از روش BLUP انجام می‌شود (Bernardo, 1994, 1995a, b, 1996a, b, c, d, e, 1999, 2014). پیش‌بینی عملکرد

عملکرد بالایی داشتند، اما هیبرید H50 نه تنها با متوسط ۱۰/۵۰ تن در هکتار عملکرد مطلوبی را نشان داد، بلکه تعداد روز تا تاسل‌دهی و کاکل‌دهی کم‌تری نیز در مقایسه با ارقام هیبرید شاهد نشان داد، به این معنی که هیبرید H50 با وجود ویژگی مطلوب زودرسی، عملکرد نسبتاً بالایی نیز داشت. بنابراین، می‌توان این هیبرید را در آزمایشات ناحیه‌ای عملکرد مورد بررسی و ارزیابی قرار داد و احتمالاً آن را به‌عنوان یک رقم هیبرید جدید زودرس و با عملکرد مطلوب معرفی کرد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کند 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 می‌کند 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.

کردند که در دسترس بودن، ارزان و فراوان بودن نشانگرهای مولکولی به اصلاح‌گران این اجازه را می‌دهد که بهترین استفاده را برای به‌دست آوردن اطلاعات جهت پیش‌بینی عملکرد هیبریدها با روش BLUP انجام دهند. سمان و همکاران (Semagn *et al.*, 2012) نیز تنوع ژنتیکی لاین‌های ذرت را با نشانگرهای مولکولی SNP بررسی و روش BLUP را در پیش‌بینی عملکرد هیبریدها مفید ارزیابی کردند. کومبس و برناردو (Combs and Bernardo, 2013) در تحقیق دیگری اینبرد لاین‌های ذرت را بررسی و مشاهده کردند که پیش‌بینی عملکرد آنها با روش BLUP با داده‌های حاصل از روش کلاسیک که به‌صورت تجربی طی چندین سال به‌دست آمده، یکسان است. آن‌ها اظهار داشتند که استفاده از روش BLUP از هدررفت انرژی، زمان و سرمایه برای به‌دست آوردن هیبرید با عملکرد بالا جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش، هیبرید جدید حاصل از این تحقیق (H50: 1_4×18_2) در ارزیابی‌های منطقه ارومیه، عملکرد دانه بالاتری از سینگل‌کراس ۷۰۴ تولید کرد. با توجه به زودرسی این هیبرید در مقایسه با سینگل‌کراس ۷۰۴ که هیبرید غالب منطقه است، در صورت تایید نتایج در آزمایشات تکمیلی دیگر، می‌توان هیبرید H50 را به‌عنوان یک رقم جدید معرفی کرد. برای انجام آزمایش تکمیلی، هیبرید H50 در کنار هیبریدهای Simon، SC703 و SC704 به‌عنوان شاهد در کرج مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان داد که اگرچه ارقام هیبرید شاهد ۷۰۳، Simon و ۷۰۴ به‌ترتیب با متوسط تولید ۱۲/۶۳، ۱۲/۰۱ و ۱۰/۶۴ تن در هکتار

References

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., Hernandez, J. A. 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy* 7 (1): 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.
- Akhunov, E., Nicolet, C. and Dvorak, J. 2009. Single nucleotide polymorphism genotyping in polyploid wheat with the Illumina GoldenGate assay. *Theoretical and Applied Genetics* 119 (3): 507-517.
- Aranzana, M. J., Kim, S., Zhao, K., Bakker, E., Horton, M., Jakob, K., Lister, C., Molitor, J., Shindo, C., Tang, C. and Toomajian, C. 2005. Genome-wide association mapping in *Arabidopsis* identifies previously known flowering time and pathogen resistance genes. *PLoS Genet* 1 (5): e60.
- Balestre, M. V., Pinho, R. G. and Souza, J. C. 2010. Prediction of maize single cross performance by mixed linear models with microsatellite marker information. *Genetics and Molecular Research* 9: 1054-1068.

