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

Evaluation of quantitative and qualitative traits of commercial bell pepper hybrids and identification of yield-related traits under greenhouse conditions

Mohebeh Pourmahyabadi

MSc Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: Mohebeh.pourmahyabadi@agr.uk.ac.ir

Azam Nikbakht Dehkordi*

*Corresponding Author: Assistant Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: anikbakht@uk.ac.ir

Ghasem Mohammadi-Nejad*

*Corresponding Author: Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: mohammadinejad@uk.ac.ir

Somayeh Aminizadeh

PhD, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: s.aminizade2008@gmail.com

Abstract

Objective

Bell pepper (Capsicum annuum L.) is an economically important greenhouse vegetable valued for its yield potential, fruit quality, nutritional value, and market diversity. Because fruit yield and quality are complex traits influenced by morphological, phenological, physicochemical, and color-related characteristics, evaluating them simultaneously can help identify promising commercial hybrids. Therefore, this study evaluated quantitative and qualitative traits of commercial bell pepper hybrids and classified them based on overall phenotypic performance under greenhouse conditions.

Materials and Methods

The experiment was carried out under controlled greenhouse conditions at the research greenhouse of the Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, using a randomized complete block design (RCBD). Ten commercial bell pepper hybrids were evaluated for morphological, phenological, yield-related, physico-chemical and colorimetric traits, including plant and leaf characteristics, flowering and fruiting time, fruit yield components, pH, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA ratio, and color indices (L*, a*, b*, Hue, Chroma, and color index). Data were analyzed using analysis of variance, Duncan's multiple range test, phenotypic correlation coefficients, and hierarchical cluster analysis. For cluster analysis, standardized hybrid means were grouped based on Euclidean distance and Ward's method.

Results

Analysis of variance showed significant differences among the studied hybrids for most evaluated traits, indicating considerable phenotypic variation among the commercial hybrids. Mars showed the highest fruit yield and favorable values for fruit number and single fruit weight. Among the yellow-fruited hybrids, Harmony and Lemonchelo showed relatively high yield performance, whereas Citrin was notable for its bright yellow fruit color. In terms of phenological traits, Tormes was the earliest hybrid for flowering and first fruit formation, while Andromeda showed later fruit formation and maturity. Fruit yield was positively and significantly correlated with single fruit weight, number of fruits, and stem diameter, and negatively correlated with the length of the fourth and fifth internodes. These results suggest that fruit number and single fruit weight are useful yield-related traits for phenotypic evaluation. Hierarchical cluster analysis classified the hybrids into four main groups: (1) Tormes, Citrin, Harmony, and Lemonchelo; (2) 2090 and Nirvin; (3) Andromeda, G20, and Mars; and (4) hybrid 9908 as a separate group. This grouping reflected the combined variation in yield, fruit quality, phenology, morphology, and color-related traits.

Conclusion

The results demonstrated substantial variation among commercial bell pepper hybrids for yield, quality, phenological, morphological, and color-related traits. Mars showed superior performance in terms of fruit yield; Harmony and Lemonchelo showed favorable performance among yellow-fruited hybrids; Citrin was distinguished by its attractive yellow fruit color; and Tormes showed earlier flowering and first fruit formation. Overall, the simultaneous use of yield-related traits, fruit quality characteristics, colorimetric indices, and cluster analysis provided a comprehensive basis for distinguishing commercial bell pepper hybrids under greenhouse conditions. Further evaluation under different seasons and production conditions is recommended to confirm the

stability of these traits and the suitability of the selected hybrids for greenhouse production and breeding programs.

Keywords: Bell pepper; Colorimetry; Cluster analysis; Fruit quality; Fruit yield.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Pourmahyabadi M, Nikbakht-Dehkordi A, Mohammadi-Nejad G, Aminizadeh S (2025) Evaluation of quantitative and qualitative traits of commercial bell pepper hybrids and identification of yield-related traits under greenhouse conditions. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 2 (4), 73-100.

Journal of Genetics and Plant Breeding 2 (4), 73-100. DOI: 10.22103/gpb.2026.27407.1042

Received: September 10, 2025. Received in revised form: December 5, 2025.

Accepted: December 8, 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 کمی و کیفی هیبریدهای تجاری فلفل دلمه‌ای و شناسایی صفات مرتبط با عملکرد در شرایط گلخانه‌ای

محبه پورمحی‌آبادی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: Mohebeh.pourmahyabadi@agr.uk.ac.ir

اعظم نیک‌بخت دهکردی

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

قاسم محمدی‌نژاد

نویسنده مسئول: استاد ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohammadinejad@uk.ac.ir

سمیه امینی‌زاده

دانش‌آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: s.aminizade2008@ gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷

چکیده

هدف: انتخاب هیبریدهای مناسب فلفل‌دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.)برای تولید در شرایط گلخانه‌ای، مستلزم ارزیابی جامع عملکرد میوه و صفات مرتبط باکیفیت آن است .تفاوت‌های موجود میان هیبریدهای تجاری از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فنولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و رنگ‌سنجی، ضرورت بررسی هم‌زمان این صفات را آشکار می‌سازد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تنوع صفات کمی و کیفی در ده هیبرید تجاری فلفل‌دلمه‌ای، شناسایی صفات مرتبط با عملکرد میوه و گروه‌بندی هیبریدها بر اساس مجموعه ویژگی‌های فنوتیپی آن‌ها در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی پژوهشگاه افضلی‌پور دانشگاه شهید باهنر کرمان، تحت شرایط کنترل‌شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. در این آزمایش، ۱۰ هیبرید تجاری فلفل‌دلمه‌ای از نظر صفات مورفولوژیکی بوته و برگ، صفات فنولوژیکی شامل زمان گلدهی و تشکیل میوه، اجزای عملکرد میوه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل pH عصاره میوه، مواد جامد محلول کل(TSS) ، اسیدیته قابل تیتر (TA) و نسبت TSS/TA و همچنین شاخص‌های رنگ‌سنجی شامل L*، a*، b*، زاویه رنگ(Hue) ، کروما (Chroma) و شاخص رنگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های حاصل با استفاده از تجزیه واریانس، آزمون چند دامنه‌ای دانکن، محاسبه ضرایب همبستگی فنوتیپی و تجزیه خوشه‌ای بررسی شدند. به‌منظور گروه‌بندی هیبریدها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین‌های استانداردشده صفات، با استفاده از فاصله اقلیدسی و روش وارد انجام شد.

نتایج و بحث :نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین هیبریدهای موردمطالعه از نظر بیشتر صفات ارزیابی‌شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت که بیانگر تنوع فنوتیپی قابل‌توجه در میان هیبریدهای تجاری بود. هیبرید Mars بیشترین عملکرد میوه را نشان داد و از نظر تعداد میوه و وزن تک میوه نیز دارای مقادیر مطلوبی بود. در میان هیبریدهای زرد، Harmonyو Lemonchelo از عملکرد نسبتاً بالایی برخوردار بودند، درحالی‌که هیبرید Citrin به دلیل رنگ زرد روشن میوه متمایز بود. از نظر صفات فنولوژیکی، Tormesزودترین هیبرید از نظر گلدهی و تشکیل اولین میوه بود، درحالی‌که در Andromeda تشکیل میوه و رسیدگی دیرتر رخ داد. عملکرد میوه با وزن تک میوه، تعداد میوه و قطر ساقه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با طول میان‌گره‌های چهارم و پنجم همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تعداد میوه و وزن تک میوه می‌توانند به‌عنوان صفات مرتبط با عملکرد در ارزیابی فنوتیپی مورداستفاده قرار گیرند. تجزیه خوشه‌ای، هیبریدها را در چهار گروه اصلی قرارداد: خوشه اول شامل Tormes، Citrin، Harmony و Lemonchelo بود. خوشه دوم شامل ۲۰۹۰ و Nirvin خوشه سوم شامل Andromeda، G20 و Mars و خوشه چهارم تنها شامل هیبرید ۹۹۰۸ بود. این گروه‌بندی بازتابی از تغییرات هم‌زمان صفات عملکردی، کیفیت میوه، ویژگی‌های فنولوژیکی، مورفولوژیکی و صفات مرتبط با رنگ میوه بود.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای از نظر عملکرد، کیفیت میوه، صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و ویژگی‌های مرتبط با رنگ دارای تنوع قابل‌توجهی هستند. هیبرید Mars از نظر عملکرد میوه برتری نشان داد؛ Harmony و Lemonchelo در میان هیبریدهای زرد از عملکرد مطلوبی برخوردار بودند و Citrin به دلیل رنگ زرد جذاب میوه متمایز شد. هیبرید Tormes گلدهی و تشکیل اولین میوه زودهنگام‌تری نشان داد. در مجموع، بررسی هم‌زمان صفات مرتبط با عملکرد، ویژگی‌های کیفی میوه، شاخص‌های رنگ‌سنجی و تجزیه خوشه‌ای، مبنای جامعی برای تمایز هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای در شرایط گلخانه‌ای فراهم کرد. ارزیابی تکمیلی این هیبریدها در فصل‌ها و شرایط مختلف تولید به‌منظور تأیید پایداری صفات و مناسب‌بودن هیبریدهای منتخب برای تولید گلخانه‌ای و برنامه‌های به‌نژادی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تجزیه خوشه‌ای، رنگ‌سنجی، عملکرد میوه، فلفل‌دلمه‌ای، کیفیت میوه.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: پورمحی‌آبادی محبه، نیک‌بخت دهکردی اعظم، محمدی‌نژاد قاسم، امینی‌زاده سمیه (۱۴۰۴) ارزیابی صفات کمی و کیفی هیبریدهای تجاری فلفل دلمه‌ای و شناسایی صفات مرتبط با عملکرد در شرایط گلخانه‌ای. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۲(۴)، ۷۳-۱۰۰.

