Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

Genetic diversity of early maturing corn hybrids based on phenological and agronomic traits using multivariate statistical methods

Sajjad Moharramnejad[1] ✉ & Mohammadreza Shiri[2]

[1] Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran.

[2] Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO): Karj, Iran.

✉ Corresponding author. E-mail: sm.chakherlo@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction: Corn is one of the most important crops in the world. This commodity is a primary source of food for both humans and animals. Early-maturing corn grows during the early stages of the growing season. This corn variety is suitable for cultivation in regions with a short growing season. Corn hybrids created by crossing two or more pure lines, have a higher grain yield than pure varieties. Improving corn performance through genetic modification is one of the main ways to increase the production of this crop. The present study aimed to evaluate different early-maturing corn varieties to identify the superior hybrid based on phenological and agronomic traits over two growing seasons in the Moghan region.

Materials and methods: In this study, nine corn hybrids, including H1 (KE 79017/5111× K1264/5-1), H2 (KE72012/12× B73), H3 (KE76009/311× B73), H4 (KE77003/3× B73), H5 (KE79015/6222× B73), H6 (OH43/1-42× B73), H7 (K1263/17× S61), H8 (KE72012/12× K1263/1), and H9 (KE76009/311× K1264/5-1), were evaluated in a randomized complete block design with three replications over two growing seasons (2021 and 2022) at the Moghan Agricultural Research Station. This research assessed phenological, morphological, yield, and yield components using multivariate statistical methods to evaluate the superior early-maturing corn hybrids.

Results: The findings revealed significant variations among the hybrids in days from emergence to silk emergence, days to physiological maturity, ear height, number of kernels per row, number of kernel rows per ear, ear diameter, cob diameter, hundred-grain weight, ear yield, and grain yield. The traits of plant height, ear height, kernel depth, ear diameter, and cob diameter were also significantly different across the two growing seasons (2022 and 2023). The mean comparison of the year-by-hybrid interaction showed that the hybrid H6 (OH43/1-42× B73) was the best hybrid in terms of plant height, ear height, kernel depth, ear diameter, and cob diameter in both growing seasons. Based on the phenological traits, the hybrids H7 (K1263/17× S61) with 9.78 ton per hectare ear yield and H2 (KE72012/12× B73) with 8.71 ton per hectare grain yield showed the best performance among the earliest maturing hybrids. The correlation analysis between the phenological and agronomic traits and the grain yield of the early-maturing hybrids showed that the grain yield had a positive significant correlation with ear yield and ear diameter. The cluster analysis of the nine maize hybrids based on the phenological and agronomic traits divided them into two distinct groups. High-yielding hybrids H1 (KE 79017/5111× K1264/5-1), H2 (KE72012/12× B73), H6 (OH43/1-42× B73), and H7 (K1263/17× S61) were grouped in a distinct cluster. The principal component analysis of the phenological, morphological, yield, and yield components traits for the nine maize hybrids revealed that the hybrid H2 (KE72012/12× B73) with the highest grain yield was among the most stable and superior hybrids among the early-maturing group in the present study.

Conclusion: The early-maturing maize hybrids in this study demonstrated high genetic diversity. Hybrids with a common paternal parent and similar agronomic traits were grouped in a distinct cluster. This reflects the purposeful nature of the evaluated maize crosses, aimed at enhancing grain yield. Based on the results, the hybrid H2 (KE72012/12× B73) has been identified as one of the best-performing hybrids, exhibiting superior yield and combining ability for the Moghan region.

Keywords: Cluster, Correlation, Grain yield, Hybrid, Principal component analysis.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 15 Dec 2023, **Revised:** 30 Dec 2023, **Accepted:** 21 Feb 2024, **Published online:** 27 Mar 2024

Cite this article: Moharramnejad, S. & Shiri, M. (2024). Genetic diversity of early maturing corn hybrids based on phenological and agronomic traits using multivariate statistical methods. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(1), 95-109. DOI: 10.22126/cbb.2024.10865.1074

© The Author(s).

10.22126/cbb.2024.10865.1074

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

تنوع ژنتیکی هیبریدهای ذرت از گروه زودرس بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره

سجاد محرم نژاد[۱] ✉ و محمدرضا شیری[۲]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.
[۲] دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج ، ایران.
✉ نویسنده مسئول. رایانامه: sm.chakherlo@yahoo.com

چکیده

مقدمه: ذرت یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است. این ماده منبع اصلی غذایی برای انسان‌ها و حیوانات است. ذرت زودرس برای کشت در مناطقی با فصل رشد کوتاه مناسب است. هیبریدهای ذرت که از تلاقی دو یا چند لاین خالص ایجاد می‌شوند، عملکرد بالاتری نسبت به ذرت‌های خالص دارند. بهبود عملکرد ذرت از طریق اصلاح ژنتیکی، یکی از راه‌های اصلی افزایش تولید این محصول است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ارقام مختلف ذرت از گروه زودرس جهت شناسایی برترین هیبرید بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی طی دو سال زراعی در منطقه مغان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، نه هیبرید ذرت شامل H1 (KE 79017/5111× K1264/5-1)، H2 (KE72012/12× B73)، H3 (KE76009/311× B73)، H4 (KE77003/3× B73)، H5 (KE79015/6222× B73)، H6 (OH43/1-42× B73)، H7 (K1263/17× S61)، H8 (KE72012/12× K1263/1) و H9 (KE76009/311× K1264/5-1) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره جهت شناسایی برترین هیبریدها از گروه زودرس مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌دار بین هیبریدها از نظر صفات روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، روز تا رسیدن فیزیولوژیکی، ارتفاع بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، وزن صد دانه، عملکرد بلال و عملکرد دانه وجود داشت. مقایسه میانگین برهمکنش سال در هیبرید ذرت نشان داد که هیبرید H6 (OH43/1-42× B73)، برترین هیبرید از لحاظ ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، عمق دانه، قطر بلال و قطر چوب بلال در هر دو سال زراعی بود. بر اساس صفات فنولوژیکی، هیبریدهای H7 (K1263/17× S61) و H2 (KE72012/12× B73) با عملکرد بلال ۹/۷۸ تن در هکتار و عملکرد دانه ۸/۷۱ تن در هکتار برترین هیبریدها در بین هیبریدهای مورد ارزیابی از گروه زودرس بودند. همبستگی بین صفات فنولوژیکی و زراعی با عملکرد دانه نشان داد که عملکرد دانه ارتباط مثبت و معنی‌دار با عملکرد بلال و قطر بلال دارد. تجزیه خوشه‌ای، ۹ هیبرید ذرت را بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی در دو گروه متفاوت تقسیم‌بندی کرد، به‌طوریکه هیبریدهای H1 (KE 79017/5111× K1264/5-1)، H2 (KE72012/12× B73)، H6 (OH43/1-42× B73) و H7 (K1263/17× S61) با عملکرد بالا در یک گروه قرار گرفتند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات فنولوژیکی، موفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه نشان داد که هیبرید H2 (KE72012/12× B73) با بالاترین عملکرد دانه ،جزء پایدارترین و برترین هیبریدها در مطالعه حاضر شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: هیبریدهای ذرت از گروه زودرس در پژوهش حاضر از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار بودند به‌طوریکه افراد دارای والد پدری مشترک با خصوصیات زراعی یکسان در یک گروه قرار گرفتند. که نشان از هدفمند بودن تلاقی‌های ذرت مورد ارزیابی با تکیه بر افزایش عملکرد دانه انجام گرفته است. بر اساس نتایج حاصل، هیبرید H2 (KE72012/12× B73) جزء بهترین هیبریدها با عملکرد و قابلیت ترکیب‌پذیری بالا برای منطقه مغان معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، عملکرد دانه، همبستگی، هیبرید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴ **اصلاح:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۹ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۲/۰۲، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۰۱/۰۸