- Balestre, M. V., Pinho, R. G. and Souza, J. C. 2011.** Prediction of maize double-cross hybrids using the best linear unbiased prediction with microsatellite marker information. **Genetics and Molecular Research** 10 (1): 25-35.
- Bernardo, R. 1994.** Prediction of maize single-cross performance using RFLPs and information from related hybrids. **Crop Science** 34 (1): 20-25.
- Bernardo, R. 1995a.** Genetic models for predicting maize single-cross performance in unbalanced yield trial data. **Crop Science** 35: 141-147.
- Bernardo, R. 1995b.** Relationship between single-cross performance and molecular marker heterozygosity. **Theoretical and Applied Genetics** 83: 628-634.
- Bernardo, R. 1996a.** Testcross additive and dominance effects in best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. **Theoretical and Applied Genetics** 93: 1098-1102.
- Bernardo, R. 1996b.** Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. **Crop Science** 36: 50-56.
- Bernardo, R. 1996c.** Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance given erroneous inbred relationships. **Crop Science** 36: 862-866.
- Bernardo, R. 1996d.** Best linear unbiased prediction of the performance of crosses between untested maize inbreds. **Crop Science** 36: 872-876.
- Bernardo, R. 1996e.** Testcross selection prior to further inbreeding in maize: Mean performance and realized genetic variance. **Crop Science** 36: 867-871.
- Bernardo, R. 1999.** Marker-assisted best linear unbiased prediction of single-cross performance. **Crop Science** 39: 1277-1282.
- Bernardo, R. 2010.** Breeding for quantitative traits in plants. 2nd Edition. Stemma Press, Woodbury, MN. ISBN 978-0-9720724-1-0.
- Bernardo, R. 2014.** Genome-wide selection when major genes are known. **Crop Science** 54: 68-75.
- Chen, E. B., Lee, M. and Lamke, L. M. 2012.** Relationship of restriction fragment length polymorphisms to single-cross hybrid performance of maize. **Theoretical and Applied Genetics** 80: 273-280.
- Choukan, R. 2006.** Heterotic grouping of maize inbred lines based on specific combining ability with tester lines. **Seed and Plant Journal** 22 (3): 399-409. (In Persian with English Abstract).
- Combs, E. and Bernardo, R. 2013.** Genome-wide selection to introgress semidwarf maize germplasm into U.S. Corn Belt inbreds. **Crop Science** 53: 1427-1436.
- Coulondre, C., Miller, J. F., Farabaugh, P. J. and Gilbert, W. 1978.** Molecular basis of substitution hotspots in *Escherichia coli*. **Nature** 274: 775-780.
- Dehghanpour, Z. 2001.** Final report: Semi-final yield trail of early, very early and extremely early maturity of maize hybrids. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Dehghan Naieri, F., Abd-Mishani, S., Shakib, A. M., Seyede Tabatabaie, S. B. E. and Bankesaz, A. 2005.** Utilization of microsatellite markers for determining genetic relationships in maize inbred lines. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 36 (1): 43-49. (In Persian with English Abstract).
- Ganal, M. W., Durstewitz, G., Polley, A., Bérard, A., Buckler, E. S., Charcosset, A., Clarke, J. D., Graner, E. M., Hansen, M., Joets, J. and Le Paslier, M. C. 2011.** A large maize (*Zea mays* L.) SNP genotyping array: Development and germplasm genotyping, and genetic mapping to compare with the B73 reference genome. **PLoS One** 6 (12): e28334.
- Graner, A., Ludwig, W. F. and Melchinger, A. E. 1994.** Relationships among European barley germplasm: II. Comparison of RFLP and pedigree data. **Crop Science** 34: 1199-1205.
- Hallauer, A. R. 1990.** Methods used in developing maize inbreds. **Maydica** 35: 1-16.
- Hallauer, A. R. and Miranda, J. B. 1998.** Quantitative genetic in maize breeding. Iowa State University Press, Ames.
- Han, G. G., Vasal, S. K., Beck, D. L. and Elis, E. 1991.** Combining ability of inbred lines derives from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. **Maydica** 36: 57-64.
- Henderson, C. 1990.** Statistical methods in animal improvement: Historical overview. Advances in statistical methods for genetic improvement of livestock. Springer. pp: 2-14.
- Karimizadeh, R., Dehghani, H. and Dehghanpour, Z. 2006.** Using cluster analysis for stability of maize hybrids. **Journal of Crop Production and Processing** 10 (3): 337-348. (In Persian with English Abstract).
- Murray, M. G. and Thompson, W. F. 1980.** Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. **Nucleic Acids Research** 8 (19): 4321-4326.

