

Research Paper

Determining the Heterotic Groups of Selected Grain Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines using Morphological and Phenological Traits

Mahnaz Oroojloo¹, Sara Dezhsetan² , Behzad Ahmadi³, Mohammadreza Shiri⁴ and Ali Moghaddam⁴

- 1- Ph.D. Student of Genetic and Plant Breeding, Department of Plant Production & Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 2- Associate Professor., Department of Plant Production & Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, (Corresponding Author: sdezhsetan@uma.ac.ir)
- 3- Assistant Professor., Research Group on Maize and Forage Crops, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 4- Associate Professor., Research Group on Maize and Forage Crops, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 3 March, 2024

Accepted: 7 July, 2024

Extended Abstract

Background: The production of new hybrids with high production potential, adaptability to climatic conditions, resistance or tolerance to stresses, and stability in a wide range of environmental conditions have special importance to increase the yield per unit area. To avoid creating and evaluating a large number of crosses in maize breeding programs based on hybrid production, it is necessary to assign maize lines to heterotic groups. Considering that the heterotic groups have not been determined for the selected maize inbred lines in Iran, this research aims to investigate genetic diversity and determine the heterotic groups in the selected maize lines to make maximum use of heterosis for future breeding programs. Moreover, this research also seeks to classify the selected Iranian maize inbred lines into early, medium, and late ripening groups based on the phenological traits.

Methods: Aiming at producing hybrid maize and determining the heterotic groups in this research, 50 selected maize inbred lines produced in Seed and Plant Improvement Institute (SPII) were chosen and evaluated based on their kernel yields, and morphological and phenological traits in a randomized complete block design with three replications in the research field of the Seed and Plant Improvement Institute. Variance analysis and cluster analysis were performed using Ward's method and principal component analysis.

Results: In general, significant differences were observed between the traits studied in these selected maize inbred lines. The comparison of the average kernel yield of the inbred lines showed that the inbred line KE77008/1 (from the medium ripening group) produced the highest yield with 4.708 tons per hectare and the inbred line K615/1 (from the early ripening group) produced the lowest yield with 1.016 tons/ha. Moreover, the range of variation was significant for the kernel yield per hectare and other traits among these inbred lines. Therefore, high diversity was observed among the studied lines in terms of kernel yield and the other traits. Selected maize inbred lines based on the phenological traits were classified into three groups, early ripening (105.5-110 days), medium ripening (111-116 days), and late ripening (117.5-122 days). The yield range of the early group differed from 1.01 to 2.74 tons per hectare, the medium group from 1.18 to 3.09 tons per hectare (except for the medium ripening group containing the line KE77008/1 with a performance of 4.70 tons per hectare), and the late group from 1.21 to 3.28 tons per hectare. In genetic analysis, the low difference between the percentage of phenotypic and genotypic coefficients of variation of the traits showed less effects of environmental factors on these traits. The lowest difference was observed between the percentage phenotypic and genotypic coefficients of variation in days to physiological ripening (0.24) and ear height (0.94), which indicates the great effect of genetic factors on the control of these traits. The highest percentage genotypic coefficient of variation was obtained for kernel yield (31.77%), ear height (20.07%), percentage of cob wood (19.96%), the number of kernels per row (17.35%), and 1000-kernel weight (16.8%) traits. In this research, therefore, these traits are valuable in examining the genetic diversity and grouping of maize inbred lines. However, if



the percentage of the genetic variation coefficient is higher, more genetic diversity and less environmental influence are observed for that trait. Based on the results of the principal component analysis, the first component explained 25.67% of the total variation. In this component, the highest positive coefficients are attributed to the number of kernels per row (0.518), ear diameter (0.771), leaf number (0.718), plant height (0.668), cob diameter (0.607), ear height (0.50), and kernel moisture at harvest (0.563). The second component explained 19.22% of the total data variance. In this component, the largest positive coefficients belonged to 1000-kernel weight (0.723) and plant height (0.531) traits, and a negative factor coefficient belonged to the number of kernels per row (-0.755). Based on the results of clustering by Ward's method, the selected maize inbred lines were classified into six separate groups. The percentage of deviation from the total average was positive for the yield trait in the first and fourth groups. These two clusters based on the days to physiological ripening trait were medium ripening. The highest days to physiological ripening trait for the lines was recorded in the second cluster (late ripening), it was medium in the first, third, fourth, and sixth clusters (medium ripening), and the lowest value belonged to the fifth cluster (early ripening) compared to the other clusters. Furthermore, the distribution of the lines based on the first and second principle component analysis and cluster analysis were in significant agreement with each other.

Conclusion: In general, significant differences in yield and yield components were observed in this set of selected maize inbred lines. Also, a high level of genetic diversity was identified in kernel yield and morphological and phenological traits. Based on the evaluated traits, 50 selected maize inbred lines were generally classified into six groups. Additional investigations based on the produced single cross hybrids (KSC 704, KSC 647, KSC 604, KSC 700, KSC 703, KSC 705, KSC 706, KSC 500, and KSC 260) showed the correct classification of inbred lines and identification of heterotic groups. The heterotic group 5 identified in this study has not played a role in the production of famous single-cross hybrids. Therefore, it is worth paying attention to using the potential of the heterotic group 5 and the other inbred lines attributed to heterotic groups that have not played a role in the production of single-cross hybrids in the production of new hybrids.

Keywords: Heterotic Groups, Hybrid Production, Iranian Selected maize inbred lines, Morphological Traits, Phenological Traits

How to Cite This Article: Oroojloo, M., Dezhsetan, S., Ahmadi, B., Shiri, M.R., & Moghaddam, A. (2024). Determining the Heterotic Groups of Selected Grain Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines using Morphological and Phenological Traits. *J Crop Breed*, 16(4), 51-63. DOI: [10.61186/jcb.16.4.51](https://doi.org/10.61186/jcb.16.4.51)



مقاله پژوهشی

تعیین گروه‌های هتروتیک اینبرد لاین‌های برگزیده ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) با استفاده از صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی

مهناز عروجلو^۱، سارا دژستان^۲ ID، بهزاد احمدی^۳، محمدرضا شیرینی پیرایواتلو^۴ و علی مقدم^۴

- ۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسؤل: sdezhsetan@uma.ac.ir)
- ۳- استادیار، گروه تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (SPII)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران
- ۴- دانشیار، گروه تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (SPII)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

صفحه ۵۱ تا ۶۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تولید هیبریدهای جدید با پتانسیل تولید بالا، سازگاری به شرایط اقلیمی و مقاومت یا تحمل به تنش‌ها و پایداری در دامنه وسیعی از شرایط محیطی برای افزایش محصول در واحد سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در برنامه‌های به‌نژادی ذرت مبتنی بر تولید هیبرید به‌منظور اجتناب از ایجاد و ارزیابی تعداد زیاد تلاقی، انتساب لاین‌های ذرت به گروه‌های هتروتیک الزامی است. با توجه به اینکه گروه‌های هتروتیک برای لاین‌های اینبرد برگزیده ذرت در ایران مشخص نشده است، هدف از این تحقیق، بررسی تنوع ژنتیکی و تعیین گروه‌های هتروتیک در اینبرد لاین‌های برگزیده ذرت جهت بهره‌برداری حداکثری از هتروزیس برای برنامه‌های به‌نژادی آینده است. همچنین، یکی دیگر از اهداف این تحقیق، گروه‌بندی لاین‌های اینبرد برگزیده ذرت ایران براساس صفات فنولوژیکی به گروه‌های زودرس، متوسط‌رس و دیررس می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با هدف تولید هیبرید ذرت و تعیین گروه‌های هتروتیک، ۵۰ اینبرد لاین ذرت برگزیده تولید شده در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انتخاب شدند که بر اساس عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس، تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش Ward و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد.

یافته‌ها: به‌طور کلی نتایج نشان داد بین صفات مورد مطالعه در اینبرد لاین‌های ذرت برگزیده اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین‌ها نشان داد، اینبرد لاین KE77008/1 (از گروه متوسط‌رس) با ۴/۷۰۸ تن در هکتار بیشترین و اینبرد لاین K615/1 (از گروه زودرس) با ۱/۰۱۶ تن در هکتار کمترین عملکرد را داشتند. همچنین دامنه تغییرات برای عملکرد دانه و دیگر صفات در بین اینبرد لاین‌ها قابل توجه بود. بنابراین تنوع بالایی در بین اینبرد لاین‌های مورد مطالعه از نظر صفت عملکرد دانه و دیگر صفات مشاهده شد. اینبرد لاین‌های برگزیده ذرت بر اساس صفات فنولوژیکی به سه گروه زودرس (۱۰۵/۵ تا ۱۱۰ روز)، متوسط‌رس (۱۱۱ تا ۱۱۶ روز) و دیررس (۱۱۷/۵ تا ۱۲۲ روز) طبقه‌بندی شدند. دامنه عملکرد گروه زودرس از ۱/۰۱ تا ۲/۷۴ تن در هکتار، گروه متوسط‌رس از ۱/۱۸ تا ۳/۰۹ تن در هکتار (یک استثناء در گروه متوسط‌رس لاین KE77008/1 بود که دارای عملکرد ۴/۷۰ تن در هکتار بود) و گروه دیررس از ۱/۲۱ تا ۳/۲۸ تن در هکتار متغیر بود.

در تجزیه ژنتیکی، اختلاف کم بین درصد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفات نشان داد که عوامل محیطی روی این صفات تأثیر کمتری داشته‌اند. بین درصد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (۰/۲۴) و ارتفاع بلال (۰/۹۴) کمترین تفاوت مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل ژنتیکی روی کنترل این صفات است. صفات عملکرد دانه (۳۱/۷۷ درصد)، ارتفاع بلال (۲۰/۰۷ درصد)، درصد چوب بلال (۱۹/۹۶ درصد)، تعداد دانه در ردیف (۱۷/۳۵ درصد) و وزن هزار دانه (۱۶/۸ درصد) بالاترین درصد ضریب تغییرات ژنتیکی را داشتند. بنابراین در این پژوهش، در بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی اینبرد لاین‌های ذرت، این صفات با ارزش هستند. هرچقدر درصد ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر باشد، تنوع ژنتیکی بیشتری برای آن صفت در اینبرد لاین‌ها مشاهده می‌شود و تأثیرپذیری از محیط کمتر است.

بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول ۲۵/۶۷ درصد از کل تنوع را تبیین کرد. در این مؤلفه، ضرایب صفات تعداد ردیف دانه (۰/۵۱۸)، قطر بلال (۰/۷۷۱)، تعداد برگ (۰/۷۱۸)، ارتفاع بوته (۰/۶۶۸)، قطر چوب بلال (۰/۶۰۷)، ارتفاع بلال (۰/۵۰) و رطوبت دانه در زمان برداشت (۰/۵۶۳) مثبت بود. مؤلفه دوم ۱۹/۲۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را توجیه کرد. در این مؤلفه ضرایب صفات وزن ۱۰۰۰ دانه (۰/۷۲۳) و ارتفاع بوته (۰/۵۳۱) مثبت و ضریب تعداد ردیف دانه (۰/۷۵۵) منفی بود. بر اساس نتایج حاصل از گروه‌بندی خوشه‌ای به‌روش Ward، اینبرد لاین‌های ذرت برگزیده در شش گروه مجزا طبقه‌بندی شدند. فقط در گروه اول و چهارم درصد انحراف از میانگین کل برای صفت عملکرد مثبت بود. این دو خوشه براساس صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک متوسط‌رس بودند. میانگین صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای لاین‌ها در خوشه دوم در مقایسه با دیگر خوشه‌ها بالاترین (دیررس)، خوشه یک، سه، چهار و شش متوسط (متوسط‌رس) و در خوشه پنج کمترین (زودرس) بود. همچنین، پراکنش لاین‌ها بر اساس دو مؤلفه اول اصلی و تجزیه خوشه‌ای با یکدیگر مطابقت قابل توجهی داشتند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، در این مجموعه اینبردهای برگزیده ذرت مورد مطالعه، اختلافات معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد مشاهده شد. همچنین، سطح بالایی از تنوع ژنتیکی در عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی شناسایی گردید. به‌طور کلی، براساس صفات ارزیابی‌شده، ۵۰ اینبرد لاین ذرت برگزیده به شش گروه طبقه‌بندی شدند. بررسی‌های تکمیلی بر اساس هیبریدهای سینگل کراس تولیدشده (KSC 704، KSC 647، KSC 604، KSC 700، KSC 703، KSC 705، KSC 706، KSC 500 و KSC 260) نشان داد که گروه‌بندی لاین‌های اینبرد و شناسایی گروه‌های هتروتیک صحیح انجام شده است. در این بررسی، گروه هتروتیک ۵ شناسایی گردید که تاکنون در تولید هیبریدهای سینگل کراس معروف نقشی نداشته است. بنابراین، استفاده از پتانسیل گروه هتروتیک ۵ و دیگر لاین‌های اینبرد متناسب به گروه‌های هتروتیکی که تاکنون در تولید هیبریدهای سینگل کراس نقشی نداشته‌اند در تولید هیبریدهای جدید شایسته توجه هستند.

واژه‌های کلیدی: اینبرد لاین‌های ذرت برگزیده ایران، تولید هیبرید، صفات فنولوژیکی، صفات مورفولوژیکی، گروه‌های هتروتیک

مقدمه

فائو سطح زیر کشت و میانگین عملکرد دانه ذرت در ایران در سال ۲۰۲۳، به‌ترتیب ۱۸۶۰۰۰ هکتار و ۹۷۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAOSTAT Data, 2023). هدف اصلی

ذرت یکی از محصولات راهبردی و دومین غله مهم جهان بعد از گندم محسوب می‌شود. بر اساس آخرین آمار سازمان

برآورد قدرت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، خوشه‌بندی فنوتیپی و نشانگرهای مولکولی از جمله روش‌های تعیین گروه‌های هتروتیک در ذرت می‌باشند (Berlan, 2021). ارزیابی خصوصیات مورفولوژیک اولین قدم در توصیف، تشریح و دسته‌بندی مجموعه‌های ژرم‌پلاسمی است (Rehman et al., 2021). روش‌های مختلفی برای مطالعه تنوع ژنتیکی وجود دارد و از جمله مهمترین آن‌ها روش‌های آماری چند متغیره است که به‌طور همزمان از اطلاعات چندین صفت در کلیه افراد استفاده می‌شود. از روش‌های مختلف تجزیه چند متغیره، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مهمترین روش‌ها هستند که در بیان و تشریح تنوع ژنتیکی کاربرد زیادی دارند. در زمینه بررسی تنوع ژنتیکی، تجزیه خوشه‌ای اصولی‌ترین روش برای برآورد شباهت بین افراد در یک مجموعه ذخایر توارثی است (AL-Naggar et al., 2022). منکیر و همکاران (Menkir et al., 2004) براساس برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری برای عملکرد دانه ۲۳ لاین از ۳۸ لاین خویشاوند ارزیابی شده با استفاده از طرح تلاقی لاین در تستر را به دو گروه هتروتیک مجزا طبقه‌بندی کردند. همچنین، موسا و همکاران (Mosa et al., 2017) براساس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی از طریق تجزیه و تحلیل لاین در تستر، مجموعه‌ای از ۲۵ لاین والدینی ذرت مصری را به دو گروه هتروتیک مجزا طبقه‌بندی کردند، گروه اول (SK11) برای عملکرد دانه و گروه دوم (SK2) برای شاخص مقاومت به بیماری مناسب بود.

در حال حاضر، ارزیابی تنوع ژنتیکی براساس صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی و ارزیابی ارتباط ژنوتیپی در ژرم‌پلاسم ذرت، طبقه‌بندی آن‌ها را در گروه‌های هتروتیک مختلف تسهیل می‌کند. با توجه به اینکه، گروه‌های هتروتیک برای اینبرد لاین‌های ذرت برگزیده در ایران مشخص نشده است، هدف از این تحقیق، بررسی تنوع ژنتیکی و تعیین گروه‌های هتروتیک در اینبرد لاین‌های ذرت برگزیده جهت بهره‌برداری حداکثری از پدیده هتروزیس و تعیین گروه‌های رسیدگی در برنامه‌های به‌نژادی آینده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: در این تحقیق ۵۰ اینبرد لاین ذرت برگزیده تولیدشده در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کشت شدند (جدول ۱).

اصلاح گیاهان زراعی همچون ذرت، تولید ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری مناسب است. به‌دلیل وجود محدودیت آب و خاک و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی سنگین برای افزایش سطح زیر کشت، افزایش محصول در واحد سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mukri et al., 2022). تولید هیبریدهای جدید همانند تولید لاین‌ها یک فرایند متوالی است، هیبریدهای جدید باید دارای پتانسیل تولید بالا، سازگاری به شرایط اقلیمی و مقاومت یا تحمل به تنش‌ها باشند و برتری آن‌ها باید در دامنه وسیعی از شرایط محیطی ثابت بماند (Kumar et al., 2022). انتخاب والدین برای برنامه به‌نژادی ذرت مبتنی بر تولید هیبرید در بهره‌برداری از هتروزیس بسیار مهم است. برای استفاده از هتروزیس، گروه‌بندی هتروتیک و تعیین الگوهای هتروتیک مورد نیاز است (Melchinger & Gumber, 1998).

نظریه گروه هتروتیک یک مفهوم اساسی برای بهره‌برداری حداکثری از تنوع ژنتیکی موجود در ذرت است. توسعه گروه‌های هتروتیک و شناسایی الگوهای هتروتیک آن‌ها یک عامل مهم در اصلاح هیبرید ذرت می‌باشد. در اصلاح نباتات اصطلاحاً به مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌ها که در هنگام تلاقی با ژنوتیپ‌های سایر گروه‌های ژنتیکی متفاوت، قدرت ترکیب‌پذیری و واکنش مشابهی از خود نشان می‌دهند، یک گروه هتروتیک گفته می‌شود. از طرف دیگر یک الگوی هتروتیک، یک جفت گروه هتروتیک خاص از جمعیت‌ها یا لاین‌هایی هستند که در جریان تلاقی، هتروزیس بالا و در نتیجه عملکرد هیبرید زیادی نشان می‌دهند. لذا علم و آگاهی از گروه‌ها و الگوهای هتروتیک، در به‌نژادی ذرت یک امر بسیار اساسی است (Mackay et al., 2021). در ایران، ژرم‌پلاسم ذرت به چهار گروه هتروتیک به نام‌های لنکستر شور کراپ (LSC)، ریدیلودنت (RYD)، مصنوعی دیررس (Late Synthetic) و ژرم‌پلاسم CIMMYT طبقه‌بندی شده است. در کنار الگوی هتروتیک موفق جهانی $RYD \times LSC$ ، در ایران الگوهای $LSC \times CIMMYT$ و $Late \times RYD$ Synthetic نیز موفق بودند (Choukan et al., 2006; Shiri, 2017; Shiri & Ebrahimi, 2017). شناخت تنوع ژنتیکی اینبرد لاین‌ها در گروه‌های هتروتیک نه‌تنها برای بهره‌برداری کامل از هتروزیس مفید است بلکه از اتلاف وقت و نیروی کار در ایجاد و ارزیابی هیبریدهای نامطلوب جلوگیری می‌کند. تنوع ژنتیکی موجود، کلیدی برای ایجاد گروه‌های هتروتیک متفاوت ژنتیکی است که منجر به توسعه الگوهای هتروتیک برتر در ذرت می‌شود. استفاده از شجره،

جدول ۱- اسامی اینبرد لاین‌های ذرت مطالعه شده در این پژوهش

Table 1. The name of Maize inbred lines studied in this research		
Inbred lines	Inbred lines	Inbred lines
KE81027/4-2-1	KE78010/421	K1263/17
KE83001/4111	KE78011/61231	K1263/2-1
K2331	KE78011/61232	R319
K615/1	KE79017/3211	R59
K722	KE80001/5212	KE72012/12
OH43/1-42	KE80001/72111	KE75016/232
K1264/1	KE81015/211	KE75006/212
K3653/2	KE81015/521	KE77008/1
MO17	KE83008/2211	KE77005/3
B73	KE81009/311	KE77008/2
K3547/4	KE81009/511	KE78016/212
K3640/3	KE81010/521	KE78011/6112
K47/2-2-1-3-3-1-1-1	KE81015/1-1-1	KE78015/111
K74/1	KE81012/3-1-1	KE78005/511
K18	KE81027/4-4-3	KE78027/1113
K222	KE81027/3-1-1	KE78008/212
	KE81027/2-3-1-1	KE78011/6121

صفت مورفولوژیک انجام شد. کلیه آنالیزها با استفاده از نرم افزار SPSSV21 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای عملکرد دانه، ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، عمق دانه، روز کاکل دهی تا رسیدگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی داری بود. (جدول ۲)، بنابراین می توان از تنوع موجود در بین اینبرد لاین ها جهت پیشبرد برنامه های به نژادی در انتخاب لاین ها با عملکرد بالا استفاده نمود. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین ها نشان داد اینبرد لاین KE77008/1 (از گروه متوسط رس) با ۴/۷۰۸ تن در هکتار بیشترین و اینبرد لاین K615/1 (از گروه زودرس) با ۱/۰۱۶ تن در هکتار کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۳). همچنین دامنه تغییرات برای عملکرد دانه در بین اینبرد لاین ها قابل توجه بود. بنابراین تنوع بالایی در بین اینبرد لاین های مورد مطالعه از نظر صفت عملکرد دانه وجود داشت. درصد ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۳۱/۷۷ و ۳۳/۷۸ درصد بود. اختلاف کم بین درصد ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی حکایت از نقش قابل توجه عوامل ژنتیکی در کنترل عملکرد دانه است. از طرف دیگر بالا بودن واریانس ژنتیکی عملکرد دانه حاکی از وجود تنوع قابل قبول در بین اینبرد لاین ها برای اهداف اصلاحی است. همچنین وراثت پذیری عمومی برای عملکرد دانه ۰/۸۹ با انحراف معیار ۰/۶۴۷ برآورد شد.

بر اساس جدول ۳، اینبرد لاین های برگزیده ذرت بر اساس صفات فنولوژیکی به سه گروه زودرس (۱۰۵/۵ تا ۱۱۰ روز)، متوسط رس (۱۱۱ تا ۱۱۶ روز) و دیررس (۱۱۷/۵ تا ۱۲۲ روز) طبقه بندی شدند. دامنه عملکردی گروه زودرس از ۱/۰۱ تا ۲/۷۴، گروه متوسط رس از ۱/۱۸ تا ۴/۷۰ و گروه دیررس از ۱/۳۱ تا ۳/۲۸ تن در هکتار متغیر بود. در گروه متوسط رس یک لاین (KE77008/1) دارای عملکرد ۴/۷۰ بود. در گروه متوسط رس با لحاظ نکردن این لاین دامنه عملکردی از ۱/۱۸ تا ۳/۰۹ متغیر بود.

آماره های توصیفی صفات مورفولوژیکی

آماره های توصیفی اینبرد لاین های ذرت مورد مطالعه شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، واریانس فنوتیپی، واریانس ژنوتیپی، واریانس محیطی، درصد ضریب تغییرات فنوتیپی، درصد ضریب تغییرات ژنوتیپی و وراثت پذیری برای صفات عملکرد، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال، درصد چوب بلال، عمق دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد روز تا کاکل دهی، روز کاکل دهی تا رسیدگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). اختلاف کم بین درصد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفات نشان می دهد که عوامل محیطی روی صفات تأثیر کمتری داشته اند. کمترین تفاوت بین درصد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (۰/۲۴) و ارتفاع بلال (۰/۹۴) مشاهده شد که نشان دهنده تأثیر زیاد عوامل ژنتیکی روی کنترل این صفات است. به طور کلی با توجه به نتایج حاصله می توان گفت چون صفات عملکرد دانه (۳۱/۷۷)

عملیات زراعی: هر لاین در سه ردیف شش متری با فاصله ۷۵ سانتی متری از هم دیگر کشت شد و فاصله بوته ها روی ردیف ۱۸ سانتی متر در نظر گرفته شد. میزان کود اوره و فسفات آمونیوم بر اساس توصیه خاکشناسی، کل کود فسفاته و نیمی از کود اوره در زمان کاشت و نیمی دیگر در زمان ۷ برگه شدن ذرت به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی صفات مورد مطالعه: صفات زراعی مختلف از جمله عملکرد دانه (عملکرد دانه، بلال ها با ترازی حساس ۰/۰۵ توزین و سپس عملکرد بلال با درصد چوب بلال و رطوبت ۱۴ درصد تصحیح شد و میزان عملکرد دانه در هکتار (تن در هکتار) مشخص شد)، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، ارتفاع بوته، درصد چوب بلال، عمق دانه، وزن هزار دانه، رطوبت دانه در زمان برداشت (رطوبت ۱۴ درصد دانه می تواند معیار تعیین گروه رسیدگی باشد اما چون این صفت تحت کنترل ژنتیک و محیط است به عنوان یک صفت در نظر گرفته شده است. هرچند در تصحیح عملکرد نیز استفاده شده است)، ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، تعداد برگ، روز تا کاکل دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک اندازه گیری شدند. قبل از انجام تجزیه های آماری، ابتدا نرمال بودن توزیع داده ها به روش کولموگروف و اسمیرنوف مورد تأیید قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس داده ها و مقایسه میانگین لاین ها با استفاده از آزمون SNK، در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. برای برآورد واریانس ژنتیکی (رابطه ۱) و واریانس فنوتیپی (رابطه ۲) از امید ریاضی میانگین مربعات در جدول تجزیه واریانس استفاده شد:

$$\delta_g^2 = \frac{MS_g - MS_e}{r} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\delta_p^2 = \delta_g^2 + \delta_e^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه δ_g^2 واریانس خطا (محیطی)، MS_e در جدول تجزیه واریانس و r تعداد تکرار می باشد.

واریانس دارای مقیاس است. بنابراین، در صفات مختلف قابل مقایسه نیست ولی ضریب تغییرات بدون واحد بوده و قابل قیاس در صفات مختلف است. برای برآورد آماره های ضریب تغییرات ژنتیکی (رابطه ۳) و ضریب تغییرات فنوتیپی (رابطه ۴) صفات مورد ارزیابی از فرمول های زیر استفاده گردید.

$$C.V_g = \frac{\sqrt{\delta_g^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$C.V_p = \frac{\sqrt{\delta_p^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این روابط $\bar{x}$ میانگین کل داده ها برای صفت تحت بررسی است.

تجزیه چند متغیره: برای تجزیه خوشه ای ۱۵ صفت مورفولوژیکی با استفاده از روش Ward و بر اساس توان دوم فاصله اقلیدسی انجام شد. ابتدا داده های مورفولوژیکی استاندارد سازی شدند تا اثر مقیاس برطرف شود. سپس ماتریس فاصله های اقلیدسی محاسبه و تجزیه خوشه ای روی داده ها انجام شد. تجزیه به مؤلفه های اصلی نیز روی ۱۳

تعیین گروه‌های هتروژیک اینبرد لاین‌های برگزیده ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) ۵۶

تنوع ژنتیکی بیشتری برای آن صفت مشاهده می‌شود و تأثیرپذیری از محیط کمتر است. همچنین، در مطالعه واحد رضایی و همکاران (Vahed Rezaei *et al.*, 2020) برای صفت عملکرد دانه ذرت درجه فوق‌غالبیت برآورد گردید که تولید هیبرید برای دست‌یابی به بیشترین عملکرد دانه را در ذرت پیشنهاد می‌کند.

درصد، ارتفاع بلال (۲۰/۰۷ درصد)، درصد چوب بلال (۱۹/۹۶ درصد)، تعداد دانه در ردیف (۱۷/۳۵ درصد) و وزن هزاردانه (۱۶/۸ درصد) بالاترین درصد ضریب تغییرات ژنتیکی را داشتند (جدول ۴)، بنابراین، در این پژوهش، در بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی اینبرد لاین‌های ذرت این صفات با ارزش هستند. هرچقدر درصد ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر باشد،

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی اینبرد لاین‌های ذرت

ED	CD	KD	CW	M	KW	NL	PH	df	Source
10.66**	0.15 ^{ns}	2.08**	4.13 ^{ns}	0.57 ^{ns}	2.33 ^{ns}	1.87 ^{ns}	133.74**	2	تکرار
									Repeat
53.01**	18.2**	6.05**	55.04**	23.58**	7156.02**	5.77**	1264.39**	49	ژنوتیپ
									Genotype
3.81	1.7	0.7	3.6	1.95	291.16	0.55	49.12	98	خطا
									error
4.61	5.72	8.843	9.19	7.35	5.99	5.38	4.74		ضریب تغییرات
									Coefficient of variation

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی اینبرد لاین‌های ذرت

EH	DS	GF	DPM	KY	KR	KPR	df	Source
28.35**	0.32 ^{ns}	13.01**	9.24**	0.36**	0.02 ^{ns}	0.33 ^{ns}	2	تکرار
								Repeat
583.94**	42.28**	52.29**	60.27**	1.18**	19.69**	72.3**	49	ژنوتیپ
								Genotype
17.86	6.738	7.31	2.22	0.04	1.26	7.2	98	خطا
								error
6.17	4.173	5.31	1.32	10.50	7.23	10		ضریب تغییرات
								Coefficient of variation

**, *, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

عملکرد دانه تن در هکتار (KY) - تعداد ردیف دانه در بلال (KR) - تعداد دانه در ردیف بلال (KPR) - قطر بلال (mm) (ED) - قطر چوب بلال (mm) (CD) - عمق دانه (mm) (KD) - درصد چوب بلال (CW) - رطوبت دانه در زمان برداشت (M) - وزن ۱۰۰۰ دانه (KW) - تعداد برگ (NL) - ارتفاع بوته (PH) - ارتفاع بلال (EH) - روز تا کاکل (DS) - روز تا رسیدگی (GF) - روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)

**, *, ns: Significant levels at 1%, 5%, and non-significant

Kernel yield per hectare (KY), number of kernels row (KR), number of kernels per ear row (KPR), ear diameter (mm) (ED), cob diameter (mm) (CD), kernel depth (mm) (KD), percentage of cob wood (CW), kernel moisture at harvest (M), 1000 kernels weight (gr) (KW), number of leaves (NL), plant height (cm) (PH), ear height (cm) (EH), days to silking (DS), days to grain filing (GF), days to physiological maturity (DPM).

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار) و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در اینبرد لاین‌های ذرت

Table 3. Comparison mean of kernel yield (Tons per Hectare) and days to physiological maturity in Maize inbred lines

اسامی لاین‌ها	عملکرد	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	اسامی لاین‌ها	عملکرد	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک
Line names	Yield	Days to physiological maturity	Line names	Yield	Days to physiological maturity
KE77005/3	1.169op	105.5j	KE78011/61232	1.770h-o	112.5e-i
KE78010/421	1.522i-j	109.5ij	KE81009/511	1.696h-o	112e-i
K615/1	1.0162p	109ij	KE75006/212	2.152e-i	113.5e-i
KE78011/61231	1.382k-p	109ij	KE78016/212	1.183n-p	113e-i
KE81027/4-4-3	1.519i-j	109ij	KE81018/611	1.760h-o	113e-i
K722	1.521i-p	109ij	R319	2.164e-i	113e-i
KE78015/421	1.532i-p	109ij	KE72012/12	3.088bc	114.5d-g
KE78011/6121	1.574i-p	109ij	KE79017/3211	1.356j-p	114d-h
KE81027/3-1-1	1.586i-p	109 ^l	KE78011/6112	1.795h-n	114d-h
KE78005/511	1.621i-o	109ij	R59	2.0146f-j	114d-h
KE81015/1-1-1	1.796h-m	109 ^l	K3547/4	1.711h-o	115def
KE81015/521	2.016f-j	109 ^l	MO17	1.551i-p	116cde
KE78027/1113	2.140e-i	109ij	K3640/3	1.953g-k	116cde
KE81012/3-1-1	2.259d-h	109ij	B73	2.006f-j	116cde
K1263/17	2.709dc	109ij	KE75016/232	3.285b	117.5bcd
K1263/2-1	2.748dc	110.5ghi	K2331	1.415j-p	118bcd
KE81009/311	1.862h-l	110.5g-i	K3653/2	2.541def	118bcd
KE83008/2211	2.500d-g	110.5hi	K222	2.443d-g	119abc
KE78008/212	1.676h-o	110hi	KE81010/521	1.779h-o	120ab
K1264/1	1.695h-o	110hi	K18	2.139e-i	120ab
KE81015/211	1.953g-k	110hi	KE81027/4-2-1	1.219m-p	122a
KE80001/5212	1.833h-m	111f-i	KE83001/4111	1.274l-p	122a
K74/1	1.973g-k	111f-i	KE80001/72111	1.6493h-o	122a
OH43/1-42	1.992f-k	111 ^{l-i}	KE81027/2-3-1-1	1.840h-m	122a
KE77008/1	4.708a	111f-i	K47/2-2-1-3-3-1-1-1	2.568de	122a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Common lettered means indicate no statistically significant difference (at 5% probability level)

جدول ۴- آماره‌های توصیفی صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی مورد مطالعه در اینبرد لاین‌های ذرت

Table 4. Descriptive statistics of morphological and phenological trait studied in Maize inbred lines

صفات traits	میانگین mean	حداکثر maximum	حداقل minimum	انحراف معیار Standard error	واریانس ژنوتیپی Genotype variance	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	واریانس محیطی Environmental variance	درصد تغییرات ژنوتیپی Genotype variation %	درصد تغییرات فنوتیپی Phenotype variation %	وراثت پذیری heritability (h ²)
عملکرد دانه Kernel yield	1.19	5.14	0.93	0.65	0.38	0.42	0.05	31.77	33.78	0.89
تعداد ردیف دانه Kernel row	15.55	21.6	9.6	2.7	6.15	7.39	1.24	15.94	17.48	0.83
تعداد دانه در ردیف Kernel per row	26.88	44.4	14.2	5.34	21.75	28.83	7.09	17.35	19.98	0.75
قطر بلال (mm) ear diameter	42.3	57.59	28.58	4.48	16.35	20.3	3.95	9.56	10.65	0.81
قطر چوب بلال (mm) cob diameter	22.79	32.2	17.4	2.66	5.52	7.18	1.67	10.3	11.76	0.77
عمق دانه kernel depth	9.76	13.45	4.59	1.58	1.76	2.53	0.77	13.58	16.3	0.69
درصد چوب بلال percentage of cob wood	20.73	33.91	10.47	4.53	17.13	20.77	3.64	19.96	22.04	0.82
رطوبت دانه در زمان برداشت kernel moisture at harvest	18.98	27.7	13	3	7.22	9.14	1.92	14.16	15.93	0.7
وزن هزار دانه 1000-kernel weight	284.87	418.81	161.1	50.44	2290.19	2575.58	285.34	16.8	17.81	0.89
تعداد برگ leaf number	13.77	20.33	8.67	1.51	1.73	2.3	0.58	9.55	11.01	0.75
ارتفاع بوته plant height	147.8	189.8	90.6	21.21	404.53	455.34	5.82	13.61	14.44	0.89
ارتفاع بلال ear height	68.43	99.4	35	14.29	188.62	206.7	18.07	20.07	21.01	0.91
روز تا کاکل days to silking	62.20	76	38	4.28	11.89	18.5	6.61	5.54	6.92	0.64
روز کاکل تا رسیدگی days to grain filling	50.93	77	35	4.7	14.95	22.38	7.43	7.59	9.29	0.67
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک physiological ripening days to	113.13	122	104	4.62	19.3	21.67	2.37	3.88	4.12	0.89

خوشه دوم شامل ۵ اینبرد لاین (۲۲، ۳۴، ۴۹، ۳۶ و ۴۳) بودند. در این خوشه میانگین صفات دانه در ردیف، عمق دانه، درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، وزن هزاردانه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد روز تا کاکل‌دهی، کاکل‌دهی تا رسیدگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ارزشی بالاتر از میانگین کل داشتند. همچنین درصد انحراف از میانگین صفات عملکرد، ردیف دانه، قطر بلال، درصد چوب بلال و قطر چوب بلال ارزش منفی داشتند. بیشترین درصد انحراف از میانگین کل متعلق به صفت درصد رطوبت دانه در زمان برداشت ۲۱/۵۱ درصد بود و کمترین درصد انحراف از میانگین کل مربوط به صفت ردیف دانه با ۱۴/۸۷- درصد بود. قرار گرفتن دو لاین خواهری شماره ۴۳ و ۴۹ (لاین‌های MO17 و K18) در یک گروه حاکی از دقت خوب گروه‌بندی در این مطالعه بود. واکنش این لاین‌ها در این مطالعه و مطالعات قبلی مشابه با گروه رسیدگی متوسط‌سرس و دیررس بودند (Choukan et al., 2006). همچنین، این دو لاین که هر دو از گروه لنکستر شور کراپ هستند به‌عنوان تستر برای گزینش لاین‌های استخراجی برتر ذرت سیمیت نیز به‌کار برده شده‌اند (Shiri, 2017). میانگین صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای لاین‌ها در خوشه دوم در مقایسه با دیگر خوشه‌ها بالاترین بود و واکنش این لاین‌ها در این مطالعه و مطالعه قبلی (Choukan et al., 2006) مشابه با خوشه رسیدگی متوسط‌سرس و دیررس بودند.

خوشه سوم شامل ۱۱ اینبرد لاین (۳۷، ۴۵، ۱۵، ۱۹، ۱۸، ۱۶، ۱۷، ۲۳، ۴۱، ۱۴ و ۲۴) بود. در این خوشه صفاتی همچون تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق ارزشی بالاتر از میانگین کل داشتند. در حالیکه ارزش این خوشه برای بقیه صفات پایین‌تر یا در حد میانگین کل بود.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های مورفولوژیکی و فنولوژیکی

تجزیه خوشه‌ای یکی از متداول‌ترین روش‌های آماری چند متغیره برای تعیین گروه‌های هتروژیک می‌باشد. در این پژوهش از ۱۵ صفت مورفولوژیک و فنولوژیک برای خوشه‌بندی اینبرد لاین‌ها استفاده گردید. در این بررسی برای خوشه‌بندی اینبردها از تجزیه خوشه‌ای بر مبنای روش Ward و فاصله اقلیدسی استفاده شد (شکل ۱). دندروگرام به ۶ خوشه تقسیم گردید. برای مشخص نمودن میزان تأثیر هریک از صفات مورد بررسی در خوشه‌بندی اینبرد لاین‌ها، میانگین هر خوشه، انحراف از میانگین کل، درصد انحراف از میانگین کل و انحراف معیار برای هر کدام از صفات محاسبه و نتایج در جدول ۵ درج شده است. مشخصات خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای به‌قرار ذیل می‌باشد.

خوشه اول شامل ۱۱ اینبرد لاین (۲۷، ۲۸، ۴۶، ۲۵، ۴۴، ۵۰، ۲۹، ۴۲، ۴۷، ۴۰ و ۴۸) بود که میانگین عملکرد دانه این خوشه بعد از خوشه چهارم در رتبه دوم قرار داشت. اغلب اینبرد لاین‌های این خوشه عملکرد خوبی داشتند. میانگین این خوشه برای صفات عملکرد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، درصد چوب بلال، عمق دانه، درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، وزن هزاردانه، ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد روز تا کاکل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی بالاتر از میانگین کل خوشه‌ها بود. لذا ارزش این خوشه برای همه صفات به‌جز صفت تعداد روز تا کاکل تا رسیدگی فیزیولوژیک مثبت بود. قرارگیری لاین‌ها در این خوشه تا حد زیادی با خوشه‌بندی‌های قبلی و اطلاعات شجره‌ای مطابقت داشت به‌طوری‌که براساس مطالعه قبلی (Choukan et al., 2006) لاین‌های ۴۴، ۴۶، ۴۲، ۵۰، ۴۷ و ۴۸ در یک گروه قرار داشتند.

میانگین کل صفت وزن هزاردانه ارزش مثبت داشت. در حالیکه در بقیه صفات (عملکرد، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، درصد چوب بلال و قطر چوب بلال، رطوبت دانه در زمان برداشت، تعداد برگ، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، روز تا کاکل، کاکل تا رسیدگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) گروه ششم ارزش کمتر از میانگین کل را دارا بود و ارزش منفی داشتند. بیشترین درصد انحراف از میانگین در صفت درصد چوب بلال با ۷/۰۹ درصد مشاهده شد و کمترین درصد انحراف از میانگین کل در صفت ارتفاع بلال با ۲۵/۴۷- مشاهده گردید (شکل ۱ و جدول ۵).

در خوشه ۱، ۲ صفات روز تا کاکل و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بالاتر از میانگین کل بود. در خوشه ۳، ۵ و ۶ صفات روز تا کاکل و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک پایین‌تر از میانگین کل بود. در خوشه ۴ صفت روز تا کاکل پایین‌تر و صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بالاتر از میانگین کل بود. در کل براساس صفات فنولوژیک، خوشه ۲ دیررس، خوشه ۱، ۳، ۴ و ۶ متوسط رس و خوشه ۵ زودرس بود.

در خوشه چهارم، ۶ اینبرد لاین شماره (۴، ۷، ۳، ۶، ۳۵ و ۸) جای گرفتند. در این خوشه، صفت عملکرد دانه از نظر میانگین و درصد انحراف از میانگین کل بیشترین مقدار را داشت؛ اما صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه ارزشی کمتر از میانگین کل داشتند.

خوشه پنجم شامل ۸ اینبرد لاین (۲۶، ۳۱، ۱۲، ۳۲، ۱۳ و ۲۱) بود. در این خوشه میانگین صفات تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد برگ، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال ارزشی بالاتر از میانگین کل داشتند. در حالیکه ارزش این گروه برای بقیه صفات پایین‌تر یا در حد میانگین کل بود. همچنین درصد انحراف از میانگین صفات عملکرد دانه، تعداد ردیف دانه بلال، قطر بلال، درصد چوب بلال و قطر چوب بلال، رطوبت دانه در زمان برداشت، وزن ۱۰۰۰ دانه، روز تا کاکل، کاکل تا رسیدگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ارزش منفی داشتند. بیشترین درصد انحراف از میانگین در صفت تعداد دانه در ردیف بلال با ۱۳/۵۸ درصد مشاهده شد.

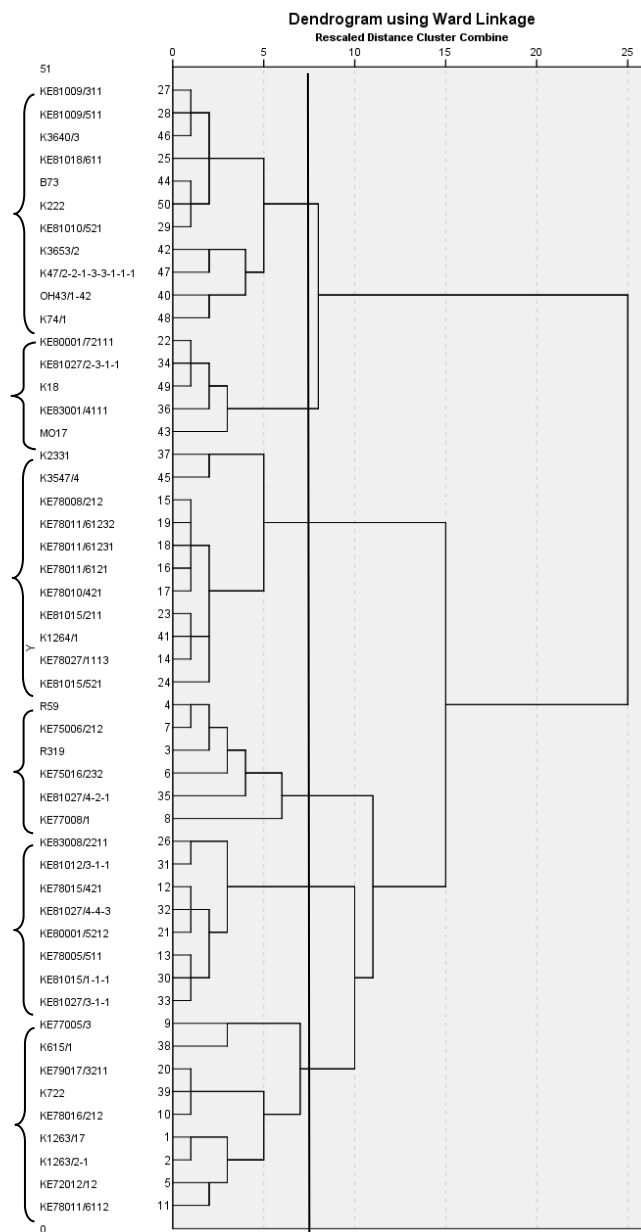
گروه ششم شامل ۹ اینبرد لاین (۹، ۳۸، ۲۰، ۳۹، ۱۰، ۱، ۲، ۵ و ۱۱) بود. در این گروه میانگین و درصد انحراف از

جدول ۵- میانگین گروه، انحراف از میانگین کل، درصد انحراف از میانگین کل و انحراف معیار صفات مورد ارزیابی در هر خوشه
Table 5. Mean of group, deviation from the overall mean, percentage of deviation from the overall mean and standard deviation of evaluated traits in each cluster

cluster	Parameters	DPM	GF	DS	EH	PH	NL	KW	M	CW	KD	CD	ED	KPR	KR	KY
1	Group mean	115.32	50.09	65.23	79.34	164.28	14.621	294.12	20.59	21.9	10.75	25.14	46.64	27.34	17.12	2.05
	Mean deviation	2.19	-0.84	3.027	10.90	16.47	0.85	9.25	1.61	1.19	0.99	2.365	4.34	0.46	1.63	0.12
	Mean deviation%	1.93	-1.65	4.87	15.93	11.14	6.15	3.26	8.46	5.76	10.14	10.35	10.26	1.70	10.46	6.15
	Standard deviation	4.06	4.17	2.47	8.88	15.09	1.44	28.70	1.36	2.19	1.23	2.47	3.74	3.71	2.17	0.32
2	Group mean	120.4	53.4	67	79.24	163.14	14.43	331.5	23.07	19.78	10.51	20.64	41.66	30.52	13.24	1.69
	Mean deviation	7.27	2.47	4.8	10.80	15.33	0.66	46.68	4.08	-0.95	0.75	-2.15	-0.65	3.41	-2.31	-0.24
	Mean deviation%	6.43	4.85	7.72	15.79	10.37	4.79	16.38	21.52	-4.56	7.67	-9.42	-1.53	13.54	-14.88	-12.54
	Standard deviation	2.61	3.59	2.15	7.53	6.21	0.32	26.70	2.66	4.26	0.96	2.29	2.52	4.50	1.98	0.32
3	Group mean	110.91	50.5	60.41	60.34	134.4	13.24	231.9	18.79	17.54	10.76	23.27	44.77	28.01	18.3	1.76
	Mean deviation	-2.22	-0.43	-1.79	-8.09	-13.43	-0.53	-53	-0.19	-3.19	0.99	0.49	2.47	1.13	2.74	-0.18
	Mean deviation%	-1.96	-0.84	-2.88	-11.82	-9.08	-3.85	-18.60	-1.02	-15.38	10.15	2.14	5.83	4.20	17.6	-9.15
	Standard deviation	3.023	3.12	3.15	7.38	11.38	1.09	30.66	2.49	4.21	0.93	1.46	1.40	3.26	1.21	0.274
4	Group mean	115.17	56.58	58.58	72.25	155.41	14	306.0	19.59	24.02	8.35	21.37	38.07	20.6	13.87	2.59
	Mean deviation	2.037	5.65	-3.62	3.81	7.61	0.23	21.16	0.61	3.29	-1.40	-1.42	-4.23	-6.28	-1.69	0.66
	Mean deviation%	1.80	11.10	-5.81	5.57	5.15	1.64	7.43	3.195	15.87	-14.42	-6.23	-10.01	-23.36	-10.84	34.00
	Standard deviation	3.96	4.21	4.14	5.08	8.30	1.18	65.68	2.39	5.64	0.82	0.73	1.92	3.73	2.18	1.23
5	Group mean	109.5	48.07	61.43	73.92	157.58	14.12	268.25	16.19	18.34	9.13	21.57	39.83	30.53	14.34	1.84
	Mean deviation	-3.63	-2.86	-0.77	5.49	9.77	0.35	-16.63	-2.79	-2.39	-0.63	-1.21	-2.48	3.65	-1.21	-0.1
	Mean deviation%	-3.21	-5.61	-1.24	8.02	6.61	2.51	-5.84	-14.71	-11.53	-6.49	-5.33	-5.87	13.58	-7.79	-5.02
	Standard deviation	0.87	1.90	1.81	13.26	9.07	0.89	26.6	1.6	3.53	0.79	1.03	1.99	5.78	1.15	0.39
6	Group mean	110.94	49.78	61.17	51	121.4	12.33	299.31	17.31	22.2	8.46	22.27	39.19	24.19	13.88	1.84
	Mean deviation	-2.19	-1.15	-1.03	-17.43	-26.41	-1.44	14.43	-1.67	1.47	-1.3	-0.52	-3.12	-2.68	-1.68	-0.09
	Mean deviation%	-1.93	-2.26	-1.66	-25.48	-17.87	-10.45	5.07	-8.82	7.09	-13.31	-2.28	-7.37	-9.99	-10.78	-4.67
	Standard deviation	3.1	3.80	2.78	10.4	16.79	1.67	50.42	1.39	4.59	1.10	2.98	4.03	3.62	1.67	0.79

Group mean: میانگین گروه، Mean deviation: انحراف از میانگین کل، Mean deviation%: درصد انحراف از میانگین کل و Standard deviation: انحراف معیار عملکرد دانه تن در هکتار (KY) - تعداد ردیف دانه در بلال (KR) - تعداد دانه در ردیف بلال (KPR) - قطر بلال (mm) (ED) - قطر چوب بلال (mm) (CD) - عمق دانه (mm) (KD) - درصد چوب بلال (CW) - رطوبت دانه در زمان برداشت (M) - وزن ۱۰۰۰ دانه (KW) - تعداد برگ (NL) - ارتفاع بوته (PH) - ارتفاع بلال (EH) - روز تا کاکل (DS) - روز کاکل تا رسیدگی (GF) - روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)

Kernel yield per hectare (KY), number of kernel row (KR), number of kernels per ear row (KPR), ear diameter (mm) (ED), cob diameter (mm) (CD), kernel depth (mm) (KD), percentage of cob wood (CW), kernel moisture at harvest (M), 1000 kernels weight (gr) (KW), number of leaves (NL), plant height (cm) (PH), ear height (cm) (EH), days to silking (DS), days to grain filing (GF), days to physiological ripening (DPM).



شکل ۱- خوشه‌بندی ۵۰ اینبرد لاین ذرت بر اساس صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی
Figure 1. Clustering of inbred maize lines based on morphological and phenological traits

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های چند متغیره آماری جهت کم نمودن حجم داده‌ها، تعیین روابط بین دو تا چند متغیر و توجیه تغییرات کل داده‌های اصلی و اولیه به‌وسیله تعداد محدودی از متغیرهای جدید مستقل به‌نام مؤلفه‌ها می‌باشد. نتایج مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جدول ۸ نشان داده شده است. برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مقدار عددی KMO برای کفایت مدل تجزیه ۱۳ صفت محاسبه گردید. مقدار KMO برای این تحقیق برابر ۰/۵۱۱ حاکی از کفایت مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بود. برای ۱۳ صفت تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد که چهار مؤلفه اول مقادیر ویژه بزرگتر از یک داشتند، در

مجموع ۶۸/۸۴ درصد از تنوع بین داده‌ها را توجیه کردند. مؤلفه اول خصوصیات مورفولوژیکی و فنولوژیکی، به‌تنهایی ۲۵/۶۷ درصد از کل تنوع را تبیین کرد. در این مؤلفه، بزرگترین ضرایب مثبت به صفات تعداد ردیف دانه (۰/۵۱۸)، قطر بلال (۰/۷۷۱)، تعداد برگ (۰/۷۱۸)، ارتفاع بوته (۰/۶۶۸)، قطر چوب بلال (۰/۶۰۷) و رطوبت دانه در زمان برداشت (۰/۵۶۳) تعلق داشت. مؤلفه دوم ۱۹ درصد از کل واریانس داده‌ها را توجیه کرد. در این مؤلفه بزرگترین ضرایب مثبت به‌ترتیب متعلق به صفات وزن ۱۰۰۰ دانه (۰/۷۲۳) و ارتفاع بوته (۰/۵۳۱) و ضرایب منفی متعلق به تعداد ردیف دانه (۰/۷۵۵) بود. مؤلفه سوم ۱۳ درصد از کل تنوع را توجیه نمود. در این مؤلفه صفت درصد چوب بلال (۰/۶۷۹) داری

نمودار پراکنش اینبرد لاین‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم (شکل ۲) نشان داد که پراکنش لاین‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و تجربه خوشه‌ای با یکدیگر مطابقت قابل توجهی داشتند.

ضریب مثبت بالاتر از ۰/۵ و تعداد دانه در ردیف (۰/۶۴۹-) دارای ضریب منفی بود. مؤلفه چهارم تنها ۱۰ درصد از کل واریانس داده‌ها را توجیه نمود. در این مؤلفه، بزرگترین ضریب مثبت متعلق به صفت روز تا کاکل (۰/۵۳۱-) بود و ضریب منفی متعلق به صفت ارتفاع بلال (۰/۷۲۰-) بود (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورد مطالعه اینبرد لاین‌های ذرت

Table 6. Principal Component Analysis for the studied traits in maize inbred lines

صفات	مؤلفه اول First factor	مؤلفه دوم Second factor	مؤلفه سوم Third Factor	مؤلفه چهارم fourth factor
عملکرد دانه Kernel yield	0.099	0.191	0.164	-0.452
تعداد ردیف دانه Kernel row	0.518	-0.755	0.190	0.136
تعداد دانه در ردیف Kernel per row	0.259	-0.337	-0.649	0.154
قطر بلال (mm) ear diameter	0.771	-0.489	0.108	0.077
قطر چوب بلال (mm) cob diameter	0.607	-0.429	0.472	-0.024
درصد چوب بلال percentage of cob wood	0.188	0.341	0.679	-0.305
رطوبت دانه در زمان برداشت kernel moisture at harvest	0.563	0.160	0.269	-0.338
وزن هزار دانه 1000-kernel weight	0.050	0.723	0.071	-0.104
تعداد برگ leaf number	0.718	0.236	-0.129	0.217
ارتفاع بوته plant height	0.668	0.531	-0.247	0.164
ارتفاع بلال ear height	0.501	0.111	-0.269	-0.720
روز تا کاکل days to silking	0.093	0.390	0.449	0.531
روز کاکل تا رسیدگی days to grain filling	0.19	-0.06	0.175	-0.098
مقادیر ویژه Eigent values	3.337	2.499	1.746	1.367
درصد واریانس Variances%	25.672	19.223	13.428	10.518
درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage	25.672	44.895	58/323	68.841

همبستگی بین صفات مورفولوژیکی

برای بررسی همبستگی بین داده‌های حاصل از صفات در لاین‌های مورد مطالعه از تجزیه همبستگی پیرسون استفاده شد. در جدول ۷ همبستگی بین ۱۳ صفت نشان داده شده است. طبق نتایج حاصل از تجزیه همبستگی، ضریب همبستگی مثبت معنی‌دار بین صفات قطر بلال و تعداد ردیف دانه در بلال ($r=0/747^{**}$)، بین صفات وزن هزاردانه و تعداد ردیف دانه ($r=0/563^{**}$) و بین صفات قطر چوب بلال و قطر بلال ($r=0/757^{**}$)، بین صفات قطره چوب بلال و تعداد ردیف دانه در بلال ($r=0/657^{**}$) و بین ارتفاع بوته با تعداد برگ ($r=0/519^{**}$) به‌دست آمدند. همچنین بیشترین ضریب همبستگی در بین صفات ارتفاع بلال و ارتفاع بوته ($r=0/85^{**}$) مشاهده گردید. همچنین بین صفات روز تا کاکل و درصد رطوبت دانه در زمان برداشت ($r=0/537^{**}$) وجود داشت.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، در این مجموعه اینبردهای برگزیده ذرت مورد مطالعه، اختلافات معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد مشاهده شد. این تنوع در انتساب لاین‌ها به گروه‌های هتروتیک مناسب سودمند است. اینبرد لاین‌های برگزیده ذرت ایران براساس صفات فنولوژیکی به سه گروه زودرس،

متوسط‌رس و دیررس طبقه‌بندی شدند. همچنین، تفاوت کم بین درصد ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی نشان‌دهنده تأثیر محدود عوامل محیطی بر صفات است. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین‌ها نشان داد اینبرد لاین KE77008/1 (از گروه متوسط‌رس) با ۴/۷۰۸ تن در هکتار بیشترین و اینبرد لاین K615/1 (از گروه زودرس) با ۱/۰۱۶ تن در هکتار کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۳). لازم به ذکر است عملکرد لاین به‌تنهایی ملاک قابل اعتمادی برای پیش‌بینی عملکرد هیبرید(های) منتج از آن نمی‌باشد و همبستگی بین عملکرد لاین و هیبرید پایین است، زیرا در تولید هیبرید فوق‌غالبیت و هتروزیس والد برتر حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال لاین k615/1 با وجود عملکرد دانه پایین در ترکیب یکی از بهترین هیبریدهای تجاری زودرس KSC 260 وجود دارد (Dehghanpour et al., 2009).

در این پژوهش، تأثیر عوامل محیطی بر صفت عملکرد اندک بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه اول به‌تنهایی ۲۵/۶۷ درصد از کل تنوع را تبیین کرده است. بر اساس این مؤلفه، قطر بلال، تعداد برگ، ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، قطر چوب بلال، رطوبت دانه در زمان برداشت و تعداد ردیف دانه در بلال از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بهبود عملکرد محصول بودند. مؤلفه دوم ۱۹ درصد از کل واریانس داده‌ها را

است (Dehghanpour et al., 2009). لاین اینبرد K1264/5-1 از شجره K1264 می‌باشد.

بنابراین، بررسی‌های تکمیلی براساس هیبریدهای سینگل کراس تولید شده نشان می‌دهد که گروه‌بندی لاین‌های اینبرد و شناسایی گروه‌های هتروتیک صحیح انجام شده است. در این بررسی، گروه هتروتیک ۵ شناسایی گردید که تاکنون در تولید هیبریدهای سینگل کراس معروف نقشی نداشته است. بنابراین استفاده از پتانسیل گروه هتروتیک ۵ و دیگر لاین‌های اینبرد متناسب به گروه‌های هتروتیکی که تاکنون در تولید هیبریدهای سینگل کراس نقشی نداشته‌اند در تولید هیبریدهای جدید شایسته توجه است.

همچنین، از پتانسیل گروه‌های هتروتیکی ۱ و ۲ به‌طور قابل توجه و گروه‌های هتروتیکی ۳، ۴ و ۶ تا حدودی در تولید هیبریدهای مطلوب بخش کشاورزی استفاده شده است.

در کل، پراکنش لاین‌ها براساس دو مؤلفه اول اصلی و تجزیه خوشه‌ای با یکدیگر مطابقت قابل توجهی داشتند.

زمانی که تعداد لاین‌های اینبرد و یا هر ماده ژنتیکی زیاد است به‌نژادگر ذرت نمی‌تواند از عهده تلاقی‌های دی‌الل برآید و یا نمی‌تواند از تعداد زیاد تستر برای غربال لاین‌ها استفاده کند. شیرینی و ابراهیمی (Shiri & Ebrahimi, 2017) در بررسی ترکیب‌پذیری هفت لاین استخراجی از ژرم‌پلاسما ذرت سیمیت با چهار تستر محلی معتدله همبستگی بسیار معنی‌دار بین عملکرد خانواده‌های نانتی حاصل از چهار تستر به‌دست آوردند و نتیجه‌گیری کردند که می‌توان با یک تستر ارزیابی مقدماتی برای تعداد زیاد مواد ژنتیکی انجام داد. شیرینی (Shiri, 2017) با استفاده از روش لاین × تستر، چهار تستر مناطق معتدله ذرت را با ۱۳ لاین استخراجی از ژرم‌پلاسما ذرت سیمیت تلاقی داد و با بررسی ۵۲ تلاقی حاصل به‌همراه دو هیبرید شاهد نتیجه گرفت که به‌کارگیری یک تستر توانایی تفکیک لاین‌های برتر (نه همه آن‌ها) را دارد، هرچند که استفاده از دو تستر به‌طور هم‌زمان خطر عدم انتخاب یک لاین برتر را به‌میزان زیادی کاهش می‌دهد. شیرینی و همکاران (Shiri et al., 2021) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. نیلسون و گودمن (Nelson & Goodman, 2008) نیز با انجام غربال‌گری گسترده مواد ژنتیکی برگزیده از دو گروه هتروتیک مهم آمریکا، اعلام کردند که یک تستر توانایی حذف تعداد زیادی از مواد ژنتیکی ضعیف را دارد. فان و همکاران (Fan et al., 2010) ۲۵ لاین استخراجی از ژرم‌پلاسما مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای سیمیت را در تلاقی با چهار تستر مناطق معتدله در مناطق معتدل چین، ارزیابی و اعلام کردند که یک تستر توانایی تفکیک لاین‌های برتر را دارد، ولی استفاده از دو تستر باعث انتخاب همه لاین‌های برتر می‌شود.

بنابراین، برای ارزیابی دقیق قابلیت ترکیب‌پذیری لاین‌های گروه‌بندی شده در گروه‌های هتروتیک توصیه می‌گردد از روش لاین × تستر قدرت ترکیب‌پذیری این شش گروه هتروتیک با استفاده از دو تستر بررسی شود.

توجیه کرد. در این مؤلفه بزرگترین ضرایب مثبت به‌ترتیب متعلق به صفات وزن ۱۰۰۰ دانه و ارتفاع بوته و ضرایب منفی متعلق به تعداد ردیف دانه بود.

براساس صفات ارزیابی شده، ۵۰ اینبرد لاین ذرت برگزیده به شش گروه هتروتیکی طبقه‌بندی شدند. سه تستر مناطق معتدله MO17، B73، K1264/5-1 از سه گروه هتروتیک متفاوت (لاین MO17 از گروه لنکستر شورکراپ، لاین B73 از گروه ریدیلودنت و لاین K1264/5-1 از گروه منابع ناشناخته داخلی (Choukan et al., 2006) هستند که در این پژوهش، MO17 در گروه هتروتیک ۲، B73 در گروه هتروتیک ۱ و K1264/1 از شجره K1264 در گروه هتروتیک ۳ قرار داشتند.

در گروه هتروتیک ۱، B73 و در گروه هتروتیک ۲، دو لاین خواهری MO17 و K18 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (KSC 704) از تلاقی MO17 ♀ × B73 ♂ حاصل شده است (Dehghanpur, 2014).

در گروه هتروتیک ۱، K47/2-2-1-3-3-1-1-1 و در گروه هتروتیک ۲، دو لاین خواهری MO17 و K18 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ (KSC 703) از تلاقی MO17 ♀ × K47/2-2-1-3-3-1-1-1 ♂ حاصل شده است (Choukan et al., 2014).

در گروه هتروتیک ۳، K1264/1 قرار دارد. هیبرید سینگل کراس ۶۴۷ (KSC 647) از تلاقی B73 ♀ × K1264/1 ♂ حاصل شده است (Dehghanpur, 2014).

در گروه هتروتیک ۶، K722 قرار دارد. هیبرید سینگل کراس ۶۰۴ (KSC 604) از تلاقی B73 ♀ × K722 ♂ حاصل شده است (Dehghanpur, 2014).

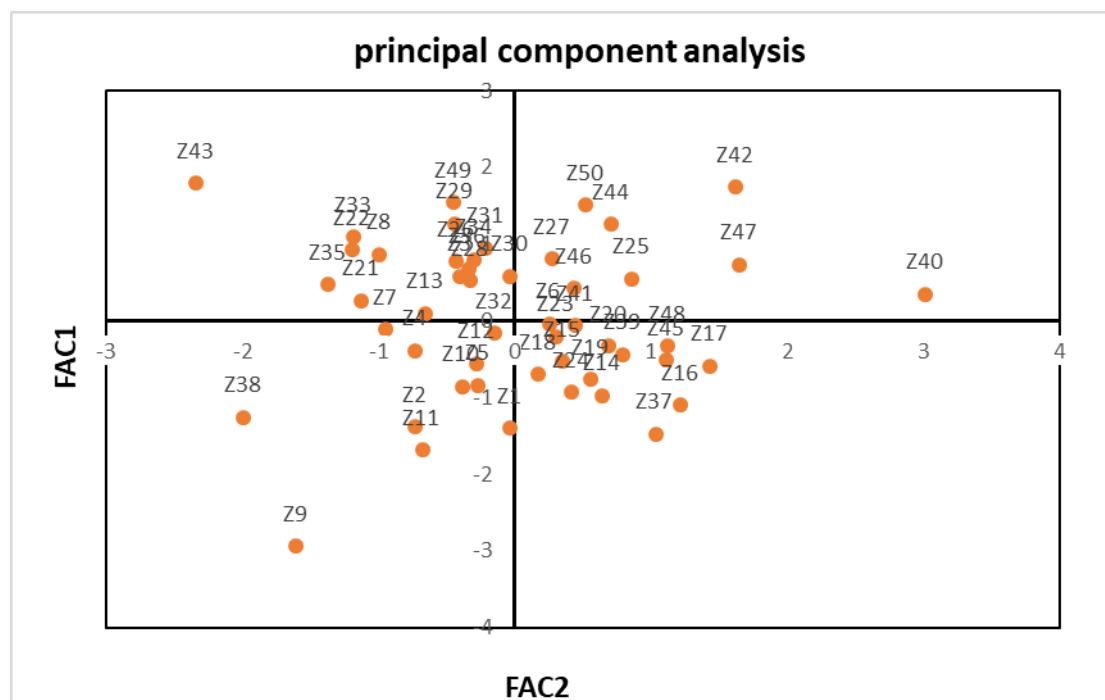
در گروه هتروتیک ۱، K74/1 و در گروه هتروتیک ۲، دو لاین خواهری MO17 و K18 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۷۰۰ (KSC 700) از تلاقی K18 ♀ × K74/1 ♂ حاصل شده است (Dehghanpur, 2014).

در گروه هتروتیک ۳، K3547/4 و در گروه هتروتیک ۲، دو لاین خواهری MO17 و K18 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۷۰۶ (KSC 706) از تلاقی K3547/4 ♀ × MO17 ♂ حاصل شده است (Choukan et al., 2013).

در گروه هتروتیک ۸، K3640/3 و در گروه هتروتیک ۲، دو لاین خواهری MO17 و K18 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۷۰۵ (KSC 705) از تلاقی K3640/3 ♀ × MO17 ♂ حاصل شده است (Sabzi et al., 2013).

در گروه هتروتیک ۱، OH43/1-42 و در گروه هتروتیک ۴، R59 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۵۰۰ (KSC 500) از تلاقی OH43/1-42 ♂ × R59 ♀ حاصل شده است (Dehghanpur, 2014).

در گروه هتروتیک ۶، K615/1 و در گروه هتروتیک ۳، K1264/1 قرار دارند. هیبرید سینگل کراس ۲۶۰ (KSC 260) از تلاقی K615/1 ♂ × K1264/5-1 ♀ حاصل شده است.



شکل ۲- نمودار بای‌پلات مؤلفه اصلی اول و دوم حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در ۵۰ اینبرد لاین ذرت
Figure 2. Scatter plot of the first and second factors of principal component analysis in 50 maize inbred lines

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی

GF	DS	EH	PH	NL	KW	M	CW	CD	ED	KPR	KR	Y	traits
												1	Y
											1	-0.03	KR
										1	0.2	-0.1	KPR
									1	0.34**	0.75**	0.08	ED
								1	0.76**	0.02	0.65**	0.01	CD
							1	0.33*	0.01	-0.42**	-0.11	0.01	CW
						1	0.24	0.2	0.29*	-0.09	0.22	0.02	M
					1	0.05	0.29*	-0.1	-0.13	-0.16	0.56**	0.13	KW
				1	0.13	0.28	0.14	0.18	0.43	0.19	0.18	0.12	NL
			1	0.52	0.34**	0.25	0.12	0.12	0.22	0.12	-0.05	0.15	PH
		1	0.85**	0.6**	0.17	0.24	-0.001	0.08	0.21	0.15	0.01	0.04	EH
	1	0.31	0.31*	0.24	0.12	0.53**	0.1	0.11	0.23	0.15	0.03	-0.09	DS
1	-0.37**	0.1	0.2	0.17	0.18	0.3*	0.19	-0.003	-0.09	-0.19	-0.07	0.16	GF

References

- AL-Naggar, A. M. M., Soliman, A. M., Hussein, M. H., & Mohamed, A. M. H. (2022). Genetic diversity of maize inbred lines based on morphological traits and its association with heterosis. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 54(3), 589–597. <https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.11>
- Berlan, J. P. (2021). Hybrid corn beyond heterosis: reading George Shull's hybrid corn articles (1908–1909). *Journal of Genetics*, 100(2), 72. <https://doi.org/10.1007/s12041-021-01325-y>
- Choukan, R., Hossainzadeh, A., Ghannadha, M. R., Warburton, M. L., Talei, A. R., & Mohammadi, S. A. (2006). Use of SSR data to determine relationships and potential heterotic groupings within medium to late maturing Iranian maize inbred lines. *Field Crops Research*, 95(2–3), 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.02.011>
- Choukan, R., Najafinejad, H., Estakhr, A., Afsharmanesh, G. R., Shirkhani, A., Afarinesh, A., Shiri, M. R., Najafinejad, H., Farghei, S., Darkhal, H., Zamani, M., Khavari Khorasani, S., Rafiei, M., Anvari, K., Haddadi, M. H., & Ghasemei, S. (2014). KSC 703, a New Maize Hybrid, with High Yielding and Wide Adaptability. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 2(4), 189–298. <https://doi.org/10.22092/RAFHC.2013.100152>
- Choukan, R., Shirkhani, A., Afsharmanesh, G. R., Estakhr, A., Sabzi, M. H., Darkhal, H., Najafinejad, H., Shiri, M. R., Afarinesh, A., Barzegari, M., Khavari Khorasani, S., Mosavat, A., Haddadi, H., Anvari, K., Zamani, M., & Moeini, R. (2013). Maize New High Yielding Hybrid KSC 706. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 2(3), 241–251.
- Dehghanpour, Z., Sabzi, M., Mozayan, A., Hasanazadeh Moghadam, H., Estakhr, A., Zamani, M., Sadeghi, F., Normohamadi, S., & Mohseni, M. (2009). Fajr, a new early maturity grain maize hybrid (KSC 260). *Seed and Plant Journal*, 25(2), 361–363.
- Dehghanpur, Z. (2014). *Instructions of planting, had and harvest in corn*. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).

- Fan, X. M., Zhang, Y. D., Liu, L., Chen, H. M., Yao, W. H., Kang, M., & Yang, J. Y. (2010). Screening tropical germplasm by temperate inbred testers. *Maydica*, 55, 55–63.
- FAOSTAT data. (2023). *Food and Agriculture Organization Statistics*.
- Kumar, P., Longmei, N., Jat, B., Choudhary, M., Yathish, K., Bhushan, B., Goyal, M., & Rakshit, S. (2022). Heterotic grouping of Indian baby corn lines based on combining ability. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 82(02), 161–166. <https://doi.org/10.31742/IJGPB.82.2.4>
- Mackay, I. J., Cockram, J., Howell, P., & Powell, W. (2021). Understanding the classics: the unifying concepts of transgressive segregation, inbreeding depression and heterosis and their central relevance for crop breeding. *Plant Biotechnology Journal*, 19(1), 26–34. <https://doi.org/10.1111/pbi.13481>
- Melchinger, A. E., & Gumber, R. K. (1998). *Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops* (K. R. Lamkey & J. E. Staub (Eds.); pp. 29–44). CSSA Special Publications.
- Menkir, A., Melake-Berhan, A., The, C., Ingelbrecht, I., & Adepoju, A. (2004). Grouping of tropical mid-altitude maize inbred lines on the basis of yield data and molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(8), 1582–1590. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1585-0>
- Mosa, H., Abo El-Hares, S., & Hassan, M. (2017). Evaluation and classification of Maize inbred lines by line X tester analysis for grain yield, late wilt and downy mildew resistance. *Journal of Plant Production*, 8(1), 97–102. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.37821>
- Mukri, G., Patil, M. S., Motagi, B. N., Bhat, J. S., Singh, C., Jeevan Kumar, S. P., Gadag, R. N., Gupta, N. C., & Simal-Gandara, J. (2022). Genetic variability, combining ability and molecular diversity-based parental line selection for heterosis breeding in field corn (*Zea mays* L.). *Molecular Biology Reports*, 49(6), 4517–4524. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07295-3>
- Nelson, P. T., & Goodman, M. M. (2008). Evaluation of Elite Exotic Maize Inbreds for Use in Temperate Breeding. *Crop Science*, 48(1), 85–92. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0287>
- Rehman, A. ur, Dang, T., Qamar, S., Ilyas, A., Fatema, R., Kafle, M., Hussain, Z., Masood, S., Iqbal, S., & Shahzad, K. (2021). Revisiting Plant Heterosis—From Field Scale to Molecules. *Genes*, 12(11), 1688. <https://doi.org/10.3390/genes12111688>
- Sabzi, M., Choukan, R., Estakhr, A., Afsharmanesh, G. R., Shirkhani, A., Afarinesh, A., Barzegari, M., Fareghei, S., Darkhal, H., Zamani, M., Khavari Khorasani, S., Rafiei, M., Anvari, K., Moeini, R., & Ghasemi, S. (2013). Maize New Hybrid KSC 705, High Yielding and High Moisture Decrease Rate after Physiological Maturity. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 2(1), 1–12.
- Shiri, M. (2017). The Performance of Temperate Maize Testers for SCREENING of Tropical and Subtropical Germplasm. *Journal of Crop Breeding*, 9(23), 85–94. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.85> [In Persian]
- Shiri, M., & Ebrahimi, L. (2017). The selection of maize lines derived from CIMMYT germplasm through combining ability with temperate testers. *A Quarterly Journal Cereal Research*, 7(1), 101–114 [In Persian]
- Shiri, M. R., Choukan, R., Estakhr, A., Fareghi, S., & Afarinesh, A. (2021). Temperate testers' efficiency in the screening of tropical and subtropical maize germplasm. *Cereal Research Communications*, 49(4), 639–647. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00141-5>
- Vahed Rezaei, A., Aharizad, S., Norouzi, M., & Mafakheri, K. (2020). Genetic analysis of Agronomic Traits in Generations Derived from the Cross of MO17 and B73 Maize Inbred Lines Under Water Deficit Stress. *Journal of Crop Breeding*, 12(33), 76–85. <https://doi.org/10.29252/jcb.12.33.76> [In Persian]