استناد: محرم نژاد، س. و شیری، م. (۱۴۰۳). تنوع ژنتیکی هیبریدهای ذرت از گروه زودرس بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۳(۱)، ۹۵-۱۰۹. DOI: 10.22126/cbb.2024.10865.1074

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان، افزایش تولیدات زراعی جزء اهداف اولیه به شمار می‌آید. با توجه به محدودیت اراضی قابل کشت، کوشش بیشتر محققین در سال‌های اخیر بر افزایش عملکرد در واحد سطح متمرکز شده است (Gezahegn, 2021). گیاهان زراعی از مهمترین منابع اساسی در تأمین غذای انسان می‌باشند. در این بین، غلات از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. ذرت یکی از مهمترین گیاه زراعی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. ذرت یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشور است و سهم قابل توجهی نسبت به غلات علوفه‌ای در تأمین پروتئین مورد نیاز جامعه، از جمله در تغذیه دام و تولید گوشت قرمز و سفید و تأمین امنیت غذایی کشور دارد (Erenstein *et al*., 2022).

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های زیادی در زمینه ژنتیک ذرت حاصل شده است که منجر به توسعه هیبریدهای جدید ذرت با ویژگی‌های مطلوب گردیده است (Ahmad *et al*., 2020). تنوع ژنتیکی و قابلیت ترکیب‌پذیری هیبریدهای ذرت نشان می‌دهد که این هیبریدها از پتانسیل بالایی برای تولید عملکرد بالا و مقاوم به بیماری‌ها برخوردار هستند. این هیبریدها می‌توانند برای بهبود امنیت غذایی و پایداری کشاورزی استفاده شوند (Beyene *et al*., 2021). افزایش عملکرد اقتصادی و بهبود صفات زراعی و فنولوژیکی مرتبط با آن از اساسی‌ترین خصوصیات مورد نظر به‌نژادگران در جهت شناسایی افراد برتر در گیاه ذرت است (Zhang *et al*., 2022). شناسایی افراد از لحاظ صفات زراعی از قبیل عملکرد و اجزای عملکرد دانه به دلیل سهولت اندازه‌گیری، احتمالاً روشی آسان و سریع برای ارزیابی جوامع گیاهی برای بهبود عملکرد دانه می‌باشد. در این راستا، ارزیابی صفات فنولوژیکی و مورفولوژیکی نیز می‌تواند در جهت شناسایی افراد با کارآیی بالا در کنار عملکرد دانه نقش بسیار مهمی داشته باشد (Beyene *et al*., 2021). روش‌های متعددی برای بررسی میزان تنوع ژنتیکی وجود دارد که از مهمترین آن‌ها، روش‌های آماری چند متغیره است که همزمان اطلاعات بیشتری از چندین صفت در تمام افراد مورد پژوهش را در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد (Rizzo *et al*., 2022). در این میان تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی جزء مهمترین و پرکاربردترین روش‌های آماری در توصیف میزان تنوع ژنتیکی می‌باشند (Omar *et al*., 2022).

ارتفاع بوته و ارتفاع بلال از جمله صفات مهم زراعی ذرت هستند که بر عملکرد دانه و کیفیت آن تأثیر می‌گذارند، به‌طوریکه ارتفاع بوته با جذب نور خورشید و فتوسنتز، تأثیر مستقیمی بر عملکرد دارد و ارتفاع بلال با تأثیر بر تعداد بلال در هر بوته، بر عملکرد تأثیر می‌گذارد (Khan *et al*., 2024). در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی برای بهبود این صفات زراعی در ذرت انجام شده است. یکی از روش‌های بهبود این صفات، استفاده از هیبریدهای اصلاح‌شده است. عوامل مختلفی بر عملکرد ذرت تأثیر می‌گذارند که از جمله آن‌ها می‌توان به عوامل ژنتیکی، آب و هوا (شرایط محیطی)، مدیریت زراعی و شرایط خاک

اشاره کرد (Rizzo *et al*., 2022). یکی دیگر از عوامل مهمی که بر عملکرد ذرت تأثیر می‌گذارد، زمان رسیدن آن است. کاهش طول دوره رشد در گیاه ذرت می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود، زیرا زمان کافی برای تشکیل و پر شدن دانه‌ها وجود ندارد. بنابراین، انتخاب هیبریدهای ذرت با زمان رسیدن مناسب، یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد این محصول است (Ahmad *et al*., 2020).

بر اساس آمارنامه سال زراعی ۱۴۰۱ وزارت جهاد کشاورزی ایران، ذرت از نظر میزان سطح زیرکشت، بعد از گندم، برنج، یونجه و جو با سطح زیرکشت بیش از ۵۴۰ هزار هکتار، پنجمین گیاه زراعی محسوب می‌شود. میزان تولید ذرت اعم از علوفه و دانه بیش از ۱۹ میلیون تن بود. با این حال، سهم ذرت دانه‌ای از این میزان تولید با سطح زیر کشت ۱۵۹/۲ هزار هکتار حدود ۱/۳ میلیون می‌باشد (Anonymous, 2023). با عنایت به شرایط موجود در کشور و نیاز اساسی به ذرت دانه‌ای توجه ویژه‌ای به ارقام ذرت از گروه زودرس به دلیل طول دوره رشد (کشت دوم بعد از گندم و کلزا) وجود دارد. به همین دلیل، این پژوهش با هدف شناسایی هیبرید برتر ذرت از لحاظ صفات زراعی و فنولوژیکی طی دو سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: مواد گیاهی شامل ۹ هیبرید ذرت بود که از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند (جدول ۱). آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان طی دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵/۶ متر با فاصله بین بوته ۱۸ سانتی‌متر و با تراکم حدود ۷۴ هزار بوته در هکتار بود.

جدول ۱- شجره هیبریدهای ذرت

Table 1. Pedigree of maize hybrids

کد Code	شجره Pedigree
H1	KE 79017/5111 × K1264/5-1
H2	KE72012/12 × B73
H3	KE76009/311 × B73
H4	KE77003/3 × B73
H5	KE79015/6222 × B73
H6	OH43/1-42 × B73
H7	K1263/17 × S61
H8	KE72012/12 × K1263/1
H9	KE76009/311 × K1264/5-1

آماده‌سازی بستر کشت شامل رتیواتور، شخم برگردان و دیسک در فصل بهار بود. برای اطمینان از سبز شدن بذور در هر کپه به صورت دستی سه بذر کاشته شد و پس از تنک‌کردن در مرحله سه تا چهار برگی فقط تک بوته مناسب در هر کپه نگه داشته شد. بر اساس تجزیه خاک محل آزمایش، قبل از این‌که کاشت صورت گیرد، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمین توزیع گردید و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت به‌صورت سرک استفاده شد. صفات فنولوژیکی از قبیل روز از سبز شدن تا ظهور کاکل و روز تا رسیدن فیزیولوژیکی با در نظر گرفتن بیش از ۵۰ درصد کرت‌ها

یادداشت‌برداری گردید. از دو خط میانی به‌طور تصادفی پنج نمونه برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال استفاده شد و برای اندازه‌گیری عملکرد بلال و دانه توسط ترازوی حساس، از مجموع دو خط میانی با حذف دو بوته از ابتدا و انتهای هر کرت استفاده شد.

تجزیه‌های آماری: پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگن بودن باقیمانده‌ها به روش بارتلت، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (سال و هیبرید به‌ترتیب به‌عنوان عامل تصادفی و ثابت در نظر گرفته شدند)، مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی صفات، با به‌کارگیری میانگین نه هیبرید ذرت مورد مطالعه به روش پیرسون محاسبه شد. تجزیه خوشه‌ای از تمام صفات به روش حداقل واریانس وارد (Ward) بر مبنای مربع فاصله اقلیدوسی صورت گرفت. برای انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS (https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-23) استفاده گردید. همچنین برای رسم نمودار همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار JMP (https://www.jmp.com/en_us/home.html) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اختلاف ژنتیکی بین هیبریدها برای صفات روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، روز تا رسیدن فیزیولوژیکی، ارتفاع بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، وزن صد دانه، عملکرد بلال و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). چنین برداشت می‌شود که هیبریدهای ذرت مورد بررسی از گروه زودرس از تنوع ژنتیکی قابل توجهی برخوردار بودند. برهمکنش بین سال و هیبرید نیز فقط برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه معنی‌دار بود. روزبهانی و همکاران (Ruzbehani *et al.*, 2018) با ارزیابی هیبریدهای ذرت تجاری و امیدبخش ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی استان مرکزی اظهار کردند که بین هیبریدهای ذرت از لحاظ عملکرد بلال اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود دارد که با نتایج این پژوهش همسویی داشت. لیندسی و همکاران (Lindsey *et al.*, 2020) با بررسی و گروه‌بندی هیبریدهای ذرت با استفاده از صفات زراعی بیان داشتند که بین هیبریدهای ذرت مورد مطالعه از لحاظ ارتفاع بوته و ارتفاع بلال اختلاف معنی‌داری وجود دارد و دامنه تغییرات ارتفاع بوته بین ۵۰ تا ۱۹۲ سانتی‌متر و دامنه تغییرات ارتفاع بلال بین ۱۲۲ تا ۱۴۷/۵ سانتی‌متر در هیبریدهای مورد ارزیابی بود.

مطابق پژوهش حاضر، دامنه تغییرات واریانس ژنتیکی بین ۱/۱۲ تا ۳۵/۹۹ برای صفات فنولوژیکی و زراعی ۹ هیبرید ذرت مورد مطالعه از گروه زودرس بود (جدول ۲). پیران و

همکاران (Piran *et al.*, 2021) با اظهار کردند که واریانس ژنتیکی هیبریدهای ذرت از گروه متوسط‌رس بین ۱۰/۸ تا ۱۳۳۳/۲ برای صفات زراعی بود.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه نشان داد که هیبرید H6 (OH43/1-42 × B73) با بالاترین ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه جزء برترین هیبریدها بود (جدول ۳). عرفانی مقدم و همکاران (Erfani Moghadam *et al.*, 2023) گزارش کردند که تنوع بالایی از لحاظ صفات ارتفاع بوته و برخی ویژگی‌های بلال هیبریدهای ذرت وجود دارد به‌طوریکه هیبرید ۷۰۴ از گروه دیررس بیشترین عملکرد دانه و ارتفاع بوته را داشت.

محرم نژاد و همکاران (Moharramnejad *et al.*, 2022) با ارزیابی تنوع ژنتیکی برخی هیبریدهای ذرت از گروه فائو ۶۰۰ بر اساس صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه بیان داشتند که بین هیبریدهای ذرت از گروه فائو ۶۰۰ تنوع بالایی از لحاظ صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی داشتند و هیبرید K74/2-2-1-4-1-1-1-1 × K3640/3 از لحاظ عملکرد دانه و ارتفاع بوته جزء برترین هیبریدها معرفی شد. مطابق نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد که هیبریدهای ذرت با تلاقی‌های هدفمند از گروه‌های هتروتیک مختلف از لحاظ صفات مورفولوژیکی و زراعی می‌تواند از سازگاری و قابلیت ترکیب‌پذیری بالایی برخوردار باشند.

هیبریدهای ذرت مورد ارزیابی در این پژوهش از لحاظ رسیدگی و زودرسی از تنوع قابل قبولی برخوردار بودند و مقایسه میانگین هیبریدها از گروه زودرس نشان داد که هیبرید H7 (K1263/17 × S61) به‌ترتیب با ۵۲/۱۷ و ۹۴/۶۷ روز از سبز شدن تا ظهور کاکل و روز تا رسیدن فیزیولوژیکی جزء زودرس‌ترین هیبریدها ذرت بود (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل می‌توان این هیبرید را صرفاً با در نظر گرفتن زودرسی بعد از گندم، کلزا و سایر گیاهان پاییزه به‌عنوان کشت دوم در مناطق گرم و مرطوب و گاهاً معتدل کشور که آب و هوایی شبیه منطقه مغان دارند، توصیه کرد. میانگین تعداد ردیف دانه در بلال با ۲۰/۶۱ ردیف و تعداد دانه در ردیف بلال با ۴۵/۰۵ دانه به‌ترتیب در هیبرید H1 (KE 79017/5111 × K1264/5-1) و H4 (KE77003/3 × B73) در مقایسه با سایر هیبریدهای مورد مطالعه از گروه زودرس، بیشتر بود (جدول ۴). همچنین بر اساس مقایسه میانگین وزن صد دانه، عملکرد بلال و عملکرد دانه، هیبرید H2 (KE72012/12 × B73) با وزن صد دانه ۲۹/۶ گرم، عملکرد بلال ۹/۷۸ تن در هکتار و عملکرد دانه ۸/۷۱ تن در هکتار جزء بهترین هیبریدها بود، به‌طورکلی چنین به‌نظر می‌رسد که هیبریدهای ذرت از گروه زودرس در پژوهش حاضر از لحاظ صفات اقتصادی و رسیدگی، از تنوع و قابلیت ترکیب‌پذیری بالایی برخوردارند که نشان از تنوع بالای ژرم‌پلاسم لاین‌های ذرت در کشور ایران حکایت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف در هیبریدهای ذرت

Table 2. Combined analysis of variance for different traits in maize hybrids

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS											
		روز از سبز شدن تا ظهور کاکل Days to silking	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع بلال Ear height	تعداد دانه در ردیف بلال Grain per row	تعداد ردیف دانه در بلال Rows per ear	قطر بلال Ear diameter	قطر چوب بلال Cob diameter	عمق دانه Grain depth	وزن صد دانه 100-seed weights	عملکرد بلال Ear yield	عملکرد دانه Grain yield
سال Year (Y)	1	29.63^{ns}	3.80^{ns}	0.16^{ns}	75.24^{ns}	1.76^{ns}	2.57^{ns}	25441.95**	8558.43**	1122.49**	14.00^{ns}	1.60^{ns}	1.13^{ns}
سال/تکرار R/Y	2	14.81	7.96	645.72	225.17	3.57	1.76	0.18	0.57	0.03	8.81	3.72	4.22
هیبرید Hybrid (H)	8	14.67**	58.95**	242.47^{ns}	294.47**	2.39*	22.85*	14.80*	6.95*	1.83^{ns}	14.15*	1.67*	1.68*
Y×H	8	2.52^{ns}	10.45^{ns}	458.43*	93.61*	0.91^{ns}	8.60^{ns}	4.34**	1.19*	1.16**	3.61^{ns}	0.69^{ns}	0.81^{ns}
خطا Error	32	8.46	26.88	311.30	75.46	1.42	8.81	1.29	0.82	0.14	9.01	1.20	2.75
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		2.78	3.14	6.92	7.72	6.77	7.65	4.29	5.96	6.70	6.97	14.99	21.46
واریانس ژنتیکی Genotype Variance		2.02	8.08	35.99	33.47	2.78	2.38	1.74	1.40	1.12	1.76	1.60	1.41

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: Non -significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

کامان و همکاران (Kaman *et al*., 2011) اظهار کردند که بین هیبریدهای ذرت مورد ارزیابی از گروه زودرس، تنوع بالاتری از لحاظ صفات وزن صد دانه و عملکرد دانه وجود دارد. دلیل کمتر بودن وزن صد دانه در برخی هیبریدهای ذرت مورد مطالعه احتمالاً مربوط به ایجاد دانه‌های چروکیده در دوره پرشدن دانه تحت شرایط آب و هوایی می‌باشد و همچنین اُفت تعداد دانه در بلال در برخی از هیبریدها، می‌تواند ناشی از ناباروری تخمک‌ها در بلال باشد. گرده‌افشانی در گیاه ذرت به شیوه عادی چند روز بعد از پیدایش گل تاجی مشخص می‌شود که می‌تواند به‌عوامل ژنتیکی و شرایط محیطی وابسته باشد. در هیبریدهای پایدار، با خارج شدن زود هنگام کاکل‌ها، همزمان با پیدایش دانه‌های گرده و ایجاد کاکل‌ها و بارور بودن بیشتر دانه‌ها، مقدار بی‌دانه بودن در بلال کاسته می‌شود، اما پتانسیل ژنتیکی هیبریدها و شرایط محیطی در این دوره باعث کاهش تعداد دانه در ردیف بلال می‌شود. تعداد ردیف در بلال از ویژگی‌هایی است که کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته و از طریق عامل ژنتیکی کنترل می‌شود (Al-Naggar *et al*., 2020). گزارش‌های متعددی مبنی بر وجود تنوع بین هیبریدهای ذرت جهت بهره‌مندی از حداکثر هتروزیس ارقام ذرت در ایران وجود دارد (Moharramnejad & Shiri, 2020; Moharramnejad *et al*., 2022; Piran *et al*., 2021; Shiri *et al*., 2024) که در نهایت منجر به شناسایی هیبریدهای با عملکرد بالا گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

نتایج ضریب همبستگی نشان داد که بین ۱۱ صفات فنولوژیکی و زراعی مورد مطالعه، روابط همبستگی معنی‌دار وجود دارد (شکل ۱). صفت روز تا رسیدن فیزیولوژیکی با ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر بلال و قطر چوب بلال همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. بین ارتفاع بوته با ارتفاع بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر بلال و قطر چوب بلال ارتباط مثبت معنی‌دار وجود داشت. همچنین عملکرد دانه نیز فقط با عملکرد بلال و وزن صد دانه همبستگی مثبت معنی‌دار داشت.

آشفته بیرگی و همکاران (Beiragi *et al*., 2011) در تحقیقی اعلام نمودند که عملکرد دانه ارتباط مثبت معنی‌دار با صفات ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال دارد. محرم‌نژاد و شیری (Moharramnejad & Shiri, 2020) در بررسی صورت گرفته روی ۱۱ هیبرید ذرت اعلام کردند که بین عملکرد دانه با عملکرد بلال و ارتفاع بوته همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد که با نتایج این پژوهش همسویی دارد.

در این پژوهش، ۹ هیبرید ذرت بر اساس ویژگی‌های فنولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکردی آن‌ها با استفاده از نمودار خوشه‌ای تحلیل شدند (شکل ۲)، به‌طوریکه ۹ هیبرید ذرت از گروه زودرس با استفاده از روش MANOVA در دو گروه مختلف معنی‌دار از همدیگر تفکیک شدند (شکل ۳). گروه‌بندی هیبریدهای ذرت از گروه زودرس بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی نشان داد که دو گروه با ضریب ۰/۷۷ از همدیگر اختلاف معنی-

دار دارند (شکل ۳). هیبریدهای H2، H1، H7 و H6 در یک گروه (گروه ۱) و هیبریدهای H3، H4، H5، H8 و H9 در گروه دیگر (گروه ۲) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲). گروه دوم با معنی‌دار بودن صفات عملکردی در مقایسه با گروه اول، جزء برترین هیبریدهای ذرت مورد مطالعه بودند. این نتایج نشان می‌دهد که هیبریدهای ذرت با عملکرد دانه بالاتر می‌توانند در شرایط آب و هوایی منطقه مغان عملکرد بهتری داشته باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین هیبریدها از نظر ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه هیبریدهای ذرت طی دو سال زراعی

Table 3. Means of the hybrid for plant height, ear height, ear diameter, cob diameter, and grain deep in maize hybrids during two years

سال Year	کد Code	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	ارتفاع بلال (سانتی‌متر) Ear height (cm)	قطر بلال (سانتی‌متر) Ear diameter (cm)	قطر چوب بلال (سانتی‌متر) Cob diameter (cm)	عمق دانه (سانتی‌متر) Grain depth (cm)
۱۴۰۱ 2022	H1	259±7.81abcd	118.33±6.67c	5.17±0.09ab	5.28±0.05ab	5.281±0.04ab
	H2	272.67±1.45ab	112.33±1.45cde	4.68±0.04def	4.68±0.08abc	4.69±0.04abc
	H3	254.67±2.67bcd	118.33±1.67c	4.74±0.04cde	4.74±0.05abcd	4.74±0.01abcd
	H4	261.33±0.67abcd	99±3.78defg	4.53±0.05efg	4.53±0.03e	4.53±0.02e
	H5	245±12.58bcd	108.5±1.75cdef	4.49±0.05efg	4.49±0.05abcde	4.49±0.04abcde
	H6	256.67±25.87abcd	146.83±4.28a	5.05±0.21ab	5.05±0.17ab	5.05±0.02ab
	H7	247.33±11.78bcd	89.83±2.42g	4.64±0.11def	4.6548±0.04cde	4.65±0.03cde
	H8	250.67±17.9bcd	95±5.77fg	4.91±0.03bcd	4.92±0.03abcd	4.92±0.05abcd
	H9	247.33±2.33bcd	114±4.93cd	4.98±0.04bc	4.98±0.04bcde	4.98±0.01bcde
۱۴۰۲ 2023	H1	271.11±5.87abc	109.99±3.33cdef	5.06±0.09ab	5.06±0.01abcd	5.07±0.04abcd
	H2	256.66±6.67abcd	107.78±7.78cdef	4.6±0.06efg	4.6±0.03de	4.6±0.04de
	H3	259.44±2.42abcd	122.22±2.94c	4.93±0.14bcd	4.93±0.19cde	4.93±0.04cde
	H4	251.33±6.58bcd	116.77±3.28c	4.43±0.07fg	4.43±0.15cde	4.43±0.11cde
	H5	236.55±1.93cd	114.44±2.93cd	4.43±0.12fg	4.43±0.06bcde	4.43±0.06bcde
	H6	289.44±15.88a	141.11±9.88b	5.28±0.05a	5.17±0.07a	5.17±0.06a
	H7	228.33±4.81d	94.44±2.94fg	4.37±0.03g	4.37±0.07e	4.37±0.04e
	H8	238.88±6.18bcd	96.66±8.81efg	4.57±0.07efg	4.57±0.03e	4.57±0.02e
	H9	263.89±13.06abc	119.99±8.38c	5.1±0.11ab	5.1±0.24cde	5.1±0.1cde

میانگین به همراه خطای استاندارد، حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Mean ±SE, various letters indicate significant differences at $p<0.05$ probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین هیبریدها از نظر روز از سبز شدن تا ظهور کاکل، روز تا رسیدن فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت

Table 4. Means of the hybrid for days to silking, days to physiological maturity, grain yield, and its components in maize hybrids

کد Code	روز از سبز شدن تا ظهور کاکل Days to silking	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	تعداد ردیف دانه در بلال Rows per ear	تعداد دانه در ردیف بلال Grain per row	وزن صد دانه (گرم) 100-seed weights (g)	عملکرد بلال (تن/هکتار) Ear yield (ton/ha)	عملکرد دانه (تن/هکتار) Grain yield (ton/ha)
H1	59.5±0.76ab	104.16±2.09ab	20.61±0.57a	35.07±1.26de	29.57±1.11a	6.89±0.19b	6.87±0.4ab
H2	56±1.15d	101.83±0.87b	19.94±0.11ab	38.68±0.64cd	29.6±0.96a	9.78±1.4a	8.71±0.72a
H3	58±0.93bcd	104.67±1.28ab	20.17±0.33ab	34.5±1.65e	28.2±0.66abc	7.65±0.39b	7.49±0.71ab
H4	56.33±0.33d	102.83±1.19b	19.05±0.23b	45.05±1.11a	26.72±1.02bc	8.22±0.4ab	7.7±0.72ab
H5	59.17±1.17abc	106.17±1.35ab	17.27±0.3c	42.7±1.47ab	22.6±0.45d	6.7±0.44b	6.76±0.56ab
H6	61±1.12a	109±2.3a	15±0.84d	41.11±1.46bc	25.52±0.49c	7.55±0.89b	6.38±1.17ab
H7	52.17±0.6e	94.67±3.13c	15.33±0.4d	36.44±0.88de	26.6±1.37bc	6.51±0.39b	5.56±0.78b
H8	53.33±1.05d	101.17±1.14b	15.44±0.5d	40.76±1.16bc	29.03±0.65ab	7.92±0.51ab	7.78±0.49ab
H9	56.83±0.31cd	101.33±2b	15.89±0.66d	35±1.96de	27.45±0.93abc	8.25±0.39ab	8.51±0.58a

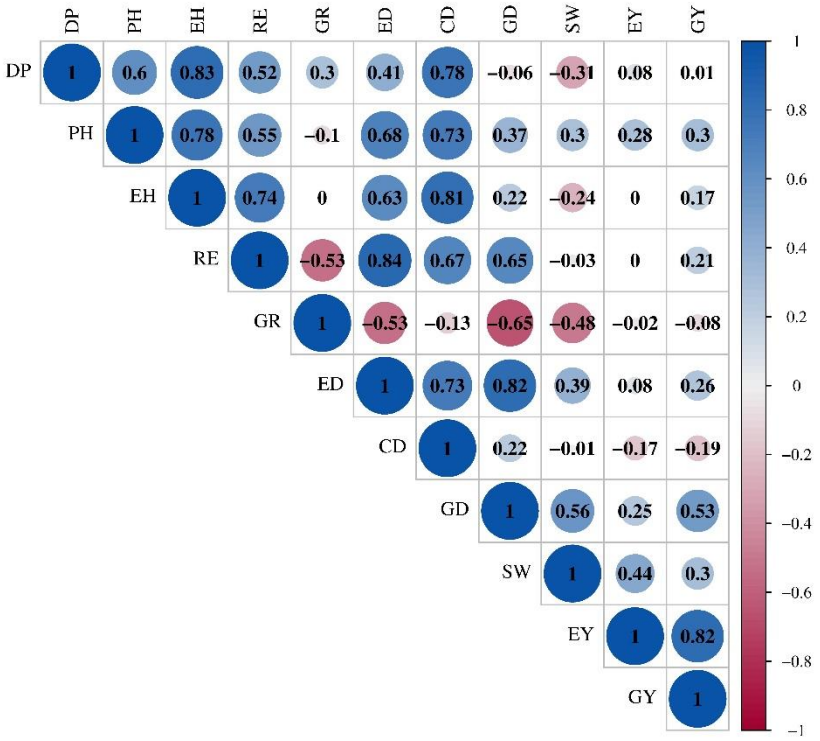
میانگین به همراه خطای استاندارد، حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Mean ±SE, various letters indicate significant differences at $p<0.05$ probability level.

چوکان و همکاران (Choukan *et al*., 2005) با انجام تجزیه خوشه‌ای، ۲۵ ژنوتیپ ذرت را برحسب ۲۵ صفت، در چهار گروه تقسیم‌بندی کردند. در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward)، هیبریدهای مورد مطالعه به پنج دسته تقسیم شدند و خوشه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر عملکرد (شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه) از میانگین بالاتری برخوردار بودند (Erfani Moghadam *et al*., 2023). محرم‌نژاد و شیری (Moharramnejad & Shiri, 2020) با ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف ذرت بر اساس صفات عملکردی و فیزیولوژیکی، هیبریدهای ذرت را در دو گروه مختلف تقسیم‌بندی کردند. خوشه اول شامل هیبریدهایی با عملکرد پایین‌تر و خوشه دوم شامل هیبریدهایی بودند که دارای خصوصیاتی نظیر عملکرد دانه بالاتر، ارتفاع بوته بلندتر، تعداد دانه بیشتر و وزن صد دانه بیشتر بودند.

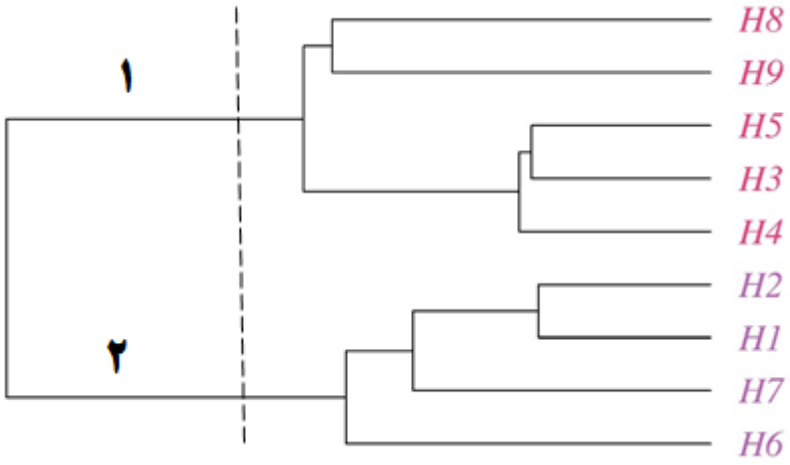
تجزیه به مولفه‌های اصلی مطابق صفات فنولوژیکی و زراعی نشان داد که ۹ هیبرید ذرت از گروه زودرس توسط دو مؤلفه اول (PC1= ۴۴٪/۵ و PC1= ۲۵٪/۷) تفکیک شدند (شکل ۴). هیبرید H2 (KE72012/12 × B73) ذرت طی دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ از لحاظ عملکرد دانه و سایر صفات خصوصاً فنولوژیکی جزء برترین

هیبریدها از گروه زودرس بود. از لحاظ ویژگی‌های ظاهری بلال در این پژوهش، هیبرید H5 (KE79015/6222 × B73) جزء بهترین هیبرید بود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که عملکرد دانه و صفات فنولوژیکی دو عامل مهم در تعیین تفاوت بین ۹ هیبرید ذرت مورد مطالعه هستند. هیبریدهای ذرت با عملکرد دانه و عملکرد بلال بالا، برای کشت در مناطقی با شرایط آب و هوایی مطلوب (منطقه مغان) مناسب هستند. محرم‌نژاد و همکاران (Moharramnejad *et al*., 2022) با ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه در برخی هیبریدهای ذرت طی دو سال اظهار کردند که دو مؤلفه اصلی حدود ۷۵ درصد از تغییرات موجود در بین هیبریدهای ذرت از گروه متوسطرس بر اساس صفات عملکردی توجیه نمودند که با پژوهش حاضر همسویی داشت.



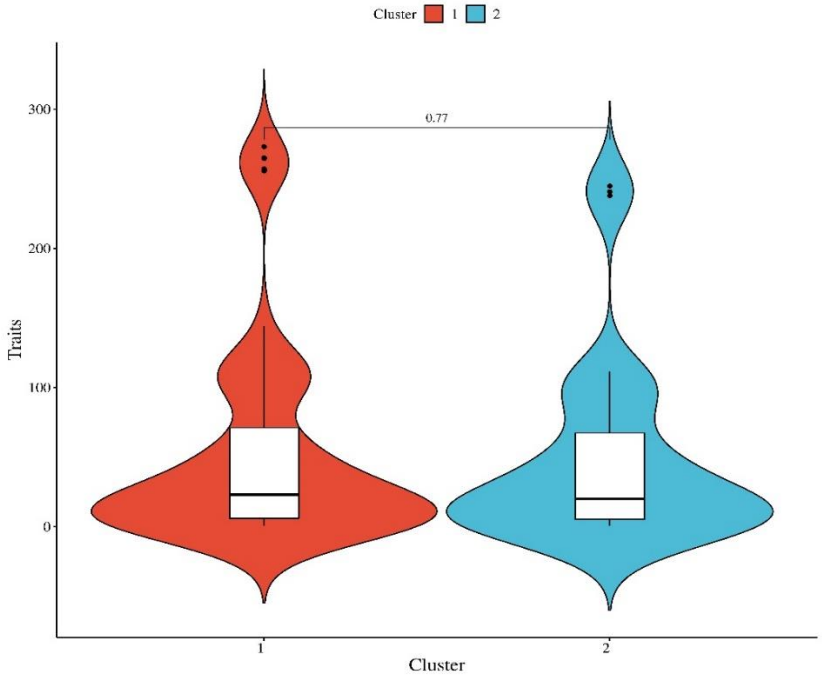
شکل ۱- ضریب همبستگی صفات فنولوژیکی و زراعی هیبریدهای ذرت. DP (روز تا رسیدن فیزیولوژیکی)، PH (ارتفاع بوته)، EH (ارتفاع بلال)، RE (تعداد ردیف دانه در بلال)، GR (تعداد دانه در ردیف بلال)، ED (قطر بلال) با CD (قطر چوب بلال) با GD (عمق دانه)، SW (وزن صد دانه)، EY (عملکرد بلال) و GY (عملکرد دانه)

Figure 1. The correlation coefficients between various phenological and agronomic traits of corn hybrids. DP (days to physiological maturity), PH (plant height), EH (ear height), RE (number of kernel rows per ear), GR (number of kernels per row), ED (ear diameter), CD (cob diameter), GD (kernel depth), SW (100-kernel weight), EY (ear yield), and GY (grain yield)



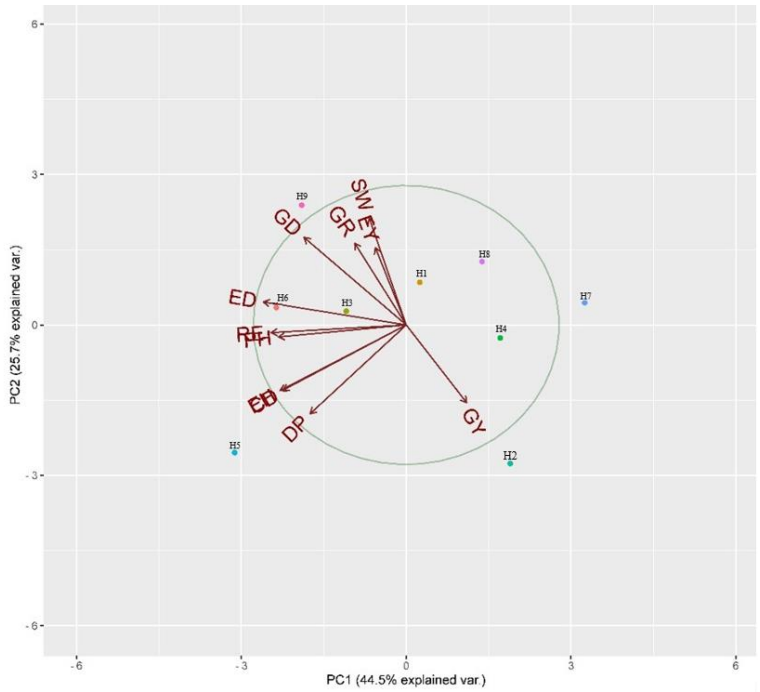
شکل ۲- خوشه‌بندی هیبریدهای ذرت از گروه زودرس با استفاده از صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکردی به روش وارد (ward)

Figure 2. Cluster early-maturing corn hybrids using phenological, morphological, and yield-related traits through the Ward's method



شکل ۳- مقایسه ویلونی دو گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای هیبریدها بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی

Figure 3. Violin plot of two groups by cluster analysis using phenological and agronomical traits



شکل ۴- تجزیه به مولفه‌های اصلی ۹ هیبرید ذرت از گروه زودرس بر اساس صفات فنولوژیکی و زراعی. DP (روز تا رسیدن فیزیولوژیکی)، PH (ارتفاع بوته)، EH (ارتفاع بلال)، RE (تعداد ردیف دانه در بلال)، GR (تعداد دانه در ردیف بلال)، ED (قطر بلال) با CD (قطر چوب بلال) با GD (عمق دانه)، SW (وزن صد دانه)، EY (عملکرد بلال) و GY (عملکرد دانه)

Figure 4. PCA of nine early-maturing corn hybrids using phenological and agronomical traits. DP (days to physiological maturity), PH (plant height), EH (ear height), RE (number of kernel rows per ear), GR (number of kernels per row), ED (ear diameter), CD (cob diameter), GD (kernel depth), SW (100-kernel weight), EY (ear yield), and GY (grain yield)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای ذرت می‌توانند یک منبع ارزشمند برای بهبود عملکرد ذرت از گروه زودرس باشند، که ترکیب ژن‌های ارقام مختلف می‌تواند منجر به ایجاد هیبریدهایی با عملکرد بهتر شود. این نتایج برای توسعه هیبریدهای جدید ذرت از گروه زودرس با ویژگی‌های مطلوب در ژرم‌پلاسم موجود در کشور نیز مهم است. مطابق نتایج این پژوهش اختلاف ژنتیکی معنی-داری بین هیبریدهای ذرت در صفات فنولوژیک و زراعی وجود داشت. بیشترین واریانس ژنتیکی در صفات ارتفاع بلال و ارتفاع بوته مشاهده شد. ضریب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بلال و عمق دانه مثبت و معنی‌دار بود. صفات فنولوژیکی نیز با ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. نمودار خوشه‌ای، هیبریدهای ذرت از گروه زودرس را بر اساس صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در دو گروه مجزا معنی‌دار تقسیم‌بندی کرد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه نشان داد که هیبرید H2

(KE72012/12 × B73) جزء برترین هیبرید در پژوهش حاضر و مناسب برای کشت در منطقه مغان می‌باشد. مطابق نتایج حاصل چنین می‌توان استنباط کرد که هیبرید H2 (KE72012/12 × B73) با طول دوره رشد کمتر و عملکرد دانه مناسب، برای کشت دوم بعد از گندم و کلزا جهت تولید دانه برای منطقه مغان و اقلیم‌های که شبیه این منطقه کشور هستند، قابل توصیه است.

References

Ahmad, I., Ahmad, B., Boote, K. & Hoogenboom, G. 2020. Adaptation strategies for maize production under climate change for semi-arid environments. European Journal of Agronomy, 115, 126040. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126040

Al-Naggar, A., Shafik, M., Musa, R. J. A. R. & Biology, R. 2020. Genetic diversity based on morphological traits of 19 maize genotypes using principal component analysis and GT biplot. Annual Research & Reviewe in Biology, 35 (2), 68-85. https://doi.org/10.9734/arrb/2020/v35i230191

Anonymous. 2023. https://amar.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352. (In Persian).

Beiragi, M. A., Ebrahimi, M., Mostafavi, K., Golbashy, M. & Khorasani, S. K. 2011. A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. Journal of Cereals and Oilseeds, 2(2), 32-37. https://doi.org/10.5897/JCO.9000001

Beyene, Y., Gowda, M., Pérez-Rodríguez, P., Olsen, M., Robbins, K. R., Burgueño, J., Prasanna, B. M. & Crossa, J. 2021. Application of genomic selection at the early stage of breeding pipeline in tropical maize. Frontiers in Plant Science, 12, 685488. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.685488

Choukan, R., Hosseinzadeh, A., Ghanadha, M., Taleei, M. & Mohammadi, S. 2005. Classification of maize inbred lines based on morphological traits. Seed and Plant Journal, 21(1), 139-139. (In Persian). https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110799

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. & Prasanna, B. M. 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Food Security, 14(5), 1295-1319. https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7

Erfani Moghadam, Z., Fotovat, R., Mohseni Fard, E. and Rodriguez, V. 2023. Genetic analysis of grain yield and related traits in maize (*Zea mays* L.) using graphical diallel analysis. Cereal Research, 13(2), pp. 129-143. (In Persian). https://doi.org/10.22124/CR.2023.24880.1774

Gezahegn, A. M. 2021. Role of integrated nutrient management for sustainable maize production. International Journal of Agronomy, 2021(1), 9982884. https://doi.org/10.1155/2021/9982884

Kaman, H., Kirda, C. & Sesveren, S. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management, 98(5), 801-807. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.003

Khan, R., Gao, F., Khan, K., Shah, M. A., Ahmad, H., Fan, Z. P. & Zhou, X. 2024. Evaluation of maize varieties via multivariate analysis: Roles of ionome, antioxidants, and autophagy in salt tolerance. Plant Physiology, 38865493. https://doi.org/10.1093/plphys/kiae335

Lindsey, A. J., Minyo, R., Geyer, A. B. & Thomison, P. R. 2020. Comparing the agronomic performance of short-season and commonly grown corn hybrid maturities in Ohio. Crop, Forage &Turfgrass Management, 6, e20019. https://doi.org/10.1002/cft2.20019

Moharramnejad, S. & Shiri, M. 2020. Study of genetic diversity in maize genotypes by ear yield and physiological traits. Journal of Crop Breeding, 12(35), 30-40. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.12.35.30

Moharramnejad, S., Shiri, M. R. & Parchami-Araghi, F. 2022. Evaluation of stability of FAO 600 corn hybrids by grain yield and its components. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(2), 299-312. (In Persian). https://doi.org/10.22034/SAPS.2022.49312.2786

Omar, M., Rabie, H. A., Mowafi, S. A., Othman, H. T., El-Moneim, D. A., Alharbi, K., Mansour, E. & Ali, M. M. 2022. Multivariate analysis of agronomic traits in newly developed maize hybrids grown under different agro-environments. Plants, 11(9), 1187. https://doi.org/10.3390/plants11091187

Piran, M., Asghari, A., Moharramnejad, S. & Mohammaddoust Chaman Abad, H. 2021. Evaluation of diversity to selecting best maize hybrids. Journal of Crop Breeding, 13(39), 98-107. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.98

Rizzo, G., Monzon, J. P., Tenorio, F. A., Howard, R., Cassman, K. G. & Grassini, P. 2022. Climate and agronomy, not genetics, underpin recent maize yield gains in favorable environments. Agricultural Sciences, 119(4), e2113629119. https://doi.org/10.1073/pnas.211362911

Ruzbehani, A., Bsaki, T., Karami, S. & Azizi, F. 2018. Evaluation of promising forage maize hybrids under Markazi province climatic condition. Applied Field Crops Research, 31(1), 87-92. (In Persian). https://doi.org/10.22092/AJ.2018.121177.1265

Shiri, M., Moharramnejad, S., Estakhr, A., Fareghi, S., Najafinezhad, H., Khavari Khorasani, S., Afarinesh, A., Anvari, K., Eshraghi-Nejad, M., & Mohseni, M. J. J. O. C. B. (2024). Determining the stability of new maize hybrids with WAASBY and MTSI indices. Journal of Crop Breeding, 16(2), 14-28. (In Persian). https://doi.org/10.61186/jcb.16.2.14

Zhang, Z., Wei, J., Li, J., Jia, Y., Wang, W., Li, J., Lei, Z. & Gao, M. 2022. The impact of climate change on maize production: Empirical findings and implications for sustainable agricultural development. Frontiers in Environmental Science, 10, 954940. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.954940.