- Pootakham, W., Jomchai, N., Ruang-Areerate, P., Shearman, J. R., Sonthirod, C., Sangsrakru, D., Tragoonrung, S. and Tangphatsornruang, S. 2015.** Genome-wide SNP discovery and identification of QTL associated with agronomic traits in oil palm using genotyping-by-sequencing (GBS). *Genomics* 105 (5-6): 288-95. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.02.002>.
- Poorsarebani, N., Pirseyedi, S. M., Mardi, M., Chogan, R., Babaeian, N. A., Mohammadi, S. A. and Ghareyazie, B. 2005.** Heterotic groups determination in maize inbred lines using morphological and molecular markers. 4th Iranian National Biotechnology Congress, Kerman, Iran. (In Persian).
- Semagn, K., Vanbessler, M., Vivek, B. S., Makumbi, D., Beyenr, Y., Stephen, M., Prasanna, B. M. and Warburton, M. L. 2012.** Molecular characterization of diverse CIMMYT maize inbred lines from eastern and southern Africa using single nucleotide polymorphic markers. *BMC Genomics* 13: 113. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-113>.
- Smith, J. S. C. and Smith, S. O. 1992.** Fingerprinting crop varieties. *Advances in Agronomy* 47: 85-129.
- Tajbakhsh, M., 1996.** Corn. Ahrar Publishers, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Terron, A., Preciade, E., Cordova, H., Mickelson, H. and Lopez, R. 1997.** Determinacion del patron heterico de 30 lineas de miazas derivadas del la poblacion 43 SR del CIMMYT. *Agronomía Mesoamericana* 8: 26-34. (In Spanish with English Abstract).
- Toms, R. M. Carlini-Garcia, L. A. and Garcia, A. A. F. 2005.** Comparison between molecular markers and diallel crosses in the assignment of maize lines to heterotic groups. *Maydica* 48: 63-73.
- Unterseer, S., Bauer, E., Haberer, G., Seidel, M., Knaak, C., Ouzunova, M., Meitinger, T., Strom, T. M., Fries, R., Pausch, H. and Bertani, C. 2014.** A powerful tool for genome analysis in maize: Development and evaluation of the high density 600k SNP genotyping array. *BMC Genomics* 15 (1): 823. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-823>.
- Warburton, M. L., Ribaut, J. M., Franco, J. and Crossa, J. 2005.** Genetic characterization of 218 elite CIMMYT maize inbred lines using RFLP markers. *Euphytica* 142: 97-106.
- Yu, Y., Wang, R., Shi, Y., Song, Y., Wang, T. and Li, Y. 2007.** Genetic diversity and structure of the core collection for maize inbred lines in China. *Maydica* 52: 181-194.
- Zhao, K., Aranzana, M. J., Kim, S., Lister, C., Shindo, C., Tang, C., Toomajian, C., Zheng, H., Dean, C., Marjoram, P. and Nordborg, M. 2007.** An arabidopsis example of association mapping in structured samples. *PLoS Genetics* 3: e4. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030004>.
- Ziaie Bidhendi, M., Choukan, R., Darvish, F., Mostafavi, K. and Majidi Hervan, E. 2012.** Classifying of maize inbred lines into heterotic groups using diallel analysis. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 6: 1159-1162.



(Research Article)

Heterotic grouping and prediction of hybrids performance in maize using SNP markers

Reza Darvishzadeh^{1*}, Iraj Bernousi² and Hadi Alipour³

Received: November 14, 2021

Accepted: February 19, 2022

Abstract

The production of hybrid cultivars is one of the most major maize breeding methods, which can be facilitated based on the heterotic grouping of genotypes. In this study, 93 maize inbred lines from different sources were grouped into two different heterotic groups based on SNP markers data. Then, six selected inbred lines from these two heterotic groups along with B73 MO17 as check inbred lines were crossed in a complete diallel crosses, and the grain yield of 64 produced hybrids were evaluated in a simple lattice design with three replications at the Urmia Tobacco Research Center, Urmia, West Azarbaijan province, Iran. Based on the grain yield of these F1 hybrids and the SNP markers data, grain yield of 1566 hybrids, which can be potentially produced from the cross of individuals of two heterotic groups, was predicted using a mixed linear model. The results showed that the hybrid H50 (1_4×18_2) had higher grain yield than the check hybrid SC704. Since this hybrid (H50) was early maturity compared to SC704 hybrid (as the predominant hybrid in the region), so if this result is confirmed in the other complementary experiments, it can be introduced as a new hybrid. In another complementary experiment, 13 superior hybrids of the current study including H4, H9, H10, H11, H17, H18, H38, H41, H42, H45, H47, H49 and H50 along with three check hybrids, Simon, SC703 and SC704, were re-evaluated under environmental conditions of Karaj region, Alborz province, Iran. The results showed that although the check hybrids SC703, Simon and SC704 had high yields with an average of 12.63, 12.01 and 10.64 ton/ha, respectively, however, H50 hybrid with an average of 10.50 ton/ha not only had a desirable grain yield, but also showed fewer days to tasseling and silking compared to the check hybrids. Therefore, H50 as the superior hybrid of this experiment is suggested for evaluation in the regional trials to introduce as a new early maturity and high-yielding hybrid.

Keywords: BLUP, Early maturity, Hybrid cultivars, Next generation sequencing

1. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3. Assist Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir