Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2024, Vol 8, No 15(1), Pages 153-168

Ilam University

doi:10.22034/IUVS.2023.2002860.1288 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Multivariate analysis of qualitative and quantitative traits in bell pepper hybrid cultivars

Zahra Abbasi[1]*

1- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Isfahan, Iran

***Corresponding author:** zaryaabbasi@gmail.com

(**Received:** 21 May 2023 **Revise:** 21 August 2023 **Accepted:** 26 August 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Pepper (*Capsicum annuum* L.), with all unique flavors and varieties, maintains high consumption rates and economic value. The awareness of sustainable products among consumers has increased interest for bioactive constituents and plant extracts in the pharmaceutical, cosmeceutical and food industries. Pepper products containing capsaicinoids, carotenoids, and oleoresins are crucial in pharmaceutical, nutricosmetics and cosmeceuticals owing to their analgesic and antioxidant properties and ease of topical and oral administrations. A breeding program includes several activities such as maintaining a germplasm bank, evaluating genetic diversity, selecting superior genotypes, hybridization, and evaluating segregated populations. The information from genetic diversity is also helpful for conservation, evaluation, utilization of genetic resources and for determining the uniqueness and distinctness of genotypes. This study was accomplished to assess the relationships between different traits and identify parents with high genetic distances.
2. **Materials and Methods:** In this project, 14 bell pepper hybrids including six red varieties (Caoba, Neirvin, Plutonio, Insprision, Masilia, and Iitana), five yellow varieties (Lumus, Bachata, Harmony, Taranto, and Spring) and three orange varieties (Magno, Arankia, and Paramo), were investigated in a completely random design with three replications in the greenhouse in Isfahan. Seedlings were transplanted on 2nd August 2021; each plot contained four plants of each hybrid, 30 cm apart standard; cultural practices recommended for growing bell pepper crops. About five months after planting, the plant height was measured in centimeters. Average fruit yield per plant was recorded for six harvest times. After fruit harvesting, for each genotype, data were recorded on five ripe fruits randomly taken plants from each plot; quantitative and qualitative traits were measured as follows: fruit length and diameter, peduncle length, and fruit pericarp thickness were recorded with a digital caliper. The shape index trait was obtained from the ratio of the fruit length to the diameter. The total soluble solids were measured by a refractometer. Finally, the average was calculated to record the mean value in each replication for all the characters under study. Analysis of variance was done to determine differences among the genotypes. Mean separation was done using the LSD test at p-values < 0.05. Data for each genotype were averaged across the replications and then used for correlation, cluster and principal component analysis (PCA). The data were analyzed by software SAS V.9.4 and SPSS 27.0.1.
3. **Results and Discussion:** The results of variance analysis showed significant deference among hybrids for all quantitative and qualitative traits. The most variation was for fruit size traits (diameter and shape index). The orthogonal comparison for pepper colors showed significant differences in fruit length, diameter, shape index, and soluble solids. The results of trait correlation coefficients showed that the fruit yield per plant had a strong positive correlation with the fruit diameter and fruit weight traits, and there was a positive and significant correlation with the traits of fruit length, fruit pericarp thickness, and hundred seed weight. Based on cluster analysis results, the hybrids were placed in four separate groups. The first group hybrids include five hybrids: Aranika (Orange), Paramo (Orange), Spring book (yellow), Nirvin (Red), and Masilia (Red) with medium fruit yield. The second group with three hybrids: Magno (Orange), Pachata (Yellow), and Aitana (Red), showed the lowest quantity characters such as low fruit weight, shape index, fruit pericarp thickness, peduncle length, and meager fruit yield. Contrary to this, the third group with two hybrids Caoba (Red) and Plutonio (Red), had the highest quantity characters such as high fruit weight, neck diameter, hundred seed weight, and very high fruit yield. The dispersion and distribution of different bell pepper colors in separate groups confirm the high genetic distance

between the hybrids. The first two components justified 39.67 and 18.24% of total variance principal component analysis showed that the first principal component (PC1) was related to fruit yield attribute. The second principal component (PC2) had positive correlation with qualitative attribute of the fruit (soluble solids).

4. **Conclusion:** The results of the current study were able to reveal the high diversity within the evaluated hybrids and partition them into meaningful groups. This can also be helpful for informed pepper breeding and improvement programs. High genetic variation between bell pepper hybrids and within each color for most of the studied traits can be effective in the breeding programs for pure line production.

Keywords: Cluster analysis, Fruit yield in the plant, PCA analysis, Quantity and quality traits

Citation: Abbasi, Z. (2024). Multivariate analysis of qualitative and quantitative traits in bell pepper hybrid cultivars. *Journal of Vegetables Sciences*, 15(1), 153-168. doi:10.22034/IUVS.2023.2002860.1288

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creat5ive Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۸ ، دوره ۱۵، شماره ۱، بهار و تابستان۱۴۰۳، صفحات (۱۶۸-۱۵۳)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/IUVS.2023.2002860.1288

تجزیه و تحلیل چند متغیره صفات کمی و کیفی در ارقام هیبرید فلفل دلمه‌ای

زهرا عباسی[1*]

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

*نویسنده مسئول: zaryaabbasi@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴)

چکیده

به‌منظور ارزیابی روابط بین صفات و شناسایی والدین با فواصل ژنتیکی بالا، تعداد ۱۴ هیبرید فلفل دلمه‌ای شامل۶ رقم قرمز (کائوبا، نیروین، پلوتونیو، اینسپریشن، ماسیلیا و آیتانا)، ۵ رقم زرد (لوموس، باچاتا، هارمونی، تارانتو و اسپرینگ) و ۳ رقم نارنجی (مگنو، آرانکیا و پارامو)، به‌صورت طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در طی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در گلخانه تجاری تولید فلفل در اصفهان بررسی شدند. صفات ارتفاع گیاه، طول، قطر و وزن میوه، شاخص شکل، طول دمگل، ضخامت گوشت میوه، وزن صد دانه، تعداد دانه در میوه، مواد جامد محلول و عملکرد میوه در بوته اندازه‌گیری شدند. نتایج بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد میوه در بوته با صفات طول میوه (r=۰/۴۰۲)، قطر میوه (r=۰/۵۹۳)، وزن میوه (r=۰/۸۱۶)، ضخامت گوشت میوه (r=۰/۲۹۱) و وزن صد دانه (r=۰/۴۱) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، هیبریدها در چهار گروه مجزا قرارگرفتند. هیبریدها در گروه دو پایین‌ترین سطح ویژگی‌های کمی و دو هیبرید قرمز کائوبا و پلوتونیو در گروه سه بیشترین عملکرد و خصوصیات کمی را دارا بودند. پراکندگی و توزیع رنگ‌های مختلف فلفل دلمه‌ای در گروه‌های مجزا، فاصله ژنتیکی بالا بین هیبریدها را تأیید می‌کند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، همبستگی صفات مورد بررسی با مؤلفه‌ها نشان داد مؤلفه اول با مقدار ۳۹/۶۷ درصد به صفت عملکرد میوه و مؤلفه دوم با مقدار ۱۸/۲۴ درصد به صفت کیفی میوه (مواد جامد محلول) اختصاص دارد. از نتایج بدست آمده می‌توان در ایجاد جمعیت‌های پایه اصلاحی برای ارقام فلفل دلمه‌ای بهره برداری نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، صفات کمی و کیفی، عملکرد میوه در بوته

استناد: عباسی، ز. (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل چند متغیره صفات کمی و کیفی در ارقام هیبرید فلفل دلمه‌ای. *علوم سبزی‌ها*، ۱۵(۱)، ۱۶۸-۱۵۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فلفل یک محصول اصلی از خانواده سیب‌زمینی سانان (Solanaceae) است که در مناطق آب و هوایی گرم آسیا، آمریکای شمالی و جنوبی، اروپا و آفریقا گسترده شده‌است. این محصول به‌دلیل ارزش تغذیه‌ای فراوان و نقش ارزنده آن در سلامتی انسان، در رژیم غذایی انسان بسیار مورد استقبال قرارگرفته‌است (Jarret *et al.*, 2019). از بیش از ۳۰ گونه جنس *Capsicum*، تنها ۵ گونه آن به‌عنوان سبزی با مصارف تازه‌خوری مورد استفاده قرارمی‌گیرد. در بین آن‌ها فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. جزء متداول‌ترین فلفل‌هایی هستند که امروزه در جهان با هدف مصارف خوراکی و زینتی کشت می‌شود و شامل سه نوع فلفل شیرین، فلفل هالوپینو و فلفل پوبلانو است (Bosland *et al.*, 2012). میوه‌های فلفل حاوی ترکیبات تند دسته کپسایسینوئید (Capsaicinoid) کاپسایسین (Capsaicin)، دی‌هیدروکپسایسین (Dihydrocapsaicin) و نوردی‌هیدروکپسایسین (Nordihydrocapsaicin) و ترکیبات رنگی کاروتنوئید هستند که کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارند. رنگ میوه‌ها با توجه به مرحله رشد میوه به‌دلیل تجمع رنگیزه‌های مختلف از سبز تا زرد و نارنجی متغیر است. میوه‌های فلفل حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فعال زیستی مانند کاروتنوئیدها (لوتئین (Lutein)، کپسانتین (Capsanthin)، کپسوروبین (Capsorubin)، زآگزانتین (Zeaxanthin) و غیره)، اسید آسکوربیک، توکوفرول‌ها و کپسایسینوئیدها با خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند که محتوای بالای این ترکیبات فعال زیستی، این گیاه را به منبعی تغذیه‌ای غنی تبدیل کرده‌است (Christov *et al.*, 2021). آنتوسیانین دلفینیدین، که عمدتاً در فلفل‌های بنفش رنگ وجود دارد، یک منبع آنتی‌اکسیدانی اصلی است و به عنوان یک محافظ اشعه فرابنفش عمل می‌کند (Liu *et al.*, 2018). کاروتنوئیدهای اصلی پرویتامین A، یعنی آلفا و بتاکاروتن و بتاکریپتوکسانتین، به‌مقدار زیادی در فلفل وجود دارد. فلفل قرمز حاوی مقدار زیادی آلفاکاروتن است، در حالی‌که فلفل‌های زرد و نارنجی غنی‌ترین منابع بتاکریپتوکسانتین هستند (Baenas *et al*, 2019). این گیاه دیپلوئید دارای تعداد کروموزوم هاپلوییید n=۱۳ (در فلفل‌های شیرین) و n=۱۲ (در فلفل‌های تند) است. بومیان آمریکایی، اولین اصلاحگران جنس *Capsicum* بودند که از طریق انتخاب، گونه‌های مختلف این گیاه را اهلی کردند و منجر به تولید بسیاری از انواع میوه‌های امروزی شده‌اند. پرورش فلفل بیشتر از طریق انتخاب توده‌ای (Mass selection) صورت گرفته‌است و اخیراً اصلاحگران تأکید زیادی بر استفاده از هیبریداسیون در برنامه‌های اصلاحی دارند (Patil & Salimath, 2008; Rêgo *et al*., 2015; Ferreira *et al*., 2015; Fortunato *et al*., 2015). هر نوع فلفل، بسته به شکل و فرم میوه یا بوته و نوع بازار مصرف، دارای ویژگی‌های خاصی است که موجب می‌شود از لحاظ تجاری قابل قبول باشد و بنابراین برنامه‌های اصلاحی نیز در راستای تقاضای بازار صورت گیرد. بسته به میزان وراثت پذیری صفات، اصلاح بعضی از صفات نسبت به بقیه صفات مشکل‌تر است (Zewdie & Bosland, 2000). برای مثال صفت تندی که به سه دسته تندی کم، متوسط و فوق تند طبقه بندی می‌شود و به دلیل تفاوت‌های منطقه‌ای و فردی، درک متفاوتی از طعم تندی در بین مصرف کنندگان وجود دارد، برنامه اصلاحی پیچیده‌ای دارد (Yun *et al,* 2023).

ارزیابی تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم و مواد ژنتیکی موجود در بانک ژن برای صفات مهم، راه را برای اصلاح فلفل برای کاربردهای مختلف هموار می‌کند. هتروزیس در فلفل در مطالعات مختلف مشاهده شده‌است و عملکرد بذور هیبرید حدود ۳۰ درصد بیشتر از ارقام غیرهیبرید (لاین‌های خالص و ارقام آزادگرده افشان) بوده است. در حال حاضر تنها هیبریدهای سینگل‌کراس بدلیل یکنواختی در رسیدگی و ساختار گیاه به‌طور وسیع استفاده می‌شود و تولید هیبریدهای تری‌وی-کراس و دابل‌کراس جایگاهی ندارد. اما هیبریدهای سینگل‌کراس بدلیل یکنواختی، پایداری عملکرد کمتری

در مقایسه با هیبریدهای تری‌وی‌کراس و دابل‌کراس دارند و بنابراین اثر متقابل ژنوتیپ × سال در هیبریدهای سینگل‌کراس بیشتر از تری‌وی‌کراس است (Fite, 2003). Fateh و Barzegar (2019) در بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر روی صفات کمی و کیفی فلفل دلمه‌ای، تنوع قابل ملاحظه‌ای را برای صفات گزارش کردند. به‌طوریکه عملکرد میوه بین ۷/۳ تا ۲۴/۹۹ تن در هکتار، میانگین وزن میوه بین ۸۹/۲ تا ۱۶۱/۴ گرم و مواد جامد محلول در دامنه ۴ تا ۴/۹۳ درصد بریکس بود. Asghari و همکاران (2022) از آمار چند متغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای برای بررسی تنوع ژنتیکی تعداد ۴۲ هیبرید سیب زمینی حاصل از برنامه‌های اصلاحی استفاده کردند. بر طبق نتایج آنها، سه مؤلفه حدود ۷۰ درصد تغییرات را توجیه کرد و هیبریدها در چهار گروه خوشه‌بندی شدند. هدف این تحقیق ارزیابی روابط بین صفات موفولوژیکی، کیفی و عملکرد در برخی از مهم‌ترین هیبریدهای تجاری فلفل به‌منظور: (الف) شناسایی صفات با تنوع بالاتر و (ب) شناسایی والدین با فواصل ژنتیکی بالا برای انجام برنامه تلاقی و ایجاد جمعیت پایه بود.

مواد و روش‌ها

شرایط گلخانه و مواد گیاهی

پژوهش حاضر در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در گلخانه تجاری تولید فلفل دلمه‌ای واقع در روستای پیله‌وران در جنوب اصفهان مورد ارزیابی قرارگرفتند. میانگین دمای گلخانه در طول روز و شب به‌ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰-۸۰ درصد بود. دمای گلخانه با استفاده از پرده‌ساران (Saran cloth) و پنکه خارج‌کننده هوا و پنجره‌های سقفی و کناری در حد مناسب حفظ شد و رطوبت گلخانه با استفاده از آبیاری کف گلخانه و بازکردن دریچه‌های جانبی و سقف گلخانه تا حدامکان تنظیم گردید.

نشاء ارقام فلفل دلمه‌ای پس از تهیه از مرکز تولید نشاء سپهر آفتاب (رجایی) در تاریخ ۱۱ مرداد ۱۴۰۰ پس از ضدعفونی ریشه‌ها با قارچ‌کش پیرام در گلخانه با بستر کشت خاکی (بافت لومی رسی با اسیدیه ۷ و شوری حدود ۲ دسی زیمنس بر متر مربع) انتقال داده شد (جدول ۱). در طول دوره رشد کلیه مراقبت‌های زراعی و محلول‌دهی برای تمام گیاهان یکسان و مطابق دستورالعمل‌های توصیه شده برای کشت فلفل در فضای گلخانه صورت گرفت. آبیاری بوته‌ها به‌روش قطره‌ای انجام شد. تربیت بوته‌ها به‌صورت دو شاخه‌ای (V شکل) و هرس شاخه‌های فرعی به‌طور منظم انجام شد. گل‌دهی بوته‌ها حدود ۲۰ روز و تولید میوه حدود سه ماه پس از انتقال نشاء صورت گرفت. برداشت میوه‌ها در ۶ چین و به‌صورت دستی انجام گرفت.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ۱۴ هیبرید فلفل دلمه‌ای شامل ۶ رقم قرمز (کائوبا، نیروین، پلوتونیو، اینسپریشن، ماسیلیا و آیتانا)، ۵ رقم زرد (لوموس، باچاتا، هارمونی، تارانتو و اسپرینگ) و ۳ رقم نارنجی (مگنو، آرانکیا و پارامو) بودند. صفات ارتفاع گیاه، طول، قطر و وزن میوه، شاخص شکل، طول دمگل، ضخامت گوشت میوه، وزن صد دانه، تعداد دانه در میوه، مواد جامد محلول و عملکرد میوه در بوته (میانگین ۶ چین) اندازه‌گیری شدند. آزمایش به‌صورت طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد و در هر تکرار ۴ بوته کشت شد. بوته‌ها در فواصل ۳۰ سانتی‌متری از یکدیگر به‌طور متناوب در دو ردیف، به‌صورت نشایی و با دست کشت شدند.

نحوه اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

حدود پنج ماه پس از کاشت، ارتفاع بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. میوه‌ها در شش چین برداشت شدند و عملکرد میوه در هر بوته برای میانگین شش چین ثبت گردید. پس از برداشت میوه، از هر ژنوتیپ تعداد ۵ میوه رسیده بطور تصادفی انتخاب و صفات کمی و کیفی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند: طول و قطر میوه، طول دمگل و همچنین ضخامت گوشت میوه با دستگاه کولیس دیجیتال ثبت گردید. صفت

شاخص شکل از نسبت طول به قطر میوه حاصل شد. مواد جامد محلول میوه‌ها به‌وسیله دستگاه رفراکتومتر (ATAGO, Japan, Brix 0-32 %) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the test site soil

Soil texture بافت خاک	Total Ca کلسیم کل (meq/l)	Total Mg منیزیم کل (meq/l)	Total K پتاسیم کل (mg/kg)	Total P فسفر کل (mg/kg)	N نیتروژن (%)	Sand شن (%)	Silt سیلت (%)	Clay رس (%)	(pH) اسیدیته	EC هدایت الکتریکی (ds/m)	Organic materials مواد آلی (٪)
loam-clay لومی- رسی	21	1.1	275	9.4	0.11	40	26	34	7	2	1.19

آنالیز داده‌ها

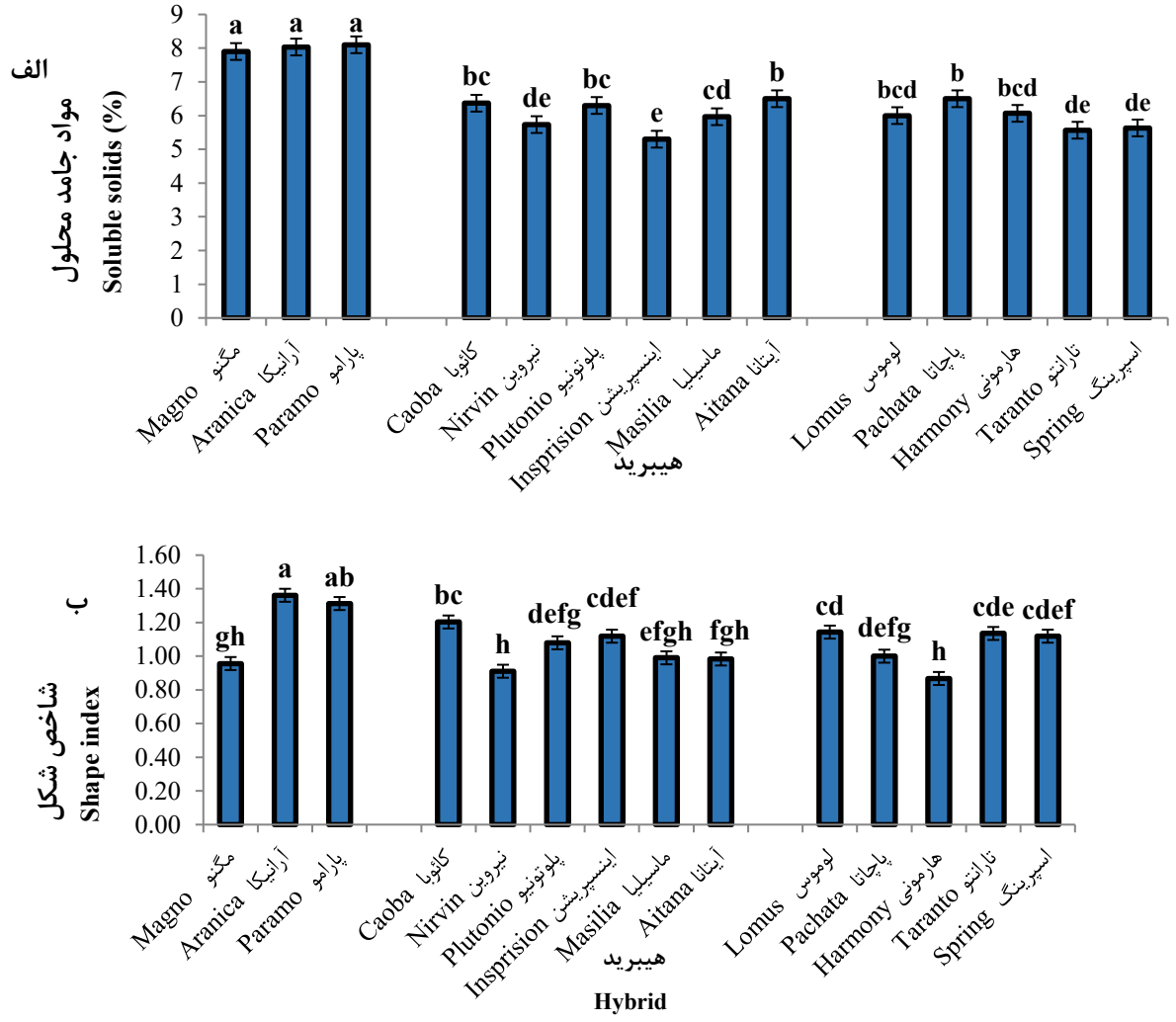
ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از تست نرمالیته تأیید شد. پس از انجام تجزیه واریانس ساده بر روی صفات کمی و کیفی، مقایسه میانگین صفات به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. مقایسات گروهی براساس صفات کمی و کیفی برای سه رنگ قرمز، زرد و نارنجی انجام شد. برای بررسی روابط بین صفات از تجزیه همبستگی پیرسون استفاده شد. به‌منظور گروه‌بندی هیبریدها از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward بر مبنای ماتریس فاصله‌ای اقلیدسی استفاده گردید. همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز بر مبنای ماتریس ضرایب همبستگی برای داده‌های مورفولوژیک انجام شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری ذکر شده با کمک نرم‌افزارهای SAS V.9.4 و SPSS 27.0.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین به روش LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) و آماره‌های توصیفی شامل میانگین کل، خطای معیار، مقادیر حداقل و حداکثر و دامنه صفات کمی هیبریدهای فلفل دلمه‌ای مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. بیشترین تنوع برای صفات مربوط به اندازه میوه (قطر میوه و شاخص شکل) وجود داشت. این تنوع ژنتیکی موجود بین صفات کمی نشانگر خوبی برای شروع برنامه اصلاحی و انجام تلاقی بین بوته‌ها می‌باشد. در مطالعات قبلی صورت گرفته به‌منظور بررسی تنوع فنوتیپی در گیاه فلفل نیز تنوع ژنتیکی گسترده‌ای مشاهده شده‌است (Carvalho *et al*., 2017; Nankar *et al*., 2020; Pereira-Dias *et al*., 2020; Tsonev *et al*., 2017). نتایج مقایسات گروهی بین رنگ‌های مختلف فلفل دلمه‌ای برای صفات طول میوه، قطر میوه، شاخص شکل و مواد جامد محلول تفاوت معنی‌دار نشان دادند که مقادیر شاخص شکل و مواد جامد محلول برای سه رنگ نارنجی، قرمز و زرد در شکل ۱ نشان داده شده است. مواد جامد محلول با رنگ فلفل دلمه‌ای مرتبط بود، یعنی میانگین این صفت برای ارقام نارنجی (۸/۰۱۱ درصد) نسبت به دو رقم قرمز و زرد (بترتیب ۶/۰۲۸ و ۵/۹۵۳ درصد) به‌طور معنی‌دار بالاتر بود. این نتایج در تطابق با مطالعه Ghasemnezhad و همکاران (۲۰۱۱) و Aslani و همکاران (۲۰۱۵) است که تفاوت معنی‌داری را بین ارقام قرمز و زرد گزارش نکردند؛ ولی رقم نارنجی در مطالعه آنها با بیشترین میزان و به‌طور معنی‌دار تفاوت داشت.

نتایج بررسی همبستگی بین صفات (جدول ۳) نشان داد که عملکرد میوه در بوته با صفات طول میوه

(r=۰/۴۰۲)، قطر میوه (r=۰/۵۹۳)، وزن میوه (r=۰/۸۱۶)، ضخامت گوشت میوه (r =۰/۲۹۱) و وزن صد دانه (r=۰/۴۱۰) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول میوه با قطر میوه (r=۰/۳۹۹) و طول میوه با شاخص شکل (r=۰/۶۷۶) وجود داشت. همبستگی منفی و معنی‌دار بین قطر میوه و شاخص شکل (r=-۰/۳۹۶) نیز حکایت از ارتباط معکوس این دو جزء دارد. وزن صد دانه و تعداد دانه در میوه با وزن میوه (به‌ترتیب برابر ۰/۳۶۱ و ۰/۲۷۰) همبستگی مثبت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳). از آنجایی‌که اصلاحگران با فروش بذور مطلوب سودآوری خواهند داشت، بنابراین دو صفت تعداد دانه در میوه و وزن صد دانه ارزش تجاری بالایی دارند (Sampaio, 2023). صفات ارتفاع بوته و مواد جامد محلول با هیچ یک از صفات همبستگی نداشتند. در توافق با این مطالعه، نتایج ارزیابی ده هیبرید تجاری فلفل در دو محیط برای صفات مختلف نشان داد که همبستگی منفی معنی‌دار بین شاخص شکل و قطر میوه (r=-۰/۷۶) وجود دارد. برخلاف نتایج این مطالعه همبستگی مثبت معنی‌دار بین شاخص شکل و مواد جامد محلول و همچنین بین وزن میوه و مواد جامد محلول پیدا شد (Trip *et al*., 2021).



شکل ۱- مواد جامد محلول (الف) و شاخص شکل (ب) هیبریدهای فلفل دلمه‌ای بترتیب در سه رنگ نارنجی ، قرمز و زرد (ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

Figure 1- Soluble solids (a) Shape index (b) of bell pepper hybrids respectively in three colors orange, red and yellow (Columns with same letters have no significant differences at the 5% probability level).

جدول ۲- مقایسه میانگین (به روش LSD در سطح ۵ درصد) صفات کمی و کیفی هیبرید های فلفل دلمه ای مورد بررسی در گلخانه

Table 2- Mean comparison (by LSD method at 5% level) for quantitative and qualitative traits of bell pepper hybrids investigated in the greenhouse

هیبرید Hybrid	ارتفاع گیاه (cm) Plant height	طول میوه (mm) Fruit length	قطر میوه (mm) Fruit diameter	شاخص شکل Shape index	وزن میوه (gr) Fruit weight	طول دمگل (cm) Peduncle length	ضخامت گوشت میوه (mm) Fruit pericarp thickness	وزن صد دانه (gr) Hundred seed weight	تعداد دانه در میوه Seeds number in fruit	مواد جامد محلول (٪) Soluble solids	عملکرد میوه در بوته (gr) Fruit yield
Caoba (Red)(قرمز)کائوبا	136.3	100.7	84.08	1.203	256.3	4.983	6.403	1.519	184.3	6.367	1484.6
Nirvin (Red)(قرمز)نیروین	109.3	74.17	83.71	0.911	188.9	5.573	6.153	1.408	212.3	5.733	1108.3
Plutonio (Red)(قرمز)پلوتونیو	110.8	90.48	84.19	1.079	251.5	5.980	9.377	1.564	237.3	6.300	1515.9
Insprision (قرمز) اینسپریشن (Red)	106.8	87.56	78.40	1.119	209.1	5.233	7.243	1.375	270.3	5.300	1302.2
Masilia (Red)(قرمز)ماسیلیا	103.8	80.76	81.64	0.990	198.1	4.425	6.395	1.414	254.3	5.967	1110.2
Aitana (Red)(قرمز)آیتانا	135.8	75.77	77.13	0.983	151.8	3.933	5.247	1.372	235.0	6.500	932.0
Magno (آنزا) (نارنجی) (Anza)(Orange)	111.3	86.83	91.05	0.956	195.1	4.800	6.667	1.378	311.3	7.900	1068.8
Aranica (نارنجی) آرانیکا (Orange)	127.7	97.03	71.22	1.362	158.3	4.925	7.200	1.229	84.0	8.033	968.3
Paramo (نارنجی) پارامو (Orange)	122.7	98.82	75.38	1.313	177.6	5.567	7.077	1.333	225.0	8.100	1140.2
Lomus (Yello)(زرد)لوموس	120.5	92.77	81.33	1.143	212.4	5.633	7.403	1.328	291.7	6.000	1269.3
Pachata (Yello)(زرد)پاچاتا	83.3	60.00	59.78	1.000	139.0	4.417	5.868	1.405	156.3	6.500	958.0
Harmony (Yello)(زرد)هارمونی	151.3	79.24	91.30	0.868	254.6	5.800	6.757	1.325	253.3	6.067	1358.0
Taranto (Yello)(زرد)تارانتو	114	92.62	81.55	1.135	196.2	4.867	6.907	1.338	109.0	5.567	1223.9
Spring (Yello) (زرد) اسپرینگ	126.5	88.28	78.84	1.119	206.8	8.000	7.990	1.319	300.0	5.633	1067.3
LSD (0.05)	36.22	13.78	13.96	0.15	74.6	2.026	1.779	0.151	105.8	0.504	377.8
Mean میانگین	118.6	86.08	79.97	1.084	199.7	5.295	6.905	1.379	223.2	6.426	1179.1
Std Dev خطای معیار	24.26	12.83	10.38	0.159	51.39	1.381	1.306	0.111	84.96	0.940	260.9
Min حداقل	70	50.61	53.52	0.691	88.5	2.1	4.87	1	20	5.3	819
Max حداکثر	164	116.78	107.18	1.422	322.3	8	10.86	1.62	345	8.8	1866.9
Range دامنه	94	66.17	53.66	0.731	233.8	5.9	5.99	0.62	325	3.5	1047.9

جدول ۳- ضرایب همبستگی فنوتیپی بین صفات کمی و کیفی در هیبریدهای فلفل دلