Iranian Genetics Society
Journal of Genetics and Plant Breeding
Shahid Bahonar University of Kerman
Print ISSN : 3060-7965 Online ISSN : 3060-7271

Evaluation of agromorphological traits and genetic diversity of bell pepper inbred lines (*Capsicum annuum* L.)

Batool Momeni Gazestan

MSc Student, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: momeni12901@gmail.com

Mehdi Mohayeji

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: mohayeji@uk.ac.ir

Fatemeh Ebrahimi

Assistant Professor, Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: fa.ebrahimi@uk.ac.ir

Abstract

Objective

The aim of present study was to investigate phenotypic diversity, grouping and evaluate various traits between some of bell pepper inbred lines to identify superior inbred lines.

Materials and Methods

Seeds of 68 pure bell pepper lines, derived from a foreign cultivar using the single seed descent method, were cultivated in a completely randomized design (CRD) with two replications at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Sixteen quantitative and qualitative traits were evaluated. Analysis of variance (ANOVA) and cluster analysis of the data were performed using SPSS software, and principal component analysis (PCA) was conducted using XLSTAT software.

Results

The results of the analysis of variance revealed that the bell pepper inbred lines exhibited significant differences in all phenological, morphological, and agronomic traits, except for fruit peduncle thickness, fruit peduncle length, pericarp thickness, and fruit number. The results of mean comparison indicated that line 21 had the longest duration for all evaluated phenological traits, including days to flowering, days to fruiting, and days to maturity. It also recorded the

highest values for fruit weight and diameter. Lines 12 and 13 exhibited the greatest plant height and number of nodes. Traits such as days to flowering, days to fruiting, plant height, fruit length, and fruit diameter showed high heritability. In the principal component analysis, the first component was designated as the "plant phenology component" and the second component as the "fruit size and marketability component." Cluster analysis for phenotypic traits divided the studied inbred lines into four distinct clusters. The first cluster comprised 24 inbred lines, which were mostly late-maturing and had medium to low fruit weight and diameter; these lines also had medium plant height. The second, third, and fourth clusters contained 10, 15, and 19 inbred lines, respectively. According to the cluster analysis for qualitative traits, the inbred lines were classified into three distinct groups. The first cluster included 25 lines (37.3%), the second cluster contained 15 lines (22.4%), and the third cluster comprised 27 lines (40.3%).

Conclusion

Based on the obtained results, selection based on traits such as plant height, days to flowering, days to fruiting, and fruit length and diameter can be effective for advancing bell pepper breeding objectives. Line 21 in terms of all phenological traits and lines 12 and 13 in terms of plant height are suggested for hybrid seed production. Furthermore, to develop bell pepper hybrid cultivars and exploit heterosis, selecting superior lines from distinct clusters with greater genetic distances is recommended.

Keywords: Cluster analysis, Principal component analysis, Quantitative and qualitative traits, inbred lines of bell pepper

Paper Type: Research Paper.

Citation: Momeni Gazestan B, Mohayeji M, Ebrahimi F (2024) Evaluation of agromorphological traits and genetic diversity of bell pepper inbred lines (Capsicum annuum L.). Journal of Genetics and Plant Breeding 2(4), 31-48.

Journal of Genetics and Plant Breeding 2(4), 31-48. DOI: 10.22103/gpb.2026.26920.1035

Received: August 28, 2025 Received in revised form: November 6, 2025

Accepted: November 7, 2025 Published online: December 23, 2025

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.

© the authors

مجله ژنتیک و به نژادی گیاهی
شاپا چاپی: ۷۹۶۵-۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۷۲۷۱-۳۰۶۰
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه افضلی پور

ارزیابی صفات آگرومورفولوژیک و تنوع ژنتیکی لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum* L.)

بتول مومنی گزستان

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: momeni12901@gmail.com

مهدی مهیجی

*نویسنده مسئول: دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohayeji@uk.ac.ir

فاطمه ابراهیمی

استادیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: Fa.ebrahimi@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۶

چکیده

هدف: مطالعه حاضر با هدف بررسی تنوع فنوتیپی، گروه‌بندی و ارزیابی صفات مختلف لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای جهت شناسایی لاین‌های برتر انجام شد.

مواد و روش‌ها: بذور ۶۸ لاین خالص فلفل دلمه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان کشت شدند و ۱۶ صفت کمی و ۱۳ صفت کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس و تجزیه خوشه‌ای داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم افزار XLSTAT انجام شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که لاین‌های اینبرد فلفل در کلیه صفات به‌جز ضخامت دم میوه، طول دم میوه، ضخامت پریکارپ و تعداد میوه تفاوت معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که لاین ۲۱ از نظر تمامی صفات فنولوژیک مورد بررسی و از نظر وزن و قطر میوه نیز بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین لاین‌های ۱۲ و ۱۳ بیشترین ارتفاع و تعداد

گره را داشتند. صفات روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی، ارتفاع گیاه، طول و قطر میوه وراثت‌پذیری عمومی بالا داشتند. در تجزیه مولفه‌های اصلی، مولفه اول به‌عنوان مولفه فنولوژیکی گیاه و مولفه دوم به‌عنوان مولفه اندازه میوه و بازارپسندی میوه نام‌گذاری شدند. تجزیه خوشه‌ای برای صفات فنوتیپی لاین‌های اینبرد مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم کرد. در گروه اول ۲۴ لاین اینبرد قرار گرفتند که اغلب دیررس و دارای وزن و قطر میوه متوسط و کم بودند. همچنین لاین‌های موجود در این گروه از نظر ارتفاع گیاه متوسط بودند. در گروه دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۱۹ لاین اینبرد قرار گرفتند. نتایج تجزیه خوشه‌ای برای صفات کیفی، لاین‌های اینبرد را در سه گروه قرار داد. خوشه اول ۳۷/۳ درصد از لاین‌ها (۲۵ لاین)، خوشه دوم ۲۲/۴ درصد از لاین‌ها (۱۵ لاین) و خوشه سوم ۴۰/۳۰ درصد از لاین‌ها (۲۷ لاین) را دربرگرفت.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به‌دست آمده، گزینش بر اساس صفات ارتفاع گیاه، روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی، طول و قطر میوه فلفل دلمه‌ای می‌تواند جهت پیشبرد اهداف اصلاحی موثر باشد. لاین ۲۱ از نظر تمامی صفات فنولوژیک، وزن و قطر میوه و لاین‌های ۱۲ و ۱۳ از نظر ارتفاع گیاه برتری نشان دادند. همچنین برای تولید ارقام هیبرید فلفل دلمه‌ای و بهره‌گیری از پدیده هتروزیس، انتخاب لاین‌های برتر از خوشه‌های مختلف با فاصله ژنتیکی بیشتر پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مولفه‌های اصلی، صفات کمی و کیفی، لاین‌های خالص فلفل دلمه‌ای.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: مومنی گرجستان بتول، مهیجی مهدی، ابراهیمی فاطمه (۱۴۰۴) ارزیابی صفات آگرومورفولوژیک و تنوع ژنتیکی لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum* L.). *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۲(۴)، ۴۸-۳۱.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society

© the authors

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. متعلق به خانواده Solanaceae است. این گیاه دیپلوئید و دارای 2n=2x=24 کروموزوم است. فلفل حاوی ویتامین‌های ضروری مانند ویتامین ث و مواد کانی مورد نیاز بدن می‌باشد. همچنین منبع غنی کاروتنوئیدها، مواد فنولیک و پتاسیم است که منجر به ارزش غذایی بالای این گیاه می‌شود (Mohammadi et al. 2018).

تولید لاین‌های اینبرد مختلف و ارزیابی پتانسیل و ترکیب‌پذیری آن‌ها یکی از روش‌های به‌نژادی مهم جهت تولید هیبرید فلفل به‌شمار می‌رود. در واقع موفقیت روش اصلاح از طریق دورگ‌گیری به‌طور گسترده‌ای وابسته به انتخاب صحیح والدین و همچنین بررسی صفات مطلوب است (Nduwumuremyi et al. 2013; Adday 2017). آگاهی از تنوع ژنتیکی در گونه‌های

گیاهی برای انتخاب نژادهای والدینی در جهت حصول هیبریدهای مناسب و پیشبینی بنیه هیبرید، بهویژه در محصولاتی که هیبرید آن‌ها ارزش تجاری دارند، مهم است (Mohammadi & Prasanna 2003). ارزیابی صفات و تنوع گیاه فلفل برای صفات مهم از اهداف اصلی برنامه‌های به‌نژادی فلفل است. عملکرد یک صفت پیچیده است که متاثر از صفات دیگر می‌باشد. از مهمترین صفات مربوط به فلفل، صفت عملکرد میوه و صفات وابسته به عملکرد هستند که در بازارپسندی میوه تاثیر زیادی دارند (Zarebayati et al. 2022). صفت وزن میوه که از مهمترین اجزاء عملکرد در فلفل می‌باشد در اغلب مطالعات همبستگی بالایی را با عملکرد در فلفل نشان داده و درخصوص این صفت وراثت پذیری بالایی گزارش شده است (Salehian et al. 2022; Bagheri et al. 2017; Jabbari & Darvishzadeh 2023). در پژوهشی دیگر اندازه‌گیری برخی صفات از جمله وزن میوه را برای گزینش لاین‌های فلفل مناسب و مهم بیان کردند (Testoni et al. 1983). تعداد میوه از جمله صفات مهم دیگر در فلفل است که تاثیر زیادی در عملکرد دارد و انتخاب بر اساس این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد میوه فلفل مفید باشد. این صفت دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم مثبت بر عملکرد میوه است و همبستگی بالای آن با عملکرد در مطالعات متعدد گزارش شده است (Salehian et al. 2022; Jabbari & Darvishzadeh 2023).

صفات مرتبط با اندازه میوه، هم از نظر عملکرد و هم از نظر بازارپسندی، حائز اهمیت فراوان هستند (Zarebayati et al. 2022). در پژوهش‌های انجام شده توسط برخی از محققین دیگر همبستگی بالایی بین صفات طول میوه و قطر میوه مشاهده شده و رابطه این صفات با عملکرد مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (Jabbari & Darvishzadeh 2023؛ Lahbib et al. 2012). همچنین توارث‌پذیری بالایی برای صفات اندازه میوه در فلفل گزارش شده است (Bagheri et al. 2017).

رنگ میوه در فلفل دارای تنوع زیادی می‌باشد و با توجه به مرحله رشد میوه به‌دلیل تجمع رنگیزه‌های مختلف از سبز تا زرد و نارنجی متغیر است (Christov et al. 2021). در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام مختلف هیبرید فلفل دلمه‌ای با رنگ‌های مختلف میوه شامل ۶ رقم قرمز، ۵ رقم زرد و ۳ رقم نارنجی، پراکندگی و توزیع رنگ‌های مختلف میوه در گروه‌های مختلف مشاهده شد و نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان از تنوع قابل قبول بین هیبریدهای رنگی فلفل دلمه‌ای است که امکان استفاده این ارقام را در برنامه‌های به‌نژادی برای ایجاد جمعیت پایه فراهم می‌سازد. همچنین ارتباط معنی‌داری بین رنگ میوه با مواد جامد محلول در میوه فلفل مشاهده شد (Abbasi 2024). در تحقیقی بر روی تنوع ۳۵ ژنوتیپ فلفل، صفات تعداد میوه در بوته، عملکرد بوته، طول میوه، قطر میوه، و وزن میوه مورد بررسی قرار گرفتند و به شش گروه دسته‌بندی شدند. الگوی خوشه‌بندی نشان داد که هیچ ارتباطی بین توزیع جغرافیایی ژنوتیپ‌ها و تنوع ژنتیکی حاصل وجود نداشت. صفات مورد بررسی نقش غالب در بهبود عملکرد بین ژنوتیپ‌های فلفل داشتند و گزینش برای والدین متفاوت جهت تولید هیبرید برتر، براساس این ویژگی‌ها در فلفل توصیه شد (Sreelathakumary & Rajamony 2004).

گام اول جهت انجام برنامه‌های اصلاحی هدفمند به‌منظور دستیابی به تولید ارقام هیبرید F1 با عملکرد بالا و بازارپسندی مطلوب، جمع‌آوری لاین‌های خالص مطلوب و بررسی تنوع ژنتیکی آن‌ها است. شناسایی ژنوتیپ‌های کارآمد برای استفاده مستقیم

به‌عنوان واریته یا به‌عنوان والدین جهت ورود به برنامه‌های تولید بذر هیبرید، مستلزم برآورد بسیاری از ویژگی‌ها به‌عنوان معیار تنوع ژنتیکی و همچنین شناسایی صفات تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی است. نشانگرهای مبتنی بر ریخت‌شناسی با وجود سادگی و قدمت، هنوز هم ابزاری ضروری، ارزان و کارآمد در مطالعات تنوع ژنتیکی گیاهان هستند. آن‌ها پلی بین ژنوتیپ (ساختار ژنتیکی) و فنوتیپ (ظاهر گیاه) ایجاد می‌کنند و اطلاعات مستقیم و کاربردی برای به‌نژادگران فراهم می‌کنند. همچنین ارزیابی مستقیم صفات مهم و غربالگری اولیه را تسهیل می‌کنند (Soares et al. 2017). لذا مطالعه حاضر بر روی جمعیت بسیار متنوع از لاین‌های اینبرد مختلف فلفل با اهداف زیر انجام شد: ۱) بررسی تنوع فنوتیپی و گروه‌بندی لاین‌های اینبرد مختلف ۲) ارزیابی صفات مختلف در لاین‌های اینبرد فلفل ۳) شناسایی لاین‌های اینبرد برتر به‌عنوان والدین جهت ورود به برنامه‌های تولید بذر هیبرید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۶۸ لاین اینبرد فلفل دلمه‌ای ایجاد شده از یک رقم خارجی از طریق روش بالک تک بذر، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ابتدا بذور به‌مدت ۲۴ ساعت در محلول اسید کلریدریک نگهداری و تیمار گردید. سپس با آب مقطر شست‌وشو و در اواسط فروردین ماه در سینی‌های مخصوص کشت گردیدند. نشاءها در اوایل تیرماه در مرحله ۴ الی ۶ برگی به گلدان‌های ۷ سانتیمتری حاوی کوکوپیت، پرلیت و ورمی کمپوست منتقل شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا و در تمام طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی مانند آبیاری و کوددهی با محلول هوگلند تغییریافته صورت گرفت. هرس و حذف شاخه و برگ‌های اضافی و بستن بوته‌ها با قیم و کلیه مراقبت‌های زراعی تا پایان فصل رشد به‌صورت منظم انجام شد تا گیاهان برای بررسی صفات از رشد یکسان و مطلوبی برخوردار باشند. پس از تشکیل میوه و رسیدگی کامل اقدام به برداشت میوه‌ها شد.

صفات در سه گروه ریخت‌شناسی، فنولوژیک و زراعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات فنولوژیک شامل روز تا گلدهی، روز تا آغاز میوه‌دهی، روز تا رسیدن کامل میوه بود. صفات زراعی شامل عملکرد میوه بالغ رسیده، طول میوه (میلی‌متر) و قطر میوه (میلی‌متر) بودند که با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری میانگین ضخامت پریکارپ میوه (میلی‌متر) نیز با ایجاد برش عرضی در میوه‌های هر بوته و اندازه‌گیری قطر پریکارپ در نواحی مختلف هر میوه با استفاده از کولیس انجام شد. علاوه بر آن ارتفاع بوته در پایان دوره رشد برحسب سانتی‌متر با متر اندازه‌گیری شد. تعداد گره‌ها، فاصله میانگره‌ها در ساقه (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ (سانتی‌متر) با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. صفات ریخت‌شناسی شامل تعداد لوب، شکل میوه در برش طولی، شکل میوه در برش عرضی (بیضی، زاویه‌دار، دایره‌ای)، وضعیت میوه (ایستاده، افقی، آویخته)، موجدار بودن برون بر در قسمت قاعده (ندارد یا بسیارکم، کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد)، رنگ میوه قبل از رسیدن (سفید، فسفری، سبز کم‌رنگ، سبز، بنفش، بنفش تیره)، رنگ میوه در زمان رسیدن (زرد، نارنجی، قرمز، شکلاتی، زرشکی، قهوه‌ای)، شدت رنگ میوه در زمان رسیدن (روشن، متوسط، تیره)،

براق بودن میوه (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد)، شکل نوک میوه (بسیار تیز، نسبتا تیز، مدور، کمی فرورفته، بسیار فرورفته)، ضخامت دم میوه (میلی‌متر)، طول دم میوه (میلی‌متر) و شدت رنگ سبز برگ (بسیار روشن، روشن، متوسط، تیره، بسیار تیره) بود. تجزیه واریانس صفات کمی در قالب طرح کاملاً تصادفی و تجزیه خوشه‌ای داده‌های صفات ریخت‌شناسی و فنولوژیک مورد بررسی با استفاده از روش وارد و نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شد. همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای برای صفات ریخت‌شناسی، فنولوژیک و زراعی نشان داد که لاین‌های اینبرد فلفل در صفات فنولوژیک روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی و روز تا رسیدن اختلاف بسیار معنی‌دار داشتند (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد لاین‌های اینبرد فلفل برای صفات زراعی میانگین وزن میوه، طول میوه، قطر میوه بالغ رسیده، ارتفاع بوته، تعداد گره‌ها، فاصله میانگره‌ها در ساقه، طول و عرض برگ تفاوت بسیار معنی‌دار داشتند و برای صفات تعداد میوه، ضخامت و طول دم میوه و ضخامت پریکارپ تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۱). این امر نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بسیار بالا و قابل ملاحظه‌ای از لحاظ صفات موردبررسی و امکان گزینش برای این صفات در میان لاین‌های اینبرد فلفل مورد مطالعه و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد. در تحقیقی ارزیابی ویژگی‌های لاین‌های گزینش‌شده از توده‌های فلفل بومی تنوع قابل ملاحظه‌ای در صفات مهم مشاهده شد و امکان انتخاب والد مورد نظر در صفات مورد بررسی جهت تلاقی‌های هدف‌دار گزارش شد (Keshavarz et al. 2015). بررسی تنوع ژنتیکی بین لاین‌های اینبرد مختلف در فلفل نشان داد که بین لاین‌ها از نظر صفات مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Keshavarz et al. 2015; Roudbari & Nozari 2025). همچنین Bagheri et al. (2017) نیز در تحقیقی مشابه روی فلفل در صفات ارتفاع گیاه، عملکرد، طول میوه، عرض میوه و قطر ساقه اختلاف معنی‌داری را مشاهده کردند.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای

Table 1. ANOVA results of different traits in bell pepper inbred lines

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares							
		روز تا گلدهی Day to flowering	روز تا میوه دهی Day to fruiting	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد گره Node numbers	فاصله میانگره Internodal length	میانگین وزن میوه Fruit wight mean
لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای Bell Pepper inbred lines	67	514.65**	978.10**	6.25**	1.79**	1670.91**	43.59**	1.64**	234.19**
خطا Error	68	111.81	286.43	2.31	0.630	325.37	12.42	0.65	112.98
ضریب تغییرات CV%		0.11	0.13	0.10	0.09	0.15	0.17	0.13	0.29

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای

Table 1. continued. ANOVA results of different traits in bell pepper inbred lines

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares							
		روز تا رسیدن میوه Day to ripening	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	تعداد لوب Lobe number	تعداد میوه Fruit Number	ضخامت دم میوه Peduncle Thickness	طول دم میوه Peduncle length	ضخامت پریکارپ Pericarp thickness
لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای Bell Pepper inbred lines	67	1800.24**	184.39**	72.70**	0.29*	5.72^{ns}	2.48^{ns}	31.23^{ns}	0.65^{ns}
خطا Error	68	747.31	53.66	25.37	0.14	5.53	22.75	18.40	0.43
ضریب تغییرات CV%		0.14	0.11	0.12	0.13	0.62		0.19	

مقایسه میانگین صفات مختلف در لاین‌های اینبرد فلفل: مقایسه میانگین ۶۸ لاین اینبرد فلفل نشان داد که لاین‌های ۸۴، ۷۱، ۲۱، ۱۴ و ۱۲ بیشترین طول دوره گلدهی را نسبت به سایر لاین‌ها داشتند و اختلاف معنی‌داری بین این لاین‌ها از نظر طول دوره گلدهی وجود نداشت. همچنین لاین‌های ۲۵، ۲۱ و ۱۵ به‌ترتیب با میانگین ۱۸۸، ۱۷۶ و ۱۷۰روز بیشترین طول میوه‌دهی را در بین لاین‌ها به خود اختصاص دادند و لاین‌های ۲۱، ۲۰ و ۴۱ به‌ترتیب با میانگین ۲۷۲، ۲۵۴ و ۲۴۸ روز در بالاترین گروه از نظر تعداد روز تا رسیدن میوه قرار گرفتند (جدول ۲). به‌طور کلی لاین ۲۱ از نظر تمامی صفات فنولوژیک مورد بررسی شامل روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی و روز تا رسیدن بیشترین طول دوره را به خود اختصاص داد و لاین‌های ۳۴، ۲۷، ۵۶، ۶۴ و ۴۶ کمترین طول دوره گلدهی، میوه‌دهی و رسیدن میوه را داشتند. طول دوره رسیدگی با توجه به طول فصل رشد در هر منطقه مهم می‌باشد. به‌طوری‌که استفاده از ژنوتیپ‌های زودرس به‌ویژه در مناطقی با طول فصل رشد کوتاه‌تر و یا در کاشت تأخیری بسیار مهم می‌باشد. همچنین ژنوتیپ‌های دیررس که اغلب عملکرد بهتری را نشان می‌دهند در مناطق با طول فصل رشد طولانی‌تر و بارندگی مناسب مطلوب می‌باشند.

دامنه تغییرات میانگین وزن میوه بالا بین ۱۶/۸۳ تا ۷۴ گرم متغییر بود. به‌طوری‌که بر اساس نتایج مقایسه میانگین، لاین‌های ۶۹، ۳۳ و ۲۱ به‌ترتیب با میانگین ۷۴، ۶۸/۵ و ۶۲ گرم، بیشترین وزن میوه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). صفت وزن میوه از مهمترین اجزاء عملکرد در فلفل می‌باشد که تاثیر زیادی در عملکرد فلفل دارد و انتخاب بر اساس این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد میوه فلفل مفید باشد. محققان در پژوهشی اندازه‌گیری برخی صفات از جمله وزن میوه را برای گزینش لاین‌های فلفل مناسب و مهم بیان کردند (Testoni et al. 1983). نتایج تحقیقی شان داد صفات مرتبط با اندازه میوه هم از نظر عملکرد و هم از نظر بازارپسندی حائز اهمیت فراوان است (Zarebayati et al. 2022).

نتایج مقایسه میانگین طول میوه حاکی از آن است که لاین‌های ۳۲، ۶۹ و ۴۱ به‌ترتیب با میانگین ۱۰۰، ۹۴/۹۶ و ۸۷/۹۸ میلی‌متر دارای بیشترین طول میوه بودند و لاین‌های ۷۳، ۷۹، ۸۱، ۳ و ۵۳ کمترین مقدار طول میوه را دارا بودند (جدول ۲). از نتایج مقایسه میانگین قطر میوه مشخص گردید که لاین‌های ۲۱ و ۸۰ به‌ترتیب با میانگین ۶۲/۱۴ و ۵۲/۹۸ میلی‌متر بیشترین قطر میوه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

از نتایج مقایسه میانگین ارتفاع گیاه مشخص گردید لاین‌های ۱۲، ۱۳، ۴۷ و ۳۰ به‌ترتیب با میانگین ۱۹۲، ۱۹۲، ۱۸۵و ۱۷۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع گیاه را به خود اختصاص دادند و لاین‌های ۲۵ و ۲۹ در پایین‌ترین گروه از لحاظ ارتفاع گیاه بودند (جدول ۲). لاین‌های ۱۳، ۱۲، ۶۸، ۲۰، ۵۲، ۱۴ و ۴۱ به‌ترتیب با میانگین ۳۰/۵، ۲۹/۵، ۲۹/۵، ۲۹، ۲۹، ۲۸/۵ و ۲۸/۵ در بالاترین گروه از نظر تعداد گره قرار داشتند و لاین‌های ۴۰ و ۷۴ به‌ترتیب با میانگین ۱۱/۶۳ و ۸/۴۳ سانتی‌متر، بیشترین فاصله میانگره را داشتند (جدول ۲).

در مقایسه میانگین طول برگ، لاین‌های ۳۵، ۶۰، ۲۴، ۶۴، ۸۱، ۱۵ به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۰، ۱۹/۵، ۱۹، ۱۹، ۱۹، ۱۸/۵ سانتی‌متر بیشترین و لاین‌های ۲۴، ۳۰، ۶۴، ۳۹، ۵۸، ۷، ۸۱، ۱۲، ۱۵، ۶۹ و ۸۳ به‌ترتیب با میانگین ۱۱، ۱۱، ۱۰/۷۵، ۱۰/۷۵، ۱۰/۵، ۱۰/۵، ۱۰/۲۵، ۱۰/۲۵، ۱۰/۲۵، ۱۰/۲۵ و۱۰/۲۵ سانتی‌متر بیشترین عرض برگ را دارا بودند (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد لوب مربوط به لاین‌های ۷۰ و ۷۴ بود (جدول ۲).

پارامترهای ژنتیکی: نتایج ضرایب تنوع فنوتیپی، ژنتیکی و وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی صفات مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است. در بین صفات مورد مطالعه، صفت میانگین وزن میوه، بیشترین تغیرات فنوتیپی و ژنتیکی را به خود اختصاص داد. با توجه به اینکه میانگین وزن میوه یکی از اجزای مهم عملکرد است و وراثت‌پذیری نسبتاً متوسطی را نشان داد، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب بر اساس این صفت می‌تواند تا حدودی برای بهبود عملکرد میوه موثر باشد که در توافق با نتایج Ghazizadeh et al. (2010) بود. همچنین اختلاف اندک بین ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی و وراثت‌پذیری بالا در صفات طول و قطر میوه که دو صفت مهم در فلفل محسوب می‌شوند (جدول ۳)، بیانگر این است که منشا بیشتر تنوع مشاهده شده برای این صفات ژنتیکی بوده است و کمتر تحت تاثیر محیط هستند. تحقیقات نشان داده است که وراثت‌پذیری تعداد میوه در بوته، طول میوه، قطر میوه و وزن میوه بسیار بالا بوده که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کمتر ایـن صفات از عوامل محیطی است و برای تعیین برتری بین لاین‌های مختلف بسیار مناسب است (Magaji 2014). در تحقیقی دیگر وراثت پذیری بالایی برای صفات طـول میـوه، عرض میوه و ارتفاع گیاه برآورد شد که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کمتر ایـن صـفات از عوامل محیطی است (Bagheri et al. 2017). اما صفت تعداد میوه وراثت‌پذیری پایین و پیشرفت ژنتیکی کمی نشان داد (جدول ۲). بنابراین تنوع مشاهده شده در این صفت نسبت به سایر صفات کمتر ژنتیکی است و عوامل محیطی در کنترل این صفت نقش بیشتری ایفا می‌کند. انتخاب در نسل‌های اولیه برای اصلاح این صفت کمتر موثر واقع می‌شود.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مختلف بین لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای بر اساس آزمون LSD

Table 2. Mean comparisons of different traits between bell pepper inbred lines based on LSD test

میانگین وزن میوه Fruit wight mean	فاصله میانگره Internodal length	تعداد گره Nod number	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد لوب Lobe number	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	روز تا رسیدن میوه Day to ripening	روز تا میوه‌دهی Day to fruiting	روز تا گلدهی Day to flowering	لاین اینبرد Inbered Lines
35.34	6.21	28.00	174.00	2.80	38.42	67.15	9.75	18.25	208.50	151.00	131.50	1
34.76	7.68	20.00	151.00	3.25	46.33	60.13	9.50	16.75	224.50	162.00	100.50	2
23.90	7.91	9.00	71.00	3.33	42.25	47.56	9.00	15.50	219.00	159.00	127.00	3
41.13	6.05	17.00	102.50	3.75	48.46	65.45	8.25	16.00	206.50	130.00	84.50	5
33.63	6.41	19.50	125.00	2.58	37.09	57.03	8.50	14.25	195.50	146.00	93.50	6
34.80	5.27	27.50	145.00	2.63	48.36	67.03	10.50	17.50	228.50	151.00	110.00	7
47.03	5.92	17.50	103.50	3.07	46.36	63.58	8.50	14.00	172.50	121.50	85.50	9
59.00	8.13	16.00	130.00	2.00	43.24	74.12	8.00	14.00	201.00	110.00	91.00	11
41.29	6.57	29.50	192.00	3.33	45.42	65.16	10.25	17.25	202.50	162.00	139.50	12
40.73	6.37	30.50	192.00	2.80	39.94	72.36	10.00	16.25	223.50	169.00	119.50	13
47.60	5.97	28.50	170.00	2.58	49.78	69.46	9.25	15.50	210.00	156.50	144.00	14
29.95	6.79	19.00	130.00	3.00	51.98	57.58	10.25	18.50	239.50	170.50	131.00	15
19.50	6.55	20.00	131.00	3.00	31.62	60.69	9.00	15.50	232.00	155.00	91.00	16
42.25	5.59	21.00	117.50	3.00	38.03	72.76	8.50	14.25	225.00	159.50	108.50	17
17.11	5.55	22.00	122.00	2.50	27.31	69.30	9.50	14.00	188.00	120.00	86.00	18
41.00	6.24	13.00	81.50	3.00	49.85	60.45	9.50	17.00	177.00	129.50	89.00	19
30.25	5.00	29.00	147.00	2.75	30.18	64.70	9.00	11.50	254.00	169.00	117.50	20
62.00	5.54	27.00	149.00	3.00	62.14	52.78	9.25	16.50	272.00	176.50	144.00	21
42.50	5.77	13.00	75.00	2.50	41.37	65.29	8.50	14.00	177.00	127.00	84.00	22
24.33	4.66	20.00	94.00	3.00	47.93	84.86	11.00	19.00	146.00	130.00	89.00	24
27.33	4.55	11.00	50.00	3.00	41.70	81.18	8.00	14.00	220.00	188.00	102.00	25
53.25	6.38	20.50	131.00	2.75	40.19	72.20	9.50	16.00	224.50	148.50	92.00	26
43.50	4.82	17.00	80.50	3.63	48.06	52.12	7.25	14.00	143.00	93.00	84.00	27
29.00	4.86	14.00	68.00	3.00	36.00	65.00	7.00	15.00	243.00	131.00	94.00	29
39.50	7.15	24.50	175.00	3.00	51.41	62.65	11.00	17.75	224.50	145.00	88.00	30
36.75	6.77	15.50	105.00	3.75	37.69	59.76	8.00	16.50	184.00	133.00	92.00	31
18.00	7.35	20.00	147.00	2.00	35.00	100.00	7.50	16.00	236.00	164.00	108.00	32
68.50	5.44	21.00	113.00	2.58	45.84	86.06	9.50	16.75	160.50	98.50	92.00	33
43.38	6.15	15.00	90.50	3.25	45.96	57.37	8.25	16.50	149.00	92.00	82.00	34
32.13	6.98	23.00	161.00	3.08	43.81	59.90	10.00	20.00	176.00	122.00	92.00	35
29.00	7.54	22.50	169.50	3.00	34.03	63.04	8.25	15.75	202.50	132.00	91.00	36
34.97	6.38	18.00	115.00	2.50	45.38	70.83	10.75	18.25	181.00	122.50	92.00	39
51.75	11.64	11.00	128.00	2.50	45.09	74.66	9.00	14.50	181.00	129.00	84.00	40
42.75	5.92	28.50	168.50	2.58	31.50	87.99	9.00	18.25	248.00	166.00	114.50	41
41.63	7.08	24.50	161.00	3.00	43.41	72.40	8.50	15.75	225.00	152.00	91.00	42
36.58	5.16	17.50	90.50	2.75	47.43	71.85	9.50	17.50	161.00	114.50	89.50	44
38.86	5.75	19.00	109.50	3.10	34.35	68.33	9.25	17.75	170.50	110.50	88.00	45
44.17	4.69	19.50	91.50	3.17	48.64	55.02	7.50	14.25	133.50	96.00	87.00	46
34.75	6.61	28.00	185.00	2.75	36.76	72.41	8.50	16.50	243.00	103.00	91.00	47
30.07	4.80	22.00	102.50	2.58	37.76	69.52	8.00	17.00	196.50	110.50	92.00	50
30.29	5.65	17.00	96.00	3.25	34.47	64.86	7.50	12.50	157.00	106.50	89.50	51
34.58	5.45	29.00	158.00	2.31	39.81	61.56	8.00	15.00	165.00	111.50	86.00	52
23.96	6.20	16.00	100.00	3.50	41.45	50.58	9.00	15.75	170.00	101.00	88.50	53
24.00	6.40	20.00	128.00	2.83	32.37	56.38	9.00	17.50	143.00	99.00	84.00	56
35.10	5.84	23.00	133.00	2.13	32.66	77.17	10.75	17.75	200.50	147.00	98.00	58
31.13	5.89	21.50	118.50	2.35	38.92	55.35	9.75	17.25	158.50	105.00	88.00	59
28.00	5.60	20.00	112.00	2.00	33.40	68.40	8.00	19.50	239.00	153.00	110.00	60
46.33	5.94	18.50	109.00	3.17	43.01	75.28	9.75	17.00	147.00	102.00	92.00	61
22.00	5.70	23.00	131.00	2.17	28.55	57.20	9.00	16.50	221.50	161.50	107.00	62
25.85	5.46	20.50	112.00	2.70	41.52	63.49	11.00	19.00	137.00	97.00	87.50	64
17.33	6.25	16.00	100.00	2.50	27.26	53.16	8.00	12.00	186.00	129.00	91.00	65
32.17	5.11	18.00	92.00	2.50	39.00	78.87	9.00	14.50	143.00	96.00	91.00	66
18.10	5.80	17.00	100.00	3.00	37.29	62.00	8.50	15.75	232.00	118.50	96.00	67
34.10	4.72	29.50	140.00	2.67	43.58	61.85	8.50	14.50	225.50	144.00	99.50	68
74.00	6.72	18.00	120.00	3.00	42.25	94.96	10.25	16.25	213.00	142.50	116.00	69
52.33	5.79	19.00	110.00	4.00	45.64	66.17	9.00	14.00	197.00	143.00	117.00	70
34.00	6.58	12.00	79.00	3.00	40.00	62.06	7.00	11.00	216.00	164.00	147.00	71
23.17	6.21	19.00	118.00	3.00	36.24	62.96	8.50	14.00	216.00	108.00	85.00	72
20.96	6.36	22.00	140.00	2.50	38.64	45.33	9.50	16.50	188.00	140.00	88.00	73
44.07	8.44	16.00	135.00	4.00	50.00	76.42	8.50	15.50	204.00	143.00	91.00	74
43.60	6.78	18.50	125.00	3.00	39.77	73.12	8.25	15.00	213.00	136.00	89.50	76
22.76	6.25	24.50	152.50	2.25	34.06	61.39	9.00	17.75	202.50	145.50	91.00	78
22.88	6.68	21.50	143.50	2.75	36.66	45.76	9.00	18.00	246.50	156.50	109.00	79
48.13	5.44	16.00	87.00	3.25	52.99	53.30	8.25	14.50	174.00	111.00	83.00	80
38.50	6.47	17.00	110.00	3.00	52.17	47.05	10.50	19.00	186.00	129.00	104.00	81
52.56	5.34	24.00	128.00	3.00	48.90	69.03	10.25	15.75	232.00	149.50	108.50	83
47.50	7.50	14.00	105.00	2.67	39.28	72.18	7.00	12.00	240.00	165.00	147.00	84
16.83	6.85	14.00	95.50	2.87	41.28	65.90	7.50	12.50	199.37	168.50	122.50	85
7.51	0.57	2.49	12.75	0.27	3.56	5.18	0.56	1.07	19.33	11.96	7.47	LSD (5%)

در بین صفات مورد مطالعه، ارتفاع گیاه بیشترین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، واریانس ژنتیکی و پیشرفت ژنتیکی نسبت به سایر صفات را نشان داد. بنابراین این صفت دارای کنترل ژنتیکی بالا در فلفل است و انتخاب بر اساس این صفت بسیار سریع و موثر است. در پژوهشی Lahbib et al. (2012) ارتفاع گیاه را معیار مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های فلفل معرفی کردند. همچنین Ebrahimi et al. (2015) ارتفاع گیاه را معیار مناسبی جهت وجود تنوع ژنتیکی بیان نموده‌اند.

صفات فنولوژیک روز تا رسیدن میوه و روز تا شروع میوه‌دهی بعد از ارتفاع گیاه، بیشترین واریانس ژنتیکی و همچنین بالاترین واریانس فنوتیپی را در بین صفات مورد مطالعه دارا بودند (جدول ۲). همچنین هر سه صفت فنولوژیک مورد بررسی وراثت‌پذیری عمومی، واریانس افزایشی و پیشرفت ژنتیکی بالا را به خود اختصاص دادند که نشان می‌دهد بخش بزرگی از تنوع موجود برای این صفات تحت کنترل عوامل ژنتیکی می‌باشد و انتخاب برای این صفات بسیار موثر و سریع خواهد بود. Amini & Saedi (2008) وراثت‌پذیری بالا برای این صفت گزارش نمودند. Mandal & Banerjee (1997) تفاوت عکس‌العمل ارقام را به شرایط اقلیمی، عامل اختلاف آن‌ها در تعداد روز تا رسیدگی بررسی و اظهار داشتند که ارقام از نظر نیاز حرارتی و تعداد روز برای گذراندن دوره رویشی و زایشی با هم متفاوت هستند. آن‌ها همچنین میزان وراثت‌پذیری این صفات را بالا گزارش کردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

تجزیه به مولفه‌های اصلی: در برنامه‌های به‌نژادی گیاهی، تجزیه به مولفه‌های اصلی ابزاری قدرتمند برای ارزیابی تنوع ژنتیکی، شناسایی صفات کلیدی در انتخاب والدین و درک ساختار همبستگی بین صفات مختلف است. نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد دو مولفه اول ۵۲/۴۵ درصد کل تغییرات صفات را توجیه نمودند. بای‌پلات بر اساس این دو مولفه ترسیم و پراکنش ژنوتیپ‌ها بررسی گردید. ۲۸/۸۴ درصد از تغییرات به مولفه اول و ۲۳/۶۱ از تغییرات به مولفه دوم اختصاص یافت. مولفه اول با صفات فنولوژیک روز تا رسیدن میوه (۰/۸۲۰)، روز تا میوه‌دهی (۰/۸۱۰) و روز تا گلدهی (۰/۵۵۶) همبستگی مثبت و بالا نشان داد و مولفه دوم با صفات وزن میوه (۰/۷۳۸)، قطر میوه (۰/۶۴۳) و ضخامت پریکارپ میوه (۰/۶۰۰) همبستگی مثبت بالا را داشت (جدول ۴). بنابراین مولفه اول به‌عنوان مولفه فنولوژیکی گیاه و مولفه دوم به‌عنوان مولفه اندازه میوه و بازارپسندی میوه نام‌گذاری شدند. مولفه اول عمدتاً نمایانگر صفات فنولوژیک است. بارگذاری بالا و مثبت این صفات نشان می‌دهد که این مولفه یک عامل دیررسی را توصیف می‌کند. به‌عبارت دیگر، لاین‌هایی که امتیاز بالایی در این مولفه کسب می‌کنند، لاین‌هایی با دوره رشد طولانی‌تر (دیرگل و دیررس) هستند. برعکس، لاین‌هایی با امتیاز پایین در این مولفه، زودرس و دارای دوره گلدهی و میوه‌دهی کوتاه‌تری هستند. مولفه دوم به وضوح صفات کمی میوه را در بر می‌گیرد. بارگذاری بالا و مثبت این صفات نشان‌دهنده یک عامل اندازه بزرگ میوه است. لاین‌هایی که امتیاز بالایی در این مولفه دارند، میوه‌های سنگین‌تر، قطورتر و با ضخامت پریکارپ بیشتر تولید می‌کنند. همچنین صفاتی مانند طول میوه، تعداد میوه و ارتفاع گیاه بارگذاری پایینی روی هر دو مولفه داشتند. این یعنی این صفات یا واریانس کمتری در بین لاین‌ها داشته‌اند یا ساختار همبستگی متفاوتی دارند که توسط این دو مولفه اصلی توضیح داده نمی‌شود و ممکن است این صفات در مولفه‌های سوم یا چهارم با اهمیت بیشتری ظاهر شوند.

جدول ۳. برآورد اجزای واریانس، وراثت‌پذیری و ضرایب تغییرات صفات مختلف در لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای

Table 3. Estimation of variance components, heritability, and coefficients of variation of different traits in bell pepper inbred lines

صفت Traits	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	واریانس فنوتیپی Phenotyping variance	ضریب تغییرات ژنتیکی Genetic coefficient of variation	واریانس افزایشی Additive variance	ضریب تغییرات فنوتیپی Phonotypic coefficient of variation	وراثت پذیری عمومی Broad sense heritability	وراثت پذیری خصوصی Narrow sense heritability	پاسخ به گزینش Genetic gain (R)
روز تا گلدهی Day to flowering	8.39	10.72	0.03	100.28	0.03	78.27	39.14	12.82
روز تا میوه دهی Day to fruiting	16.05	22.15	0.03	134.98	0.03	72.48	36.24	17.06
روز تا رسیدن میوه Day to ripening	25.07	42.86	0.03	199.37	0.03	58.49	29.24	19.15
طول برگ Leaf length	0.08	0.13	0.02	15.88	0.02	62.93	31.47	1.14
عرض برگ Leaf width	0.02	0.04	0.02	8.95	0.02	64.70	32.35	0.62
طول میوه Fruit length	3.11	4.39	0.03	65.90	0.03	70.89	35.45	7.43
قطر میوه Fruit diameter	1.13	1.73	0.03	41.28	0.03	65.10	32.55	4.28
تعداد لوب Lobe number	0.00	0.01	0.02	2.87	0.03	49.19	24.59	0.21
تعداد میوه Fruit number	0.00	0.14	0.02	3.78	0.10	3.27	1.63	0.06
ارتفاع گیاه Plant height	28.03	34.81	0.04	122.40	0.05	80.53	40.26	23.76
تعداد گره Node number	0.65	0.91	0.04	20.05	0.05	71.49	35.75	3.41
فاصله میانگره Internodal length	0.02	0.03	0.02	6.20	0.03	60.36	30.18	0.56
میانگین وزن میوه Fruit weight mean	2.69	5.20	0.05	36.30	0.06	51.75	25.88	5.90
طول دم میوه Peduncle length	0.31	0.74	0.02	22.58	0.04	41.06	20.53	1.77

شکل ۱ پراکنش لاین‌ها را بر اساس دو مولفه نشان می‌دهد. لاین‌های واقع در ربع سمت راست بالا، دیررس و دارای میوه‌های درشت هستند، لاین‌های واقع در ربع سمت چپ پایین، زودرس و دارای میوه‌های کوچک هستند، لاین‌های واقع در ربع سمت راست پایین، دیررس اما با میوه‌های کوچک هستند و لاین‌های واقع در ربع سمت چپ بالا، زودرس و با میوه‌های درشت هستند. این لاین‌ها از نظر اصلاحی بسیار ارزشمند هستند، زیرا دو ویژگی مطلوب (زودرسی و اندازه بزرگ میوه) را با هم ترکیب کرده‌اند. لاین‌هایی که در بای‌پلات به هم نزدیک هستند، از نظر صفات مورد بررسی شبیه به یکدیگراند، در حالی‌که لاین‌های دور از هم، دارای تفاوت ژنتیکی قابل‌توجهی هستند و برای ایجاد جدایش ژنتیکی در برنامه‌های هیبریدسازی مناسب‌ترند.

نتایج این تجزیه نشان داد که تنوع ژنتیکی در لاین‌های اینبرد فلفل مورد مطالعه، عمدتاً توسط دو گروه مستقل از صفات شامل گروه صفات فنولوژیک (زمان‌بندی بلوغ) و گروه صفات مرتبط با اندازه میوه کنترل می‌شود. این دو گروه از صفات روی مولفه‌های متفاوتی بارگذاری شده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده عدم همبستگی قوی بین این دو مجموعه صفت است و انتخاب برای

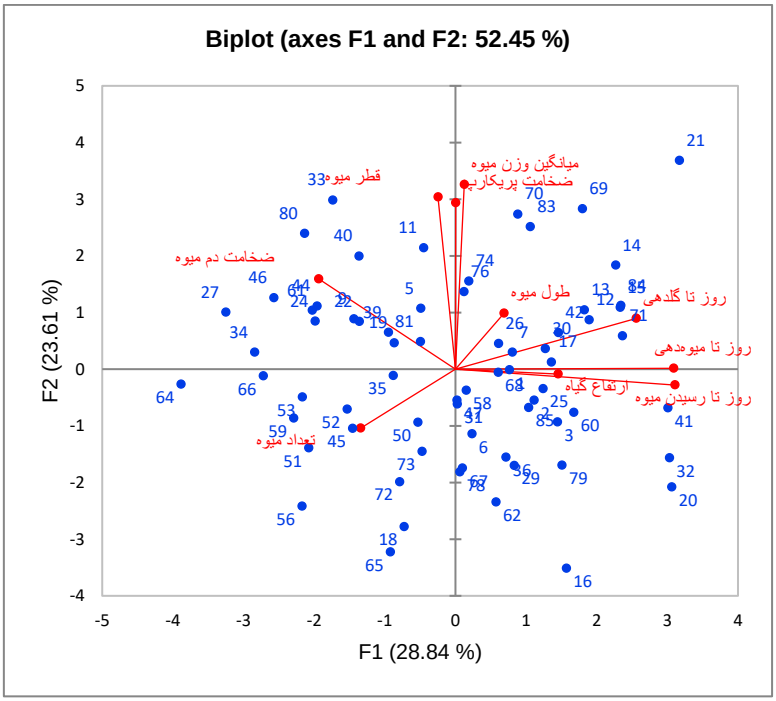
یکی از این ویژگی‌ها (مثلاً زودرسی) لزوماً منجر به از دست رفتن ویژگی دیگر (مثلاً اندازه بزرگ میوه) نخواهد شد. بنابراین، امکان انتخاب همزمان برای هر دو ویژگی مطلوب (گیاهان زودرس با میوه درشت) وجود دارد.

جدول ٤. مولفه‌های اول و دوم در تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات مهم در لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای

Table 4. The first and second components in the principal component analysis for important traits in bell pepper inbred lines

مولفه دوم	مولفه اول	صفات
PC2	**PC1**	Traits
0.056	0.556	روز تا گلدهی Day to flowering
0.000	0.810	روز تا میوه‌دهی Day to fruiting
0.005	0.820	روز تا رسیدن میوه Day to ripening
0.067	0.040	طول میوه Fruit length
0.643	0.005	قطر میوه Fruit diameter
0.076	0.153	تعداد میوه Fruit number
0.001	0.180	ارتفاع گیاه Plant height
0.738	0.001	میانگین وزن میوه Fruit weight mean
0.177	0.318	ضخامت دم میوه Peduncle Thickness
0.600	0.000	ضخامت پریکارپ Pericarp thickness

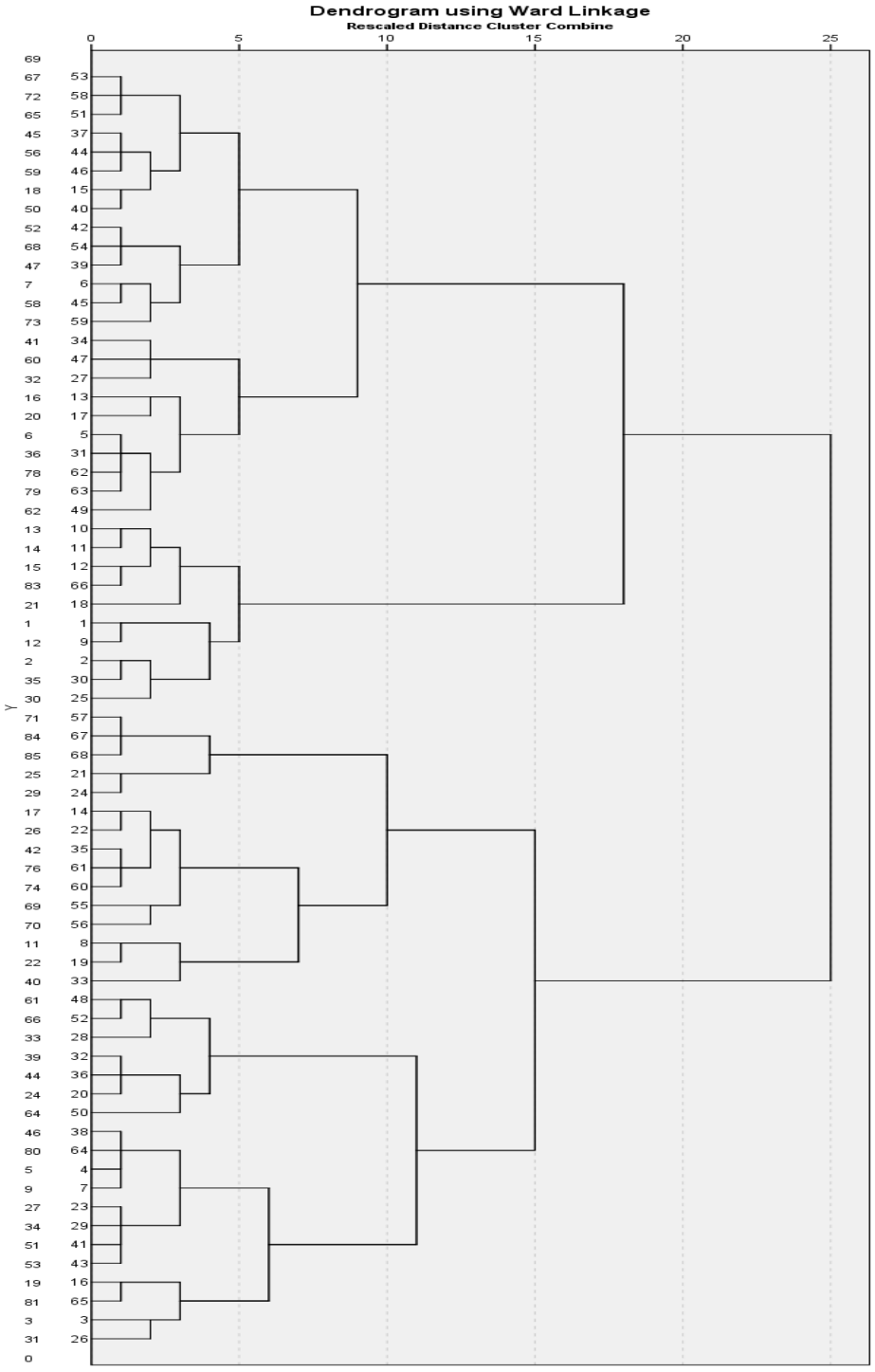
تجزیه خوشه‌ای اینبردلاین‌های مورد مطالعه بر اساس صفات فنولوژیک و زراعی: نتایج تجزیه کلاستر برای صفات فنوتیپی بر اساس روش وارد اینبردلاین‌های مورد مطالعه را به چهار گروه جداگانه تقسیم کرد (شکل۲). در گروه اول ۲۴ لاین اینبرد قرار گرفت که اغلب دیررس و دارای وزن و قطر میوه متوسط و کم بودند. همچنین لاین‌های موجود در این گروه از نظر ارتفاع گیاه متوسط بودند. در گروه دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۱۹ لاین اینبرد قرار گرفت. لاین‌های با ارتفاع بوته بالا در گروه دوم بودند. همچنین لاین‌های با وزن میوه بالا و متوسط، تعداد میوه کم و طول میوه بالا در گروه سوم قرار داشتند. اغلب لاین‌های با ارتفاع بوته کم در گروه چهارم واقع شدند. گروه‌بندی بر اساس داده‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌ها نشان داد که کدام لاین‌های اینبرد دارای مجموعه‌ای از خصوصیات مشترک هستند و می‌توانند در یک گروه قرار داده شوند.



شکل ۱. پراکنش لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای مورد مطالعه بر اساس دو مولفه اول در تجزیه به مولفه‌های اصلی

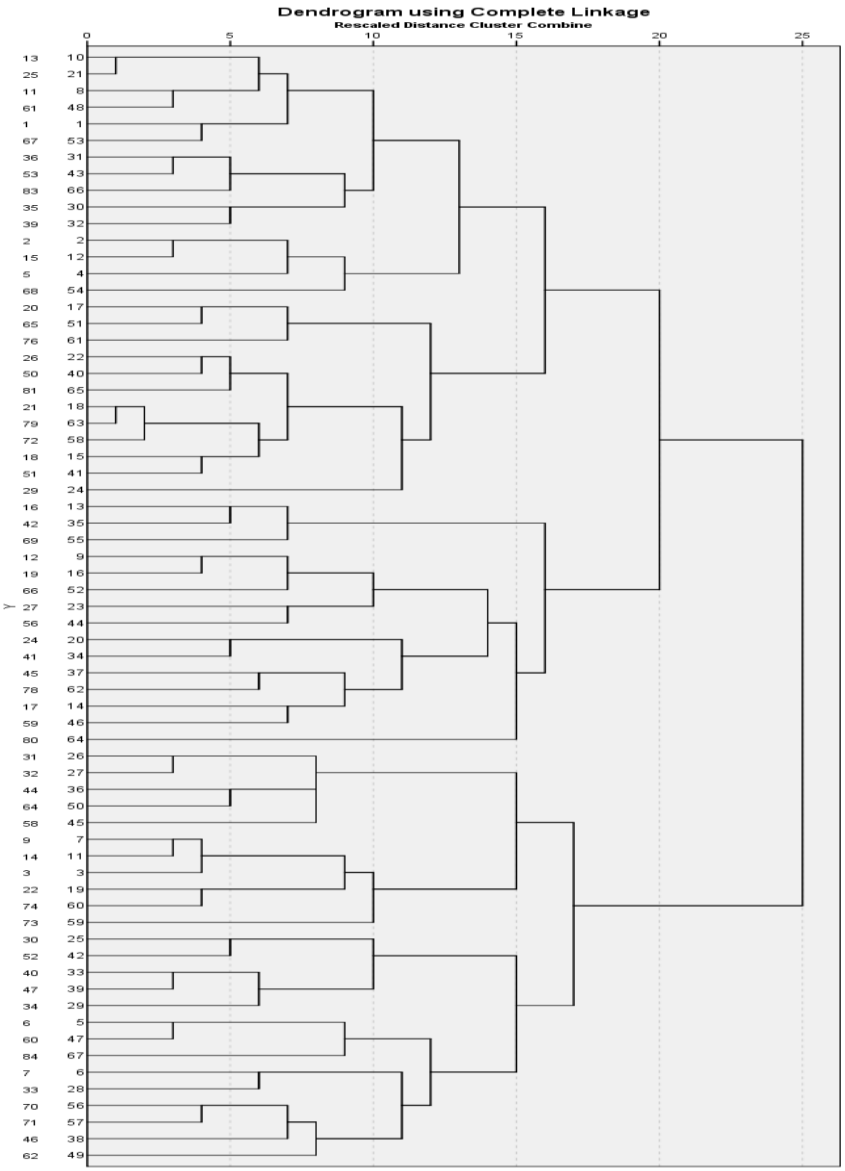
Figure 1. Biplot of studied Inbred lines based on two first principal components in principal component analysis

تجزیه خوشه‌ای اینبردلاین‌های مورد مطالعه بر اساس صفات کیفی: تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات کیفی به‌روش وارد نشان داد لاین‌های اینبرد موردمطالعه در سه گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۳). تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌ها به چند خوشه مجزا، نشان می‌دهد که در میان لاین‌های مورد مطالعه، تنوع ژنتیکی مطلوبی برای صفات کیفی وجود دارد. این تنوع، یک دارایی ارزشمند برای بهبود این محصول است. خوشه اول ۳۷/۳ درصد از لاین‌ها (۲۵ لاین) را به خود اختصاص داد، خوشه دوم ۲۲/۴ درصد از لاین‌ها (۱۵ لاین) و خوشه سوم ۴۰/۳۰ درصد از لاین‌ها (۲۷ لاین) را دربرگرفت. نتایج حاکی از آن است اغلب لاین‌هایی که شدت رنگ میوه آن‌ها قبل از رسیدن روشن بود و میوه‌های آن‌ها قبل از رسیدن سفید، فسفری و سبزکم رنگ و در زمان رسیدن میوه‌هایی به رنگ زرد، قرمز و نارنجی داشتند در گروه اول و لاین‌هایی که شدت رنگ میوه قبل از رسیدن تیره بود در گروه سوم قرار گرفتند. رنگ میوه‌های این گروه قبل از رسیدن به رنگ بنفش و بنفش تیره و در زمان رسیدن به رنگ شکلاتی، زرشکی و قهوه‌ای بودند. نحوه اتصال خوشه‌ها در دندروگرام نشان می‌دهد که خوشه‌های ۱ و ۲ نسبت به خوشه ۳ از نظر صفات کیفی به یکدیگر نزدیک‌تر هستند. بنابراین نتاج حاصل از تلاقی بین لاین‌های خوشه ۱ وخوشه ۳ از تنوع صفاتی کیفی بالاتری برخوردار می‌باشند.



شکل ۲. تجزیه کلاستر لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای بر اساس روش وارد برای صفات فنولوژیک و زراعی

Figure 2. Cluster analysis of bell pepper inbred lines based on Ward's Method for agronomic and phonologic traits



شکل ۳. تجزیه کلاستر لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای بر اساس روش وارد برای صفات کیفی

Figure 3. Cluster analysis of bell pepper inbred lines based on Ward's Method for qualitative traits

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بیانگر تنوع قابل ملاحظه‌ای در بین لاین‌های اینبرد فلفل دلمه‌ای از نظر اغلب صفات بود. انتخاب بر اساس صفات ارتفاع گیاه، روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی، طول و قطر میوه می‌تواند موثر باشد. لاین ۲۱ از نظر تمامی صفات فنولوژیک، وزن و قطر میوه و همچنین لاین‌های ۱۲ و ۱۳ از نظر ارتفاع گیاه برتری نشان دادند. برای تولید ارقام هیبرید فلفل دلمه‌ای و بهره‌گیری از پدیده هتروزیس، انتخاب لاین‌های برتر از خوشه‌های مختلف با فاصله ژنتیکی بیشتر پیشنهاد می‌شود.

References

Abbasi, Z. (2024). Multivariate analysis of qualitative and quantitative traits in bell pepper hybrid cultivars. *Journal of Vegetables Sciences*, *15*(1), 153-168. [In Persian]

Adday, H. A. (2017). Estimation of heterosis, combining ability and some genetic parameters in sweet pepper. *Journal of Production*, *8*(5), 629-633. https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40494

Amini, F., & Saedi, G. H. (2008). Relationship between seed yield and its components in safflower genotypes (Carthamus tinctorius). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *12*(45), 525-535. [In Persian]

Bagheri, G., Zahedi, B., Darvishzadeh, R., & Hajiali, A. (2017). Study of morphological and physiological diversity of some sweet peppers (Capsicum annuum L.). *Journal of Horticultural Science*, *31*(1), 140-157. [In Persian]

Christov, N. K., Tsonev, S., Todorova, V., & Todorovska, E. G. (2021). Genetic diversity and population structure analysis-a prerequisite for constructing mini-core collection of Balkan Capsicum annuum germplasm. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, *35*(1), 1010-1023. https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1946428

Ebrahimi, S., Rezaei Nejad, A., Ismaili, A., & Karami, F. (2025). Physiological and phenological variability and heritability of some apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and genotypes. *Plant Genetic Research*, *1*(2), 55-70. https://doi.org/10.29252/pgr.1.2.55

Ghazizadeh, S. G., Hassani, M. E., Mohammadi, A., & Rad, M. B. (2010). Evaluation of genetic diversity in pepper (Capsicim spp.) genotypes using morphological traits. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *41*(1).

Jabbari, M., & Darvishzadeh, R. (2023). Correlation evaluation and path coefficient analysis of traits related to fruit yield in Iranian pepper (*Capsicum annum* L.) populations. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 741-753. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205.

Keshavarz, S., Bagheri, M., Ghanberi, A. K., & Mosavi, S. H. (2015). Comparison of Pure Lines Selected from Local landraces of Papper (*Capsicum annuum* L.). *Seed and Plant Journal*, *1*(31), 403-419.

Keshavarz, S., Peighambari, S. A., Zeinali Khanghah, H., Bihamta, M., & Hassandokht, M., (2019). Morphological variation of some capsicum (Capsicum annuum L.) lines using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(1), 129-140.

Lahbib, K., Bnejdi, F., & Gazzah, M. (2012). Genetic diversity evaluation of pepper (*capsicum annuum* L.) in Tunisia based on morphologic characters. *African journal of Agricultural Research*, 7(23), 3413-3417. https://doi.org/10.5897/AJAR11.2171

Magaji, G., Usman, M. Y., Rafii, M. R., Ismail, M., Malek, A., & Abdul Latif, M. (2014). Hertability and genetic advance among chili pepper genotypes for heat tolerance and

morphophysiological characteristics. *The Scientific World Journal*, 16, 1- 14. https://doi.org/10.1155/2014/308042

Mohammadi, M., Saidi, M., & Khademi, O. (2018). Evaluation of effect of gibberellins and calcium spray in different growth stages on some qualitative and quantitative traits of sweet pepper. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *48*(4), 823-832. [In Persian]

Mohammadi, S. A., & Prasanna, B. M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, *43*, 1235-1248. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235

Mandal, A. B., & Banerjee, S. P. (1997). Diallel analysis of yield and yield components in safflower. *Journal of Genetics and Breeding*, *51*, 211-215.

Nduwumuremyi, A., Tongoona, P., & Habimana, S. (2013). Mating designs: helpful tool for quantitative plant breeding analysis. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, *1*(3), 117-129.

Roudbari, Z., & Nozari, A. (2024). Selection of sweet pepper lines (*Capsicum annuum* L.) based on traits affecting fruit yield in the path of hybrid seed production. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, *1* (2), 1-16.

Salehian, M., Darvishzadeh, R., Rezazadeh Bari, M., Jabbari, M., & Jannatdoust, M. (2022). Evaluation of genetic variability of agro-morphological traits in Iranian peppers population. *Plant Production*, *45*(2), 157-168.

Soares, R. S., Da Silva, H. W., dos Santos Candido, W., & Vale, L. S. R. (2017). Correlations and path analysis for fruit yield in pepper lines (*Capsicum chinense* L.). *Comunicata Scientiae*, *8*(2), 247-255. https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1839

Sreelathakumary, I., & Rajamony, L. (2004). Genetic divergence in chilli (Capsicum annuum L.). *Indian Journal of Horticulture*, *61*(2), 137-139.

Testoni, A., Eccher Zerbini, P., & Sozzi, A. (1983). Objective quality evaluation of fruit of some sweet pepper varieties for fresh consumption. In: Belletti, P., Nassi, M.O., and Quagliotti, L. (eds.) Capsicum Newsletter 2: 73-74. *Institute of Plant Breeding and Seed Production*, Turin, Italy.

Zarebayati, A., Mostafavi, K. h., Enayati Shariatpanahi, M., Miri, S. M. (2022). Production and evaluation of general combining ability of doubled haploid lines in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(4), 965-976. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1249472/v1