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

© the authors

مقدمه

فلفل‌دلمه‌ای با نام علمی (*Capsicum annuum* L.) از مهم‌ترین گیاهان خانواده سیب‌زمینی سانان (Solanaceae) است که منشأ آن به قاره آمریکا بازمی‌گردد و امروزه به‌عنوان یکی از محصولات مهم سبزی و صیفی در بسیاری از نظام‌های تولید کشاورزی جهان کشت می‌شود (Parisi et al. 2020). اهمیت اقتصادی و تغذیه‌ای این محصول تنها به مصرف تازه محدود نیست و به‌دلیل برخورداری از ترکیبات زیست فعال ارزشمند، جایگاه قابل‌توجهی در صنایع غذایی و فراوری نیز دارد. میوه فلفل‌دلمه‌ای منبعی غنی از ویتامین C، ترکیبات فنولی و رنگیزه‌های کاروتنوئیدی است. ترکیباتی که علاوه بر نقش تعیین‌کننده در شکل‌گیری رنگ نهایی میوه، در افزایش ارزش تغذیه‌ای و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول نیز مؤثر هستند. طی فرایند رسیدگی، تغییر رنگ میوه از سبز به زرد، نارنجی یا قرمز عمدتاً در نتیجه تغییر در میزان و ترکیب رنگیزه‌های کاروتنوئیدی رخ می‌دهد. ازاین‌رو، رنگ یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ظاهری و کیفی مؤثر بر پذیرش بازار و ارزش تجاری فلفل‌دلمه‌ای محسوب می‌شود. بااین‌حال، کیفیت میوه صفتی چندبعدی است و ارزیابی آن نمی‌تواند صرفاً بر پایه رنگ یا ظاهر محصول انجام گیرد، بلکه مجموعه‌ای از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی از جمله اندازه و شکل میوه، ضخامت پریکارپ، مواد جامد محلول و سایر شاخص‌های کیفی را در بر می‌گیرد؛ بنابراین، ارزیابی هم‌زمان این صفات می‌تواند شناخت دقیق‌تری از عملکرد و کیفیت هیبریدها فراهم کرده و در شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای بازار تازه‌خوری، فراوری و اهداف به‌نژادی مؤثر باشد. در این راستا، بهره‌گیری از روش‌های آماری چندمتغیره، از جمله تجزیه خوشه‌ای، امکان بررسی هم‌زمان مجموعه‌ای از صفات و گروه‌بندی هیبریدها بر اساس الگوی کلی شباهت‌ها و تفاوت‌های فنوتیپی را فراهم می‌سازد و می‌تواند تصویر جامع‌تری از تنوع موجود میان هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای ارائه دهد (Abbasi 2024).

در سال‌های اخیر، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای و افزایش تقاضا برای محصولات یکنواخت، بازارپسند و باکیفیت پایدار، ضرورت اصلاح و به‌نژادی فلفل‌دلمه‌ای را بیش‌ازپیش برجسته ساخته است (Todorova et al. 2024). عملکرد میوه به‌عنوان مهم‌ترین صفت اقتصادی در این گیاه، تحت‌تأثیر اجزای متعددی از جمله تعداد میوه، وزن تک میوه، ابعاد میوه و ویژگی‌های رویشی گیاه قرار دارد (Sood et al. 2009; Karim et al. 2022). بااین‌حال، عملکرد صفتی کمی و پیچیده است که علاوه بر کنترل ژنتیکی، به‌شدت تحت‌تأثیر شرایط محیطی و مدیریت زراعی قرار می‌گیرد (Pujar et al. 2017). این پیچیدگی سبب می‌شود که انتخاب مستقیم برای عملکرد همواره از کارایی مطلوبی برخوردار نباشد. در چنین شرایطی، شناسایی صفاتی که دارای وراثت‌پذیری مناسب بوده و ارتباط معنی‌دار با عملکرد میوه دارند، به‌عنوان رویکردی مؤثر در برنامه‌های به‌نژادی مطرح می‌شود (Roy et al. 2019; Jabbari & Darvishzadeh 2023). بررسی تنوع فنوتیپی موجود در هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای، نخستین گام در این مسیر محسوب می‌شود؛ زیرا میزان تنوع مشاهده‌شده میان ژنوتیپ‌ها می‌تواند بیانگر ظرفیت بالقوه جمعیت مورد بررسی برای انتخاب و بهبود صفات هدف باشد (Golcheshmeh et al. 2022).

اهمیت تنوع موجود در فلفل‌دلمه‌ای تنها به تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد محدود نمی‌شود، بلکه بخش مهمی از ارزش اصلاحی آن‌ها به ویژگی‌های میوه و نحوه توزیع هم‌زمان صفات عملکردی و کیفی وابسته است. نتایج ارزیابی مجموعه‌های گسترده ژرم‌پلاسم *Capsicum* نشان داده است که صفات میوه، در مقایسه با بسیاری از ویژگی‌های رویشی، از قدرت تفکیک بالاتری برای تمایز ژنوتیپ‌ها برخوردارند، به‌طوری‌که صفاتی مانند وزن، طول و قطر میوه، ضخامت پریکارپ و شکل میوه سهم قابل‌توجهی در ایجاد تنوع فنوتیپی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارند (Brilhante et al. 2021). در تأیید این موضوع، ارزیابی ۵۱۳ نمونه ژرم‌پلاسم متعلق به گونه‌های *C. annuum* و *C. frutescens* دامنه وسیعی از تغییرات را در صفات مورفولوژیکی میوه و ترکیبات فیتوشیمیایی نشان داد و مشخص ساخت که برخی صفات ظاهری میوه لزوماً مستقل از ویژگی‌های کیفی نیستند. برای مثال، میان محتوای ویتامین C و صفاتی مانند قطر، وزن و ضخامت دیواره میوه ارتباط مثبت گزارش شده است (Moon et al. 2023). همچنین، در تحقیق دیگری ارزیابی ژرم‌پلاسم‌های فلفل نشان داده است که تفاوت ژنوتیپی در وزن، ابعاد و ضخامت دیواره میوه با تنوع در صفاتی مانند مواد جامد محلول، ماده خشک، پلی‌فنول‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه است و ازاین‌رو، گزینش ژنوتیپ‌های برتر صرفاً بر اساس عملکرد نمی‌تواند تمامی ظرفیت اصلاحی موجود را آشکار سازد (Nankar et al. 2020; Todorova et al. 2024).

ازسوی‌دیگر، کیفیت میوه در فلفل‌دلمه‌ای ماهیتی چندبعدی دارد و حاصل برهم‌کنش ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ظاهری میوه است. صفاتی مانند اندازه و شکل میوه و ضخامت پریکارپ مستقیماً با بازارپسندی، قابلیت حمل‌ونقل و سهم بخش خوراکی میوه ارتباط دارند، درحالی‌که مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتر و pH اطلاعات مکملی در مورد وضعیت فیزیکوشیمیایی، تعادل طعمی و قابلیت فراوری محصول فراهم می‌کنند. در میان صفات کیفی، رنگ میوه اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا هم در بازارپسندی محصول مؤثر است و هم تغییرات آن با روند رسیدگی و تجمع رنگیزه‌ها ارتباط دارد. فضای رنگی CIELAB امکان اندازه‌گیری کمی رنگ را فراهم می‌کند به‌طوری‌که L* روشنایی، a* طیف سبز تا قرمز و b* طیف آبی تا زرد را نشان می‌دهد و شاخص‌های

Hue و Chroma را بیان می‌کنند. تنوع این شاخص‌ها در ژرم‌پلاسم‌های Capsicum نشان داده است که رنگ میوه می‌تواند یکی از معیارهای مؤثر در تمایز ژنوتیپ‌ها و ارزیابی کیفیت ظاهری آن‌ها باشد (Tripodi et al., 2021). ازاین‌رو، بررسی هم‌زمان صفات عملکردی و کیفی میوه می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب و کیفیت بازارپسند کمک کند.

مطالعات همبستگی نشان داده‌اند که برخی صفات نظیر تعداد میوه، وزن تک میوه و قطر ساقه اغلب ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد میوه دارند، درحالی‌که برخی صفات رویشی یا فنولوژیکی می‌توانند اثرات منفی یا غیرمستقیم بر عملکرد اعمال کنند (Maurya et al. 2017; Salehian et al. 2022). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تنوع موجود در جنس *Capsicum* تنها به صفات عملکردی محدود نمی‌شود، بلکه طیف وسیعی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فنولوژیکی، کیفی، بیوشیمیایی و رنگ میوه را نیز در بر می‌گیرد. این تنوع می‌تواند مبنای مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب و توسعه برنامه‌های اصلاحی هدفمند باشد. در همین راستا، ارزیابی هم‌زمان صفات زراعی و کیفی در مجموعه‌های ژرم‌پلاسمی و هیبریدهای فلفل، امکان شناسایی گروه‌های فنوتیپی متمایز و تعیین ژنوتیپ‌های دارای ویژگی‌های مطلوب برای بازار تازه‌خوری، فراوری و اهداف اصلاحی را فراهم می‌کند (Nankar et al. 2020; Tripodi et al. 2021).

باوجود مطالعات متعدد درباره تنوع صفات در فلفل‌دلمه‌ای، ارزیابی عملکرد و کیفیت هیبریدهای تجاری در شرایط گلخانه‌ای مستلزم بررسی هم‌زمان ویژگی‌های مورفولوژیکی، فنولوژیکی، عملکردی و فیزیکوشیمیایی میوه است. ازآنجاکه عملکرد میوه صفتی کمی و پیچیده بوده و با مجموعه‌ای از ویژگی‌های گیاهی ارتباط دارد، بررسی روابط میان صفات و شناخت الگوی تغییرات فنوتیپی آن‌ها می‌تواند در شناسایی هیبریدهای دارای ویژگی‌های مطلوب مؤثر باشد. افزون بر این، بهره‌گیری از روش‌های آماری چندمتغیره، از جمله تجزیه خوشه‌ای، امکان ارزیابی شباهت‌ها و تفاوت‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌ها را بر اساس مجموعه‌ای از صفات فراهم می‌سازد. در این راستا، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تنوع فنوتیپی صفات کمی و کیفی در ۱۰ هیبرید تجاری فلفل‌دلمه‌ای تحت شرایط گلخانه‌ای، بررسی روابط میان صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی، عملکردی، فیزیکوشیمیایی و رنگ‌سنجی با عملکرد میوه و شناسایی گروه‌های فنوتیپی متمایز بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۰ هیبرید تجاری فلفل‌دلمه‌ای شامل چهار هیبرید با میوه زرد و شش هیبرید با میوه قرمز مورد ارزیابی قرار گرفتند. هیبریدهای موردمطالعه شامل Harmony، Lemonchelo، Tormes، Citrin، ۲۰۹۰، Nirvin، G20، Andromeda، Mars و ۹۹۰۸ بودند. اطلاعات اولیه مربوط به رنگ میوه و ویژگی‌های معرفی‌شده توسط شرکت‌های عرضه‌کننده بذر در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با هشت تکرار، در سال زراعی ۱۴۰۳ و در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی پژوهشگاه افضلی‌پور در دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا گردید. طرح

بلوک‌های کامل تصادفی به‌منظور کنترل تغییرات ریزمحیطی احتمالی در فضای گلخانه، از جمله تفاوت در شدت نور، دما، رطوبت، تهویه، آبیاری و اثرات حاشیه‌ای، مورداستفاده قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات تجاری و ویژگی‌های متمایز هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای مورد بررسی

Table 1. Commercial characteristics and distinguishing traits of the evaluated bell pepper hybrids

نام هیبرید Hybrid	رنگ میوه Fruit color	ویژگی‌های تجاری commercial characteristics
هارمونی Harmony	Yellow زرد	بازارپسند و نسبتاً زودرس High market acceptability and relatively early maturity
لمونچلو Lemonchelo		رشد رویشی کم، بازارپسند و نسبتاً زودرس Low vegetative growth, high market acceptability, and relatively early maturity
ترمس Tormes		زودرس Early maturity
سیترین Citrin		زودرس و مناسب برای حمل‌ونقل طولانی‌مدت Early maturity and suitability for long-distance transportation
بیست نود 2090	Red قرمز	زودرس Early maturity
نیروین Nirvin		مقاوم به بیماری‌ها و دارای ماندگاری طولانی Disease resistance and long shelf life
جی بیست G20		بازارپسند و دارای مقاومت متوسط به بیماری‌ها High market acceptability and moderate disease resistance
آندرومدا Andromeda		عملکرد بالا و ماندگاری طولانی High yield and long shelf life
مارس Mars		رشد رویشی کم Low vegetative growth
نودو نه صفر هشت 9908		ضخامت دیواره بالا و مناسب برای صادرات با رشد سریع Thick fruit walls, rapid growth and suitability for export

به‌منظور کاهش اثر عوامل محیطی ناخواسته، شرایط گلخانه شامل دما، رطوبت نسبی و شدت نور در طول دوره رشد گیاه به‌صورت یکنواخت تنظیم و کنترل شد، به‌طوری‌که دمای محیط در بازه ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد در طول روز و ۲ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد در طول شب حفظ گردید. کشت گیاهان در گلدان‌های پلاستیکی مستطیلی به طول ۱۲۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر انجام گرفت. بستر کشت از ترکیب پیت‌ماس(۶۰٪)، کوکوپیت (۲۰٪) و پرلیت (۲۰٪) تهیه شد و پیش از کاشت، به‌منظور پیشگیری از آلودگی‌های قارچی و باکتریایی، به طور کامل ضدعفونی گردید. در هر گلدان دو بوته از یک هیبرید کشت شد و هر گلدان به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و بوته‌های موجود در هر گلدان به‌عنوان زیرنمونه‌های همان واحد آزمایشی محسوب شدند.

مدیریت زراعی شامل آبیاری، تغذیه، هرس و کنترل آفات و بیماری‌ها، به‌صورت یکنواخت و یکسان برای تمامی تیمارها در طول دوره رشد اعمال گردید. تغذیه گیاهان با استفاده از کود کامل محلول در آب (۲۰–۲۰–۲۰) NPK و حاوی عناصر ریزمغذی انجام شد. کوددهی از دو هفته پس از انتقال نشا و پس از استقرار گیاهان آغاز و در فواصل ۱۰ تا ۱۴ روز، باتوجه‌به مرحله رشد، تکرار شد. محلول کودی با غلظت ۱ در هزار تهیه و همراه با آب آبیاری اعمال گردید.

در این پژوهش، مجموعه‌ای از صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی، عملکردی، کیفی و رنگ‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت که به شرح زیر هستند. صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته (سانتی‌متر) بود. ارتفاع بوته ۱۲۰ روز پس از کشت در گلدان و پس از تشکیل میوه روی چند گره، با استفاده از متر نواری از سطح بستر تا انتهای شاخه انتهایی اندازه‌گیری شد. انتخاب این زمان به‌منظور ثبت ارتفاع در مرحله رشدی یکسان برای همه هیبریدها و کاهش اثر رشد نامحدود فلفل‌دلمه‌ای بر مقایسه هیبریدها انجام گرفت. طول میان‌گره‌های اول و دوم و همچنین چهارم و پنجم، ۱۲۰ روز پس از کشت در گلدان و هم‌زمان با اندازه‌گیری ارتفاع بوته، با استفاده از خط‌کش و بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر ساقه نیز در همان زمان و در فاصله ۲ سانتی‌متری از سطح بستر، با استفاده از کولیس و بر حسب میلی‌متر ثبت گردید. انتخاب این زمان به‌منظور اندازه‌گیری صفات رویشی در مرحله رشدی یکسان، پس از تشکیل میوه روی چند گره، برای تمام هیبریدها انجام شد. طول دمبرگ نیز به‌عنوان یکی از صفات مورفولوژیکی مکمل، باهدف توصیف تفاوت‌های تیپ رشدی بوته، نحوه استقرار برگ‌ها و کمک به تفکیک فنوتیپی هیبریدها اندازه‌گیری شد. این صفت به‌عنوان جزء مستقیم عملکرد در نظر گرفته نشد، بلکه برای تکمیل ارزیابی مورفولوژیکی و بررسی تنوع تیپ رویشی هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای مورداستفاده قرار گرفت. تعداد گل در هر بوته در مرحله گلدهی کامل و هم‌زمان با شروع تشکیل میوه، بر اساس شمارش گل‌های کاملاً باز موجود ثبت شد. این اندازه‌گیری در یک مرحله رشدی یکسان برای همه هیبریدها انجام گرفت تا امکان مقایسه هیبریدها از نظر شدت گلدهی فراهم شود.

صفات فنولوژیکی شامل روز تا گلدهی و روز تا میوه‌دهی بود که به ترتیب به‌صورت تعداد روز از تاریخ کشت تا مشاهده اولین گل‌باز و اولین میوه قابل‌تشخیص ثبت گردید. همچنین، روز تا رسیدگی به‌عنوان تعداد روز از تاریخ کشت تا رسیدگی فیزیولوژیک اولین میوه و دوره تشکیل میوه به‌صورت تعداد روز از زمان مشاهده اولین گل تا تشکیل اولین میوه محاسبه شد. صفات عملکردی شامل تعداد میوه در هر بوته، وزن تک میوه و عملکرد کل میوه بود. تعداد میوه در هر بوته از طریق شمارش مجموع میوه‌های برداشت‌شده طی دوره برداشت محاسبه گردید. عملکرد کل میوه نیز از مجموع وزن میوه‌های برداشت‌شده در طول دوره برداشت به دست آمد و وزن تک میوه از تقسیم مجموع وزن میوه‌ها بر تعداد کل میوه‌های برداشت‌شده محاسبه شد. برای اندازه‌گیری صفات فیزیکی میوه، شامل طول میوه، عرض میوه و ضخامت پریکارپ، از هر واحد آزمایشی پنج میوه سالم، یکنواخت و فاقد آسیب ظاهری در مرحله رسیدگی کامل و در زمان برداشت انتخاب شد. طول و عرض میوه و ضخامت پریکارپ در بخش میانی میوه با استفاده از کولیس و بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری صفات کیفی میوه، از هر واحد آزمایشی پنج میوه سالم، یکنواخت و کاملاً رسیده در زمان برداشت انتخاب شد. پس از شست‌وشو، میوه‌ها خرد و همگن شدند و عصاره حاصل پس از صاف‌کردن برای اندازه‌گیری pH، مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتر استفاده گردید. pH عصاره با استفاده از pH متر مدل PTR 79 ساخت ایران اندازه‌گیری شد و دستگاه پیش از اندازه‌گیری با بافرهای استاندارد ۴ و ۷ کالیبره گردید. مواد جامد محلول کل (TSS) با قراردادن یک تا دو قطره از عصاره صاف‌شده روی منشور رفرکتومتر رومیزی Abbe ساخت شرکت OPTIKA در دمای محیط اندازه‌گیری و بر حسب درجه بریکس گزارش شد. پیش از اندازه‌گیری، رفرکتومتر با آب مقطر کالیبره و منشور دستگاه بین نمونه‌ها شست‌وشو و خشک گردید. اسیدیته قابل تیتر (TA)با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر عصاره صاف‌شده، رقیق‌سازی با حجم مساوی آب مقطر و تیتراسیون با NaOH یک‌دهم نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ اندازه‌گیری شد. مقدار TA بر حسب درصد اسیدسیتریک محاسبه گردید. شاخص طعم نیز از نسبت مواد جامد محلول کل به اسیدیته قابل تیتر (TSS/TA) محاسبه شد (Zare-Bavani et al. 2024).

صفات رنگ‌سنجی شامل شاخص‌های L* (روشنایی)،a* (طیف سبز – قرمز) و b* (طیف آبی – زرد) بودند که با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل TES 135 A ساخت تایوان اندازه‌گیری شدند. پیش از شروع اندازه‌گیری، دستگاه مطابق دستورالعمل سازنده و با استفاده از صفحه استاندارد سفید کالیبره شد. اندازه‌گیری رنگ بر روی سطح میانی میوه‌های کاملاً رسیده انجام گرفت به‌طوری‌که دهانه دستگاه به‌صورت عمود بر سطح میوه قرار داده شد. برای کاهش خطای ناشی از ناهمگنی رنگ سطح میوه، از هر میوه چند قرائت در ناحیه میانی انجام شد و میانگین قرائت‌ها به‌عنوان مقدار نهایی هر نمونه در نظر گرفته شد سپس، بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های L* ، a* و b* و با استفاده از روابط استاندارد، شاخص‌های مشتق‌شده شامل زاویه رنگ (Hue)، شاخص درخشندگی رنگ (Chroma) و شاخص رنگ (Color index) مطابق پروتکل (McGuire, 1992; López Camelo et al. 2004) محاسبه شدند.

$$\text{Hue} = \tan a*^{-1}\ (b^*/a^*)$$ رابطه ۱

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})2^{0.5}$$ رابطه ۲

$$\text{Color index} = 2000a^*/L^*(a^{*2} + b^{*2})2^{0.5}$$ رابطه ۳

کلیه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات به‌منظور انجام تجزیه واریانس (ANOVA)، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و محاسبه ضرایب همبستگی فنوتیپی، وارد نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ شدند. برآورد وراثت‌پذیری صفات بر اساس میانگین مربعات موردانتظار جدول تجزیه واریانس و مطابق روش ارائه‌شده توسط Fehr (1991) انجام گرفت. به‌منظور بررسی روابط بین صفات، ضرایب همبستگی پیرسون محاسبه شد. همچنین، برای گروه‌بندی هیبریدها بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی، تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش Ward و فاصله اقلیدسی انجام گرفت.

$$h^2_{bs} = \sigma^2 g / (\sigma^2 g + \sigma^2 e)$$ رابطه ۴

که در آن، $\sigma^2 g$ و $\sigma^2 e$ به ترتیب مؤلفه‌های واریانس مربوط به ژنوتیپ و خطای آزمایشی بودند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین: نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات ارزیابی‌شده در ۱۰ هیبرید فلفل‌دلمه‌ای به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر هیبرید برای اغلب صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و برای برخی صفات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری مشاهده شد. معنی‌دار بودن اثر هیبرید بیانگر وجود تنوع فنوتیپی قابل‌توجه میان هیبریدهای موردمطالعه است که می‌تواند مبنایی مناسب برای انتخاب هیبریدهای مطلوب و استفاده در برنامه‌های به‌نژادی فراهم کند. گزارش‌های پیشین نیز وجود تنوع معنی‌دار در صفات مورفولوژیکی، عملکردی و کیفی فلفل را تأیید کرده‌اند (Brilhante et al. 2021; Luitel et al. 2011).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در ۱۰ هیبرید فلفل‌دلمه‌ای

Table 2. Analysis of variance of studied traits in 10 hybrids of bell pepper

Source of Variation منبع تغییرات	Df درجه آزادی	Mean Squares میانگین مربعات						
		تعداد گل Number of flowers	طول ساقه Stem length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	طول دمبرگ Petiole length (cm)	روز تا گلدهی Days to flowering
Replication تکرار	7	5.46	0.06	0.04	0.12	0.07	0.09	1.28
Treatment تیمار	9	2456.24**	17.04**	1.88**	1.46*	0.96*	0.12*	14.50**
Error خطا	63	3.59	0.16	0.08	0.08	0.06	0.06	0.75
CV (%) ضریب تغییرات		2.63	2.93	2.30	3.39	4.78	5.66	0.85
H^2 وراثت‌پذیری		0.99	0.93	0.75	0.68	0.65	0.11	0.70

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ns are significant at the 5%, 1%, and non-significant levels, respectively.

Journal of Genetics and Plant Breeding; Print ISSN: 3060-7965, Electronic ISSN: 3060-7221

همچنین، در ارزیابی ۶۵ لاین فلفل، اختلاف معنی‌داری را برای صفاتی مانند طول و عرض برگ، طول و عرض میوهداد میوه و ارتفاع بوته گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Keshavarz et al. 2009).

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در ۱۰ هیبرید فلفل‌دلمه‌ای

Table 2. continued. Analysis of variance of studied traits in 10 hybrids of bell pepper

Source of Variation منبع تغییرات	Df درجه آزادی	Mean Squares میانگین مربعات						
		روز تا میوه‌دهی Days to fruiting	طول دوره تشکیل میوه Fruit formation period	روز تا رسیدگی Days to maturity	عملکرد Yield (g)	وزن تک میوه Single fruit weight (g)	طول میوه Fruit length (cm)	عرض میوه Fruit width (cm)
Replication تکرار	7	2.18	8.11	21.64	200913.01	19.54	1.10*	0.44
Treatment تیمار	9	37.29**	149.55**	109.93**	3553619.56**	1415.59**	4.89**	1.03**
Error خطا	63	1.11	2.13	6.09	125741.70	20.30	0.44	0.24
CV (%) ضریب تغییرات		0.92	2.00	1.43	14.12	3.68	8.95	6.92
H^2 وراثت‌پذیری		0.80	0.90	0.68	0.77	0.90	0.56	0.30

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns are significant at the 5%, 1%, and non-significant levels, respectively

عملکرد میوه (H^2=۰/۷۷) و وزن تک میوه (H^2=۰/۹۰) از نظر میزان تغییرپذیری، شاخص‌های رنگ‌سنجی از جمله b* و شاخص رنگ (Color index) بیشترین ضریب تغییرات را نشان دادند، درحالی‌که pH میوه و روز تا گلدهی از کمترین ضریب تغییرات برخوردار بودند. این الگو نشان‌دهنده ثبات نسبی بیشتر برخی صفات فنولوژیکی و کیفی در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای در مقایسه با صفات وابسته به رنگ و ویژگی‌های ظاهری میوه است. برآورد وراثت‌پذیری عمومی نشان داد که ضخامت پریکارپ، عرض میوه و طول دمبرگ دارای وراثت‌پذیری پایین‌تری بودند که می‌تواند ناشی از سهم بیشتر عوامل محیطی یا پیچیدگی ژنتیکی این صفات باشد. در مقابل، بیشترین وراثت‌پذیری برای تعداد گل و شاخص Hue مشاهده شد که نشان‌دهنده سهم بیشتر عوامل ژنتیکی در کنترل این صفات در شرایط آزمایش حاضر است.

عملکرد میوه (H^2=۰/۷۷) و وزن تک میوه (H^2=۰/۹۰) نیز از وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی برخوردار بودند که نشان‌دهنده سهم قابل‌توجه تفاوت‌های ژنتیکی میان هیبریدهای مورد بررسی در تغییرات فنوتیپی این صفات، در شرایط آزمایش حاضر است. وراثت‌پذیری یکی از عوامل مؤثر بر پاسخ به گزینش محسوب می‌شود بااین‌حال، ارزیابی کارایی گزینش مستلزم توجه هم‌زمان به میزان تنوع ژنتیکی و پیشرفت ژنتیکی موردانتظار است (Falconer & Mackay 1996). ازآنجاکه عملکرد میوه صفتی کمی و پیچیده است، بررسی اجزای آن، به‌ویژه تعداد میوه در بوته و وزن تک میوه، می‌تواند اطلاعات تکمیلی ارزشمندی برای

شناسایی هیبریدهای مطلوب فراهم کند. در همین راستا، Sood et al. (2009) در ارزیابی ژرم‌پلاسم فلفل‌دلمه‌ای، وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجه در صفات عملکردی و کیفی را گزارش کردند و بر اهمیت اجزای عملکرد در برنامه‌های به‌نژادی تأکید داشتند. همچنین، گزارش وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی قابل‌توجه برای برخی صفات در مطالعه مذکور، بر ضرورت بررسی توأمان عامل‌های ژنتیکی در تعیین معیارهای گزینش تأکید می‌کند.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ۱۰ هیبرید فلفل دلمه‌ای

Table 2. continued. Analysis of variance of studied traits in 10 hybrids of bell pepper

Source of Variation	Df درجه آزادی	Mean Squares میانگین مربعات						
		No. of fruits per plant تعداد میوه در بوته	Pericarp thickness (mm) ضخامت پریکارپ	L* index شاخص L*	a* index شاخص a*	b* index شاخص b*	شاخص زاویه رنگ Hue index	شاخص کروما Chroma index
Replication تکرار	7	5.13*	0.016**	19.73	61.51	53.57	0.005*	51.63
Treatment تیمار	9	135.92**	0.015**	1282.50**	3707.45**	1319.55**	3.62**	783.25**
Error خطا	63	2.09	0.003	28.75	36.90	38.48	0.002	57.70
CV (%) ضریب تغییرات		6.97	9.835	15.61	19.59	22.28	6.61	15.92
H^2 وراثت‌پذیری		0.89	0.34	0.84	0.93	0.81	0.99	0.61

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ns are significant at the 5%, 1%, and non-significant levels, respectively

بر اساس نتایج جدول ۳ حداقل و حداکثر عملکرد میوه به ترتیب به میزان ۱۵۱۰/۴۰ و ۳۸۶۹/۱۰ مربوط به هیبریدهای 9908 و Mars بود. هیبرید Harmony با میانگین عملکرد ۳۱۱۱/۸۰ گرم تفاوت معنی‌داری با هیبرید Lemonchel (۳۰۷۴/۵۰) نداشت. هر دو هیبرید از نوع فلفل‌دلمه‌ای زرد بودند. از نظر وزن تک میوه هیبریدهای Mars و Harmony و Lemonchel به ترتیب بالاترین میانگین وزن تک میوه را داشتند. این سه هیبرید اختلاف معنی‌داری را با همدیگر داشتند. طول (قطر عمودی) و عرض (قطر افقی) دو مؤلفه اصلی تعیین‌کننده شکل ظاهری، تأثیر قابل‌توجهی بر بازارپسندی، عملکرد میوه و کیفیت مصرفی دارند.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در ۱۰ هیبرید فلفل‌دلمه‌ای

Table 2. continued . Analysis of variance of studied traits in 10 hybrid cultivars of bell pepper

Source of Variation منبع تغییرات	Df درجه آزادی	Mean Squares میانگین مربعات				
		شاخص رنگ Color index	pH پی.اچ	اسیدیته قابل تیتر Titratable acidity	کل مواد جامد محلول Total soluble solids	شاخص طعم TSS/TA ratio
Replication تکرار	7	187.48	0.0001	8.65	0.25*	0.0001
Treatment تیمار	9	9758.96**	0.045**	64.68**	0.99**	0.001**
Error خطا	63	161.41	0.001	4.57	0.06	0.0001
CV (%) ضریب تغییرات		25.28	0.687	5.26	3.70	7.512
H^2 وراثت‌پذیری		0.88	0.93	0.81	0.84	0.68

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ns are significant at the 5%, 1%, and non-significant levels, respectively

بررسی میانگین طول و عرض میوه در هیبریدهای مختلف نشان داد که Lemonchel بالاترین میانگین طول (۹/۳۰) و هیبرید Tormes پایین‌ترین میانگین طول میوه (۶/۳۰) را دارند. هیبرید Citrin از نظر طول میوه تفاوت معنی‌داری با هیبرید Tormes نداشت و همچنین دارای پایین‌ترین عرض میوه با مقدار ۶/۴۵ بود. باوجود طول زیاد در هیبرید Lemonchelo، عرض آن نسبتاً کم بود که این موضوع نشان‌دهنده فرم کشیده‌تر میوه در مقایسه با برخی هیبریدهای مورد بررسی است و هیبرید Harmony با داشتن طول و عرض متعادل‌تر، فرم نسبتاً بلوکی‌تری نشان داد. هیبریدهای Mars و ۹۹۰۸ به ترتیب با مقادیر ۲۶/۵۰ و ۱۳/۲۵ بیشترین و کمترین تعداد میوه در بوته را نشان دادند. اگرچه هیبرید G20 دارای تعداد گل بالایی بود (۸۲/۳۳) اما تعداد میوه تولید شده در آن پایین (۱۶/۵۰) گزارش شد این امر می‌تواند به دلیل ریزش گل، عدم تلقیح و یا اختلالات فیزیولوژیکی در مراحل ابتدایی تبدیل گل به میوه باشد. طول ساقه از جمله ویژگی‌های مهم در برداشت مکانیکی فلفل‌دلمه‌ای به شمار می‌رود (Todorova et al. 2024). در میان نمونه‌های مورد بررسی، رقم ۹۹۰۸ با ارتفاع ۱۵/۷۱ سانتی‌متر بیشترین طول را داشت، درحالی‌که رقم Nirvin با ۱۱/۹۴ سانتی‌متر کوتاه‌ترین رقم بود (جدول ۳). در بررسی تغییرات ارتفاع ساقه فلفل‌دلمه‌ای، دامنه گسترده‌ای از تنوع فنوتیپی گزارش شده است. به‌طوری‌که مقادیر این صفت بین ۱۱/۳۸ تا ۳۱/۳۸ سانتی‌متر متغیر بوده است. در مقایسه با این دامنه، تغییرات ارتفاع ساقه در هیبریدهای مورد بررسی در پژوهش حاضر محدودتر بود که می‌تواند ناشی از تفاوت در

زمینه ژنتیکی مواد گیاهی موردمطالعه و شرایط محیطی و مدیریتی آزمایش‌ها باشد (Elizondo-Cabalceta & Monge-Pérez 2017)

نتایج مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی برگ نشان داد که هیبرید Lemonchelo با میانگین طول و عرض برگ به ترتیب ۹/۱۴ و ۵/۵۹ سانتی‌متر، بیشترین مقادیر را در میان هیبریدهای مورد بررسی به خود اختصاص داد. در مقابل، کمترین میانگین طول برگ در هیبرید Nirvin و کمترین میانگین عرض برگ در هیبرید Andromeda ثبت شد که نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های فنوتیپی در ابعاد برگ میان هیبریدهای تجاری موردمطالعه است. این تفاوت‌ها می‌توانند بازتابی از تنوع در الگوی رشد رویشی و ویژگی‌های ساختاری برگ باشند. از دیدگاه فیزیولوژیکی، ابعاد برگ از جمله ویژگی‌های مورفولوژیکی مرتبط با سطح بالقوه دریافت نور و تبادلات گازی گیاه محسوب می‌شوند و تغییرات آن‌ها ممکن است بر ظرفیت فتوسنتزی در سطح گیاه و الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی تأثیرگذار باشد. بااین‌حال، ازآنجاکه سطح واقعی برگ، نرخ فتوسنتز و تعرق در پژوهش حاضر به طور مستقیم اندازه‌گیری نشده‌اند، نمی‌توان تفاوت‌های مشاهده‌شده در طول و عرض برگ را به‌تنهایی معادل تفاوت در کارایی فتوسنتزی یا ظرفیت تولید عملکرد دانست.

بررسی صفات فنولوژیکی نشان داد که هیبرید Tormes با میانگین ۱۰۰ روز تا گلدهی و ۱۰۹/۲۹روز تا تشکیل اولین میوه، زودترین آغاز مراحل زایشی را در میان هیبریدهای مورد بررسی داشت، درحالی‌که هیبرید ۲۰۹۰ با میانگین ۱۰۷ روز، دیرترین زمان گلدهی را نشان داد. در مقابل، هیبرید Andromeda با ۱۱۸/۲۹روز تا تشکیل اولین میوه و ۱۸۲/۱۳ روز تا رسیدگی، دیرترین هیبرید از نظر این دو صفت بود. اگرچه Tormes زودترین زمان گلدهی و تشکیل اولین میوه را به خود اختصاص داد، کمترین تعداد روز تا رسیدگی در هیبرید Lemonchelo با میانگین ۱۶۹ روز مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با Tormes (۱۷۲.۱۳ روز) داشت. این نتایج بیانگر تفاوت در الگوی پیشرفت مراحل فنولوژیکی میان هیبریدهای مورد بررسی است. به‌طوری‌که برتری هیبرید Tormes از نظر زمان آغاز گلدهی و تشکیل اولین میوه، با کوتاه‌ترین زمان دستیابی به مرحله رسیدگی همراه نبود. این تفاوت نشان می‌دهد که مدت‌زمان گذار از گلدهی تا رسیدگی میوه در هیبریدهای موردمطالعه یکسان نبوده و هر یک از مراحل رشد زایشی می‌توانند سهم متفاوتی در تعیین طول دوره رسیدگی میوه داشته باشند.

مؤلفه‌های رنگ‌سنجی از جمله شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کیفیت ظاهری و بازارپسندی میوه فلفل‌دلمه‌ای هستند. نتایج نشان داد که هیبرید Tormes بیشترین مقدار شاخص روشنایی یا *L را داشت، هرچند از نظر آماری با هیبریدهای Lemonchelo، Harmony و Citrin تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در مقابل، Nirvin کمترین مقدار *L را داشت که نشان‌دهنده رنگ تیره‌تر میوه در این هیبرید بود. این نتایج باتوجه‌به تفکیک هیبریدها به دو گروه رنگی زرد و قرمز قابل‌توجیه است و نشان‌دهنده تفاوت طبیعی رنگ میوه در مرحله رسیدگی کامل است.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی و عملکردی هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای

Table 3. Mean comparison of morphological, phenological, and yield-related traits of commercial bell pepper hybrids

هیبرید Hybrid	طول ساقه Stem length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	طول دمبرگ Petiole length (cm)	تعداد گل No. of flowers (count)
Harmony	13.10c	11.45de	8.31dc	4.91cd	4.26bc	79.50d
Lemonchelo	12.24de	12.26b	9.14a	5.59a	4.41abc	74.75e
Tormes	15.39a	11.44de	8.80b	4.91cd	4.36abc	49.63f
Citrin	12.59d	11.18e	8.94ab	5.35ab	4.28bc	45.63g
2090	12.08e	11.54d	8.09d	5.11bc	4.54ab	91.75a
Nirvin	11.94e	11.93c	7.74e	4.73de	4.61a	81.63c
G20	15.39a	12.18bc	8.45c	5.05c	4.44abc	82.33c
Andromeda	13.23c	12.25b	8.06d	4.48e	4.21c	81.50c
Mars	13.64b	12.64a	8.48c	5.04c	4.44abc	89.00b
9908	15.71a	11.44de	8.43c	4.51e	4.44abc	48.25f

هیبرید Hybrid	میان‌گره ۱ و ۲ 1st–2nd internodes (cm)	میان‌گره ۴ و ۵ 4th–5th internodes (cm)	روز تا گلدهی Days to flowering (days)	روز تا میوه‌دهی Days to fruiting (days)	دوره تشکیل میوه Fruit formation period (days†)	روز تا رسیدگی Days to maturity (days)
Harmony	2.85b	1.58ab	101.13cd	114.25cd	70.88d	171.00def
Lemonchelo	2.43ed	1.18b	100.75ed	115.88b	73.25bc	169.00f
Tormes	2.69bcd	1.12b	100e	109.29e	73.86b	172.13cde
Citrin	2.76bc	1.93a	100.38ed	114.00cd	73.83b	171.75c-f
2090	2.17e	1.55ab	107a	114.60cd	63.86e	170.00ef
Nirvin	2.48cd	1.53ab	101.83bc	115.00bc	71.75cd	174.14bc
G20	2.90b	1.44ab	102.33b	115.83b	72.88bc	175.71b
Andromeda	2.93b	1.70ab	100.71ed	118.29a	82.13a	182.13a
Mars	2.75bc	1.29b	101.13cd	113.38d	73.25bc	173.38bcd
9908	3.25a	2.01a	100.38ed	113.38d	71.88cd	171.25def

هیبرید Hybrid	عملکرد میوه Fruit yield (g)	وزن تک میوه Single fruit weight (g)	تعداد میوه در بوته Fruits per plant (count)	طول میوه Fruit length (cm)	عرض میوه Fruit width (cm)	ضخامت پریکارپ Pericarp thickness (mm)
Harmony	3111.80b	137.00b	22.75bc	7.56bc	7.50a	6.5a
Lemonchelo	3074.50b	132.25c	23.25b	9.30a	6.69cde	5.8bc
Tormes	2395.70cd	109.43ef	25.29a	6.30e	6.96a-e	5.5bc
Citrin	1805.10ef	108.13f	17.13e	6.76de	6.45e	5.7bc
2090	2532.90c	112.13ef	22.63bc	6.91cde	7.04a-d	5.8bc
Nirvin	2294.10cd	108.00f	21.25c	7.80b	6.54de	5.5bc
G20	2094.80de	127.00d	16.50e	7.29bcd	7.45ab	6.4a
Andromeda	2487.30cd	129.25cd	19.75d	7.73b	7.13abc	5.3c
Mars	3869.10a	144.38a	26.50a	7.81b	7.48a	5.7bc
9908	1510.40f	113.88e	13.25f	7.10bcd	6.89b-e	6.2ab

در میان هیبریدهای قرمز، Nirvin و ۲۰۹۰ بالاترین مقادیر عددی شاخص a را نشان دادند که بیانگر شدت بیشتر مؤلفه قرمزی در این هیبریدها بود؛ بااین‌حال، این دو هیبرید از نظر آماری با ۹۹۰۸ تفاوت معنی‌داری نداشتند. هیبرید Andromeda کمترین مقدار *a را در بین هیبریدهای قرمز داشت، اما به دلیل مقدار بالای شاخص رنگ، از نظر رنگ نهایی میوه در گروه هیبریدهای دارای رنگ قرمز تیره‌تر قرار گرفت.

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین صفات فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های رنگ‌سنجی میوه در هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای

Table 3. Continued. Mean comparison of fruit physicochemical traits and colorimetric indices of commercial bell pepper hybrids

هیبرید Hybrid	*Lروشنایی L* (lightness)	*aمؤلفه a*	*bمؤلفه b*	زاویه رنگ Hue angle (rad)	کروما Chroma
Harmony	46.02a	11.96cd	57.70a	1.52a	59.14ab
Lemonchelo	49.54a	10.16d	53.74a	1.53a	54.80ab
Tormes	51.07a	17.03c	56.39a	1.47a	59.10ab
Citrin	50.44a	13.60cd	59.55a	1.52a	61.18a
2090	26.52bc	40.54a	28.29b	0.19b	51.78b
Nirvin	22.69c	40.62a	14.36cd	0.13cd	43.32c
G20	23.51bc	35.34ab	8.50d	0.07e	36.58cd
Andromeda	23.40bc	32.23b	10.27cd	0.06e	33.70d
Mars	23.38bc	37.90ab	11.63cd	0.10de	39.74cd
9908	29.14b	39.21a	16.64c	0.17bc	42.69c

هیبرید Hybrid	شاخص رنگ Color index	اسیدیته عصاره pH	مواد جامد محلول کل Total soluble solids (°Brix)	اسیدیته قابل تیتر Titratable acidity (%)	نسبتTSS/TA TSS/TA ratio
Harmony	8.83c	4.88fg	6.42b	41.43bc	0.15bc
Lemonchelo	7.84c	5.11b	6.25b	33.73e	0.18a
Tormes	11.20c	5.02c	6.50b	33.90e	0.19a
Citrin	8.96c	5.27a	6.25b	41.50bc	0.15bc
2090	63.87b	4.96cde	6.75b	39.57cd	0.17ab
Nirvin	86.18a	5.02c	5.25c	36.55de	0.13cd
G20	82.12a	4.91efg	7.75a	45.60ab	0.13d
Andromeda	89.60a	4.93def	7.42a	46.40a	0.15bc
Mars	84.08a	4.84g	6.42b	46.83a	0.13cd
9908	61.07b	4.99cd	6.33b	41.00c	0.15bc

مقادیر دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد هستند.

Values with at least one same commonletter have no statistically significant difference based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.01$)

بیشترین مقدار Hue در Lemonchelo مشاهده شد، درحالی‌که Andromeda و G20 کمترین مقادیر این شاخص را داشتند. کاهش Hue معمولاً با غلبه رنگ قرمزتر در میوه همراه است. از نظر شاخصChroma ، هیبرید Citrin بیشترین مقدار عددی را نشان داد که بیانگر شدت و اشباع بیشتر رنگ زرد در این هیبرید است؛ بنابراین، Citrin به دلیل رنگ زرد زنده و اشباع مناسب، می‌تواند در ارزیابی کیفیت ظاهری میوه موردتوجه قرار گیرد.

از نظر صفات کیفی، هیبرید Citrin با بیشترین مقدار pH، اسیدیته فعال کمتری نسبت به سایر هیبریدها نشان داد و از این نظر می‌تواند در گروه هیبریدهای دارای طعم ملایم‌تر قرار گیرد. در مقابل، Mars با کمترین مقدار pH و مقدار بالاتر اسیدیته قابل تیتر، در کنار Andromeda، اسیدیته بیشتری نشان داد. این ویژگی می‌تواند در تعیین کاربرد نهایی میوه، به‌ویژه برای مصرف تازه یا فراوری، اهمیت داشته باشد. هیبریدهای G20 و Andromeda به ترتیب بیشترین مقدار مواد جامد محلول کل را داشتند که بیانگر تجمع بیشتر ترکیبات محلول، از جمله قندها، در میوه این هیبریدهاست. دامنه مواد جامد محلول کل در پژوهش حاضر با گزارش Luitel et al. (2011) که تنوع قابل‌توجهی را برای این صفت در ژنوتیپ‌های فلفل‌دلمه‌ای گزارش کردند، همخوانی دارد. باتوجه‌به اینکه نسبت TSS/TA شاخصی از تعادل بین شیرینی و اسیدیته میوه است، مقادیر بالاتر این نسبت معمولاً نشان‌دهنده غلبه نسبی مواد جامد محلول بر اسیدیته و طعم ملایم‌تر یا شیرین‌تر است. براین‌اساس، هیبریدهای Tormes و Lemonchelo که مقادیر بالاتری از نسبت TSS/TA داشتند، از نظر تعادل طعمی وضعیت مطلوب‌تری نشان دادند. در مقابل، هیبریدهایی مانند Marsکه نسبت پایین‌تری داشتند، به دلیل اسیدیته نسبی بیشتر، می‌توانند طعم اسیدی‌تری داشته باشند. البته تفسیر نهایی طعم میوه نیازمند ارزیابی حسی مستقیم است و نسبت TSS/TA تنها به‌عنوان یک شاخص غیرمستقیم قابل‌استفاده است. در مجموع، نتایج صفات کیفی و رنگ‌سنجی نشان داد که انتخاب هیبرید مناسب باید متناسب باهدف مصرف، شامل بازار تازه‌خوری، فراوری یا برنامه‌های به‌نژادی، و بر اساس ارزیابی هم‌زمان عملکرد، رنگ، مواد جامد محلول، اسیدیته و نسبت TSS/TA انجام شود.

همبستگی صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه در فلفل‌دلمه‌ای: تحلیل همبستگی می‌تواند در شناسایی روابط بین صفات و تعیین شاخص‌های کمکی برای انتخاب هیبریدهای مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی مورداستفاده قرار گیرد. نتایج ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات مورد ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است. عملکرد میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن تک میوه (۰/۷۳*)، تعداد میوه در بوته (۰/۹۰**) و قطر ساقه (۰/۶۱*) نشان داد. در مقابل، عملکرد میوه با طول میان‌گره‌های چهارم و پنجم همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. این نتایج نشان می‌دهد که در هیبریدهای مورد بررسی، تعداد میوه و وزن تک میوه مهم‌ترین صفات مرتبط با افزایش عملکرد بودند و می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های کمکی در ارزیابی هیبریدهای پرمحصول موردتوجه قرار گیرند. بین عملکرد میوه و تعداد گل، عرض برگ و عرض میوه نیز همبستگی مثبت متوسطی مشاهده شد، اما این روابط از نظر آماری معنی‌دار نبودند. در مطالعات مشابه نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد میوه با وزن تک میوه و قطر میوه در فلفل گزارش شده است (Salehian et al. 2022). همچنین، ارتباط مثبت و معنی‌دار تعداد میوه در بوته با عملکرد میوه در مطالعات مختلف فلفل بیان شده است (Maurya et al. 2017; Rahevar et al. 2019).

نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که وزن تک میوه با عملکرد میوه، عرض میوه و قطر ساقه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با pH عصاره میوه همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. این روابط بیانگر همراهی وزن میوه با ویژگی‌های ابعادی آن و برخی صفات رویشی در هیبریدهای مورد بررسی است. همچنین، عرض میوه با ضخامت پریکارپ و مواد جامد محلول کل همبستگی مثبت نشان داد که می‌تواند بیانگر ارتباط ابعاد میوه با برخی ویژگی‌های فیزیکی و کیفی آن باشد. در همین راستا، در ارزیابی ۵۱۳ نمونه ژرم‌پلاسم

فلفل، همبستگی مثبت و معنی‌داری میان وزن، قطر و ضخامت دیواره میوه گزارش شده است که با بخشی از نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Moon et al. 2023). ازسوی‌دیگر، تعداد روز تا رسیدگی با مواد جامد محلول کل (TSS) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد درحالی‌که همبستگی آن با شاخص روشنایی میوه از نظر آماری معنی‌دار نبود. این یافته بیانگر آن است که در مجموعه هیبریدهای موردمطالعه، افزایش تعداد روز تا رسیدگی با مقادیر بالاتر مواد جامد محلول همراه بود، اما ارتباط معنی‌داری میان زمان رسیدگی و روشنایی میوه مشاهده نشد. در مجموع، روابط مشاهده‌شده نشان‌دهنده ارتباط فنوتیپی میان برخی صفات عملکردی، مورفولوژیکی و کیفی میوه است که می‌تواند در ارزیابی جامع ویژگی‌های هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای موردتوجه قرار گیرد.

شاخص Hue یا زاویه رنگ با طول برگ (۰/۷۱*)، شاخص روشنایی(۰/۹۹**)L^* و مؤلفه آبی –زرد (۰/۹۸**)b^* همبستگی مثبت و معنی‌دار و با اسیدیته قابل تیتر (۰/۷۶**–) و مؤلفه رنگی سبز–قرمز (۰/۹۷**–)a^* همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. این الگو بیانگر آن است که با افزایش مؤلفه‌های مرتبط با رنگ زرد و روشنایی میوه، مقدار Hue افزایش‌یافته، درحالی‌که با افزایش شدت قرمزی و اسیدیته، مقدار Hue کاهش‌یافته است. ازاین‌رو، Hue می‌تواند شاخص مناسبی برای تفکیک هیبریدها از نظر طیف رنگی میوه باشد. شاخص *a نیز با طول دمبرگ (۰/۶۲*)، اسیدیته قابل تیتر (۰/۶۳*) و شاخص رنگ (۰/۹۲**) همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. در مجموع، این الگوی همبستگی بیانگر نقش شاخص‌های رنگ‌سنجی، به‌ویژه *a و Hue، در تمایز فنوتیپی هیبریدهای دارای میوه قرمز و زرد در مجموعه موردمطالعه است.

تجزیه خوشه‌ای و گروه‌بندی فنوتیپی هیبریدها: به‌منظور گروه‌بندی هیبریدها بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی، تجزیه خوشه‌ای انجام شد و هیبریدهای موردمطالعه در چهار خوشه اصلی قرار گرفتند (جدول ۵). خوشه اول شامل Harmony، Lemonchelo، Tormes و Citrin بود. این خوشه هیبریدهای زرد را دربر گرفت که به‌طورکلی با مقادیر بالاتر شاخص‌های رنگ‌سنجی *L، *b، Hue و Chroma مشخص شدند. در این گروه، Harmony و Lemonchelo علاوه بر ویژگی‌های رنگی، عملکرد میوه بیشتری نسبت به سایر هیبریدهای زرد نشان دادند. خوشه دوم شامل ۲۰۹۰ و Nirvin بود. هر دو هیبرید دارای میوه قرمز و مقادیر بالای شاخص *a بودند. Nirvin مقدار شاخص رنگ بالاتری نسبت به ۲۰۹۰ نشان داد، درحالی‌که ۲۰۹۰ با تعداد گل بیشتر و الگوی فنولوژیکی متفاوت متمایز شد. خوشه سوم شامل G20، Andromeda و Mars بود و هیبریدهای این خوشه با مقادیر بالاتر شاخص رنگ و برخی ویژگی‌های کیفی میوه مشخص شدند. در این میان، Mars با داشتن بیشترین عملکرد میوه و مقادیر بالای تعداد میوه و وزن تک میوه، از نظر عملکرد در این گروه برجسته بود. G20 و Andromeda نیز از نظر برخی شاخص‌های رنگ‌سنجی و کیفی میوه مقادیر قابل‌توجهی نشان دادند. خوشه چهارم تنها شامل هیبرید ۹۹۰۸ بود که با عملکرد و تعداد میوه کمتر و مقادیر بیشتر برخی صفات رویشی، از جمله طول ساقه و میان‌گره‌ها، از سایر هیبریدها متمایز شد. قرارگرفتن ۹۹۰۸ در یک خوشه مستقل نشان‌دهنده الگوی فنوتیپی متفاوت آن نسبت به سایر هیبریدهای مورد بررسی بود. در مجموع، نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که گروه‌بندی هیبریدها صرفاً بر اساس عملکرد میوه صورت نگرفت، بلکه تغییرات هم‌زمان

صفات عملکردی، فنولوژیکی، مورفولوژیکی، کیفی و رنگ‌سنجی در تفکیک آن‌ها نقش داشت. براین‌اساس، Mars از نظر عملکرد میوه برجسته بود؛ Harmony و Lemonchelo در میان هیبریدهای زرد عملکرد بالاتری نشان دادند؛ Citrin با رنگ زرد روشن و ویژگی‌های رنگ‌سنجی متمایز شد؛ و Nirvin، G20 و Andromeda نیز از نظر برخی صفات رنگی و کیفی میوه قابل‌توجه بودند.

جدول ٤. ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای مورد بررسی

Table 4. Correlation coefficients of traits studied of bell pepper hybrids investigated

Trait	YLD	SFW	NF	NFr	FL	FW	PD	SD	SL	LI 1&2	LI 4&5	LL	LW	PL
YLD	**1**													
SFW	0.73*	**1**												
NF	0.54	0.54	**1**											
NFr	0.90**	0.37	0.42	**1**										
FL	0.42	0.58	0.45	0.21	**1**									
FW	0.56	0.76**	0.56	0.31	0.04	**1**								
PD	0.15	0.48	0.12	-0.14	0.01	0.61*	**1**							
SD	0.61*	0.69*	0.69*	0.41	0.65*	0.44	-0.03	**1**						
SL	-0.26	-0.01	-0.44	-0.35	-0.45	0.31	0.39	-0.14	**1**					
LI 1&2	-0.41	0.1	-0.52	-0.64*	-0.24	0.11	0.34	-0.22	0.69*	**1**				
LI 4&5	-0.73**	-0.36	-0.39	-0.78**	-0.32	-0.38	0	-0.56	-0.02	0.54	**1**			
LL	0.1	0.1	-0.54	0.06	0.12	-0.15	0.13	-0.1	0.19	0.1	-0.19	**1**		
LW	0.35	0.17	0.09	0.36	0.35	-0.06	0.14	0.13	-0.41	-0.54	-0.38	0.66*	**1**	
PL	-0.06	-0.32	0.31	0.07	0.08	-0.21	0.02	0.13	-0.14	-0.48	-0.22	-0.36	0.05	**1**

Values are presented as reported in the submitted correlation matrix; * and ** indicate the original significance symbols.

*و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

به‌منظور نمایش بخشی از تنوع فنوتیپی مشاهده‌شده در هیبریدهای مورد بررسی، نمای ظاهری میوه چهار هیبرید ۲۰۹۰، Harmony، Andromeda و Citrin در شکل ۱ ارائه شده است. این هیبریدها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که بخشی از تفاوت‌های مشاهده‌شده در رنگ و فرم میوه و همچنین الگوی گروه‌بندی هیبریدها را نشان دهند. هیبریدهای ۲۰۹۰ و Andromeda نماینده هیبریدهای قرمز بودند، اما از نظر فرم ظاهری میوه تفاوت مشخصی داشتند به‌طوری‌که ۲۰۹۰ میوه‌ای نسبتاً بلوکی و پهن‌تر نشان داد، درحالی‌که Andromeda دارای فرم کشیده‌تر و شکل متفاوتی بود. این تفاوت با نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز هم‌خوانی داشت به‌طوری‌که ۲۰۹۰ همراه با Nirvin در یک خوشه قرار گرفت، درحالی‌که Andromeda همراه با G20 و Mars در خوشه‌ای جداگانه گروه‌بندی شد.

ادامه جدول ٤. ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای مورد بررسی

Table 4. Continued. Correlation coefficients of traits studied of bell pepper hybrids investigated

Trait	DTF	DTfru	FFP	DTM	pH	TA	TSS	TSS/TA	L*	a*	b*	Hue	Chr	CI
DTF	**1**													
DTfru	0.19	**1**												
FFP	-0.72*	0.32	**1**											
DTM	-0.19	0.52	0.76**	**1**										
pH	-0.22	-0.12	0.04	-0.29	**1**									
TA	0.13	0.49	0.23	0.66*	-0.59	**1**								
TSS	0.23	0.41	0.34	0.64*	-0.55	0.51	**1**							
TSS/TA	0.05	-0.39	-0.14	-0.4	0.28	-0.81**	0.06	**1**						
L*	-0.41	-0.45	0	-0.54	0.57	-0.81**	-0.41	0.65*	**1**					
a*	0.47	0.2	-0.18	0.34	-0.45	0.63*	0.26	-0.53	-0.94**	**1**				
b*	-0.23	-0.44	-0.16	-0.6	0.54	-0.81**	-0.45	0.63*	0.97**	-0.91**	**1**			
Hue	-0.39	-0.39	-0.01	-0.52	0.52	-0.76**	-0.42	0.59	0.99**	-0.97**	0.98**	**1**		
Chr	-0.06	-0.54	-0.38	-0.72*	0.55	-0.82**	-0.55	0.59	0.89**	-0.76**	0.96**	0.90**	**1**	
CI	0.31	0.44	0.13	0.63*	-0.52	0.81**	0.43	-0.65*	-0.99**	0.92**	-0.98**	-0.93**	**1**	

Values are presented as reported in the submitted correlation matrix; * and ** indicate the original significance symbols.

*و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

ازسوی‌دیگر، Harmony و Citrin نماینده هیبریدهای زرد بودند و هر دو در خوشه هیبریدهای زرد و روشن قرار گرفتند. باوجود قرارگیری در یک خوشه، تفاوت‌هایی در فرم و ظاهر میوه آن‌ها مشاهده شد؛ به‌طوری‌که Harmony فرم بلوکی‌تر و Citrin رنگ زرد روشن‌تر و فرم نسبتاً متفاوتی نشان داد. در مجموع، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۲) نشان داد که هیبریدهای مورد بررسی بر اساس الگوی کلی تغییرات صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی، عملکردی، کیفی و رنگ‌سنجی در چهار گروه متمایز قرار گرفتند. این گروه‌بندی نشان می‌دهد که تفکیک هیبریدها صرفاً تابع رنگ نهایی میوه نبوده، بلکه حاصل تغییرات هم‌زمان مجموعه‌ای از صفات کمی و کیفی بوده است. ازاین‌رو، تجزیه خوشه‌ای می‌تواند تصویر جامع‌تری از تنوع فنوتیپی موجود میان هیبریدها ارائه دهد و در شناسایی گروه‌های متمایز برای بررسی‌های تولیدی و اصلاحی مورداستفاده قرار گیرد.

ادامه جدول ٤. ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای مورد بررسی

Table 4. continued. Correlation coefficients of traits studied of bell pepper hybrids investigated

TRAIT	YLD	SFW	NF	NFr	FL	FW	PD	SD	SL	LI 1&2	LI 4&5	LL	LW	PL
DTF	0.01	-0.16	0.59	0.11	-0.13	0.15	0.04	-0.01	-0.37	-0.64*	-0.04	-0.44	0.15	0.53
DTFRU	-0.1	0.33	0.54	-0.3	0.58	0.08	-0.13	0.46	-0.43	-0.03	0.25	-0.33	-0.05	-0.12
FFP	0	0.26	-0.19	-0.12	0.19	0.01	-0.38	0.36	0.19	0.5	0.05	0.11	-0.33	-0.64*
DTM	-0.09	0.16	0.24	-0.17	-0.03	0.23	-0.37	0.43	0.14	0.32	0.12	-0.46	-0.58	-0.34
PH	-0.51	-0.64*	-0.67*	-0.31	-0.14	-0.86**	-0.45	-0.51	-0.26	-0.04	0.39	0.49	0.37	-0.11
TA	-0.01	0.4	0.53	-0.26	0.01	0.56	0.32	0.5	0.2	0.33	0.16	-0.56	-0.42	0.05
TSS	0.04	0.34	0.39	-0.08	-0.07	0.62*	0.02	0.36	0.33	0.14	-0.13	-0.22	-0.29	-0.33
TSS/TA	0.06	-0.25	-0.34	0.28	-0.1	-0.18	-0.27	-0.32	0.07	-0.33	-0.37	0.53	0.35	-0.17
L*	0.07	-0.13	-0.6	0.19	-0.05	-0.28	-0.02	-0.47	-0.05	-0.04	-0.11	0.76**	0.54	-0.46
A*	-0.19	-0.12	0.41	-0.22	-0.16	0.11	-0.01	0.26	0.13	0.01	0.16	-0.72*	-0.56	0.62*
B*	0.12	-0.15	-0.48	0.26	-0.08	-0.26	-0.01	-0.52	-0.2	-0.18	-0.09	0.65*	0.58	-0.39
HUE	0.16	-0.05	-0.49	0.25	0.03	-0.22	0.01	-0.41	-0.14	-0.09	-0.15	0.71*	0.57	-0.47
CHR	0.07	-0.29	-0.45	0.27	-0.2	-0.32	0.01	-0.63*	-0.25	-0.28	-0.04	0.53	0.56	-0.2
CI	-0.07	0.11	0.55	-0.17	0.04	0.24	-0.08	0.52	0.08	0.07	0.08	-0.73*	-0.56	0.41

Values are presented as reported in the submitted correlation matrix; * and ** indicate the original significance symbols.

*و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

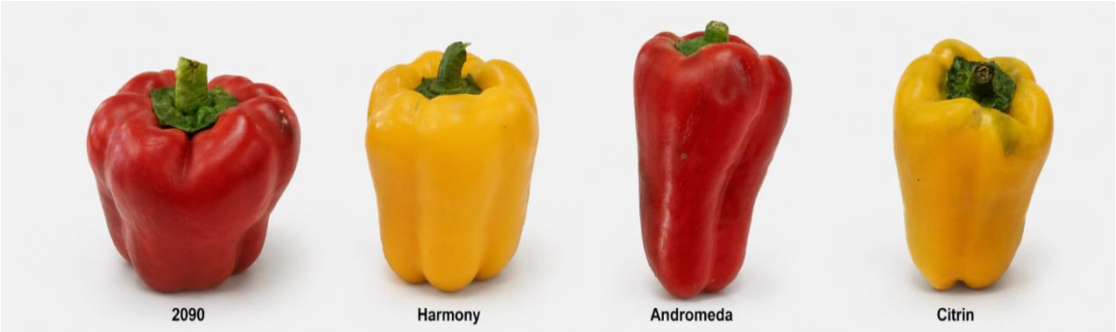
علائم اختصاری :YLD عملکرد میوه؛ :SFW وزن تک میوه؛ :NF تعداد گل؛ :NFr تعداد میوه؛ :FL طول میوه؛ :FW عرض میوه؛ :PD ضخامت پریکارپ؛ :SD قطر ساقه؛ :SL طول ساقه؛ :LI 1&2 طول میان‌گره‌های اول و دوم؛ :LI 4&5 طول میان‌گره‌های چهارم و پنجم؛ :LL طول برگ؛ :LW عرض برگ؛ :PLطول دمبرگ؛ :DTF روز تا گلدهی؛ :DTfru روز تا تشکیل میوه؛ :FFP دوره تشکیل میوه؛ :DTM روز تا رسیدگی؛ pH: pH عصاره میوه؛ :TA اسیدیته قابل تیتر؛ :TSSمواد جامد محلول کل؛ :TSS/TA نسبت مواد جامد محلول کل به اسیدیته قابل تیتر؛ :*L شاخص روشنایی؛ :*a مؤلفه رنگ سبز–قرمز؛ :*b مؤلفه رنگ آبی–زرد؛ :Hue زاویه رنگ؛ :Chr شاخص کروما یا خلوص رنگ؛ :CI شاخص رنگ

Abbreviations: YLD: Fruit yield; SFW: Single fruit weight; NF: Number of flowers; NFr: Number of fruits; FL: Fruit length; FW: Fruit width; PD: Pericarp thickness; SD: Stem diameter; SL: Stem length; LI 1&2: Length of the first and second internodes; LI 4&5: Length of the fourth and fifth internodes; LL: Leaf length; LW: Leaf width; PL: Petiole length; DTF: Days to flowering; DTfru: Days to fruit formation; FFP: Fruit formation period; DTM: Days to maturity; pH: Fruit juice pH; TA: Titratable acidity; TSS: Total soluble solids; TSS/TA: Total soluble solids-to-titratable acidity ratio; L*: Lightness index; a*: Green–red color component; b*: Blue–yellow color component; Hue: Hue angle; Chr: Chroma index (color purity); CI: Color index.

جدول ۵. گروه‌بندی هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای بر اساس تجزیه خوشه‌ای و ویژگی‌های اصلی هر خوشه

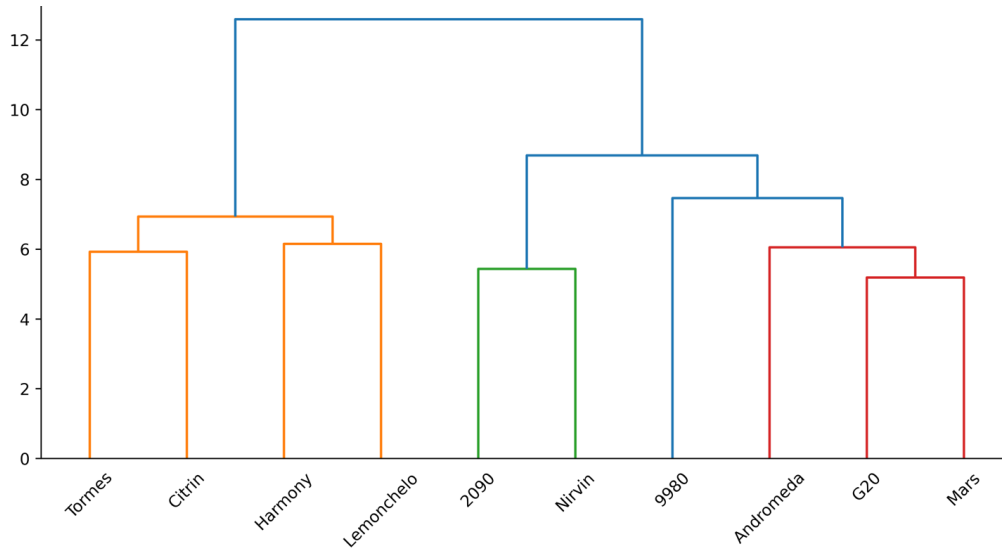
Table 5. Grouping of bell pepper hybrids based on cluster analysis and main characteristics of each cluster

خوشه Cluster	هیبرید Hybrid	توضیحات Description
۱	Harmony, Lemonchelo, Tormes, Citrin	هیبریدهای زرد/روشن با L*، b*، Hue و Chroma بالا، درون این گروه Harmony و Lemonchelo از نظر عملکرد بهترند. Yellow/light-colored hybrids characterized by high L*, b*, Hue, and Chroma values; within this group, Harmony and Lemonchelo exhibit superior fruit yield.
۲	2090, Nirvin	هیبریدهای قرمز با a* بالا، Nirvin شاخص رنگ بالاتری دارد، ولی ۲۰۹۰ بیشتر به دلیل a* بالا، تعداد گل زیاد و فنولوژی متفاوت در این گروه قرار گرفت. Red hybrids characterized by high a* values; Nirvin exhibits a higher color index, whereas 2090 is primarily grouped here due to its high a* value, greater number of flowers and distinct phenological characteristics
۳	G20, Andromeda, Mars	هیبریدهای قرمز با شاخص رنگ بالا و کیفیت میوه مناسب، Mars در این گروه از نظر عملکرد برتر است. Red hybrids characterized by high color index values and favorable fruit quality; Mars exhibits the highest fruit yield within this group.
٤	9908	هیبرید مستقل با عملکرد و تعداد میوه پایین‌تر و طول ساقه/میان‌گره بیشتر A distinct hybrid characterized by lower fruit yield and fruit number, along with greater stem and internode lengths.



شکل ۱. نمای ظاهری میوه‌ی چهار هیبرید منتخب فلفل‌دلمه‌ای در مرحله رسیدگی کامل

Fig 1. Morphological variation of fruits from four selected bell pepper hybrids at the full maturity stage



شکل ۲. تجزیه خوشه‌ای به روش Ward بر اساس صفات کمی و کیفی در هیبریدهای فلفل‌دلمه‌ای ارزیابی‌شده

Figure 2. Ward cluster analysis based on quantitative and qualitative traits in bell pepper hybrids evaluated

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای تجاری فلفل‌دلمه‌ای از نظر صفات عملکردی، مورفولوژیکی، فنولوژیکی و کیفی میوه دارای تنوع فنوتیپی قابل‌توجهی هستند. در میان هیبریدهای مورد بررسی، Mars بیشترین عملکرد میوه را به خود اختصاص داد و Harmony و Lemonchelo نیز در گروه هیبریدهای زرد از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار بودند. همچنین، Citrin از نظر ویژگی‌های رنگی میوه و Tormes از نظر زودهنگامی گلدهی و تشکیل اولین میوه متمایز بودند. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با وزن تک میوه، تعداد میوه و قطر ساقه، بیانگر اهمیت این صفات در ارزیابی و شناسایی هیبریدهای پرمحصول بود. تجزیه خوشه‌ای نیز با تفکیک هیبریدها به چهار گروه، تفاوت الگوهای فنوتیپی آن‌ها را بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی آشکار ساخت. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی هم‌زمان عملکرد و ویژگی‌های کیفی و فنولوژیکی می‌تواند مبنای مناسبی برای انتخاب هیبریدهای متناسب با اهداف مختلف تولید گلخانه‌ای باشد؛ بااین‌حال، بررسی پایداری عملکرد و کیفیت میوه در شرایط محیطی و فصل‌های مختلف برای ارائه توصیه‌های کاربردی ضروری است.

سپاسگزاری: از ریاست محترم پژوهشگاه افضلی‌پور دانشگاه شهید باهنر کرمان بابت حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاس‌گزاری می‌شود.

References

Abbasi, Z. (2024). Multivariate analysis of qualitative and quantitative traits in bell pepper hybrid cultivars. *Journal of Vegetables Sciences*, *8*(15), 153-168. 10.22034/iuvs.2023.2002860.1288

Brilhante, B. D. G., Santos, T. D. O., Santos, P. H. A. D., Kamphorst, S. H., Neto, J. D. S., Rangel, L. H., & Moulin, M. M. (2021). Phenotypic and molecular characterization of Brazilian *Capsicum* germplasm. *Agronomy*, *11*(5), 854. https://doi.org/10.3390/agronomy11050854

Elizondo-Cabalceta, E., & Monge-Perez, J. E. (2017). Morphological characterization of 15 bell pepper (*Capsicum annuum*) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica. *InterSedes, 18*(37), 129–154. https://doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28652

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Addison Wesley Longman.

Fehr, W. R. (1991). *Principles of cultivar development: Theory and technique*. New York, NY.

GolCheshmeh, S., Kiani, G., KazemiTabar, S. K., & Navabpour, S. (2022). Investigation of morphological diversity and evaluation of tomato lines yield using multivariate statistical analysis. *Journal of Horticultural Science, 36*(2), 415–427. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70173.1048 [In Persian]

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

Karim, K. R., Rafii, M. Y., Misran, A., Ismail, M. F., Harun, A. R., Ridzuan, R., … Haque, M. A. (2022). Genetic diversity analysis among *Capsicum annuum* mutants based on morpho-physiological and yield traits. *Agronomy*, *12*(10), 2436. https://doi.org/10.3390/agronomy12102436

Keshavarz, S., Peighambari, S., 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. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.263743.1500

López Camelo, A. F., & Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, *22*(3), 534-537. https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006

Luitel, B. P., Lee, T. J., & Kang, W. H. (2011). Variation for fruit yield and quality characteristics in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) germplasm collection. *Korean Journal of Breeding Science*, *43*(2), 139–144.

Maurya, A. K., Kushwaha, M. L., Jain, S. K., & Santosh Kumar, S. K. (2017). Character association and path analysis studies for yield and yield attributes in green chilli (*Capsicum annuum* L.). *Vegetos, 30*, 369–373. https://doi.org/10.5958/2229-4473.2017.00100.8

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience, 27*(12), 1254-1255. 10.21273/HORTSCI.27.12.1254

Moon, S., Ro, N., Kim, J., Ko, H. C., Lee, S., Oh, H., & Lee, G. A. (2023). Characterization of diverse pepper (*Capsicum* spp.) germplasms based on agro-morphological traits and phytochemical contents. *Agronomy, 13*(10), 2665. https://doi.org/10.3390/agronomy13102665

Nankar, A. N., Todorova, V., Tringovska, I., Pasev, G., Radeva-Ivanova, V., Ivanova, V., & Kostova, D. (2020). A step towards Balkan *Capsicum annuum* L. core collection: Phenotypic and biochemical characterization of 180 accessions for agronomic, fruit quality, and virus resistance traits. *PLoS ONE, 15*(8), e0237741. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237741

Parisi, M., Alioto, D., & Tripodi, P. (2020). Overview of biotic stresses in pepper (*Capsicum* spp.): Sources of genetic resistance, molecular breeding and genomics. *International Journal of Molecular Sciences, 21*(7), 2587. https://doi.org/10.3390/ijms21072587

Pujar, U. U., Tirakannanavar, S., Jagadeesha, R. C., Gasti, V. D., & Sandhyarani, N. (2017). Genetic variability, heritability, correlation and path analysis in chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Pure & Applied Bioscience, 5*(5), 579–586. https://doi.org/10.18782/2320-7051.5878

Rahevar, P. M., Patel, J. N., Kumar, S., & Acharya, R. R. (2019). Morphological, biochemical and molecular characterization for genetic variability analysis of *Capsicum annuum*. *Vegetos, 32*(2), 131–141. https://doi.org/10.1007/s42535-019-00016-5

Roy, S., Chatterjee, S., Hossain, M. A., Basfore, S., & Karak, C. (2019). Path analysis study and morphological characterization of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum*). *International Journal of Chemical Studies, 7*(1), 1777–1784.

Salehian, M., Darvishzadeh, R., Rezazadeh Bari, M., Jabari, M., & Jannatdoust, M. (2022). Evaluation of genetic variability of agro-morphological traits in Iranian peppers population (*Capsicum annuum* L.). *Plant Productions, 45*(2), 157–168. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.37868.1988

Sood, S., Sood, R., Sagar, V., & Sharma, K. C. (2009). Genetic variation and association analysis for fruit yield, agronomic and quality characters in bell pepper. *International Journal of Vegetable Science, 15*(3), 272–284. https://doi.org/10.1080/19315260902875822

Todorova, V., Nankar, A. N., Yankova, V., Tringovska, I., & Markova, D. (2024). Assessment of Balkan pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions for agronomic, fruit quality, and pest resistance traits. *Horticulturae, 10*(4), 389. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040389

Tripodi, P., Schiavi, M., & Lo Scalzo, R. (2021). Multi-scale evaluation on two locations and digital fruit imaging highlight morpho-agronomic performances and antioxidant properties in chilli pepper hybrids. *Agronomy, 11*(4), 805. https://doi.org/10.3390/agronomy11040805

Zare-Bavani, M. R., Rahmati-Joneidabad, M., & Jooyandeh, H. (2024). Gum tragacanth, a novel edible coating, maintains biochemical quality, antioxidant capacity, and storage life in bell pepper fruits. *Food Science & Nutrition, 12*, 3935-3948. https://doi.org/10.1002/fsn3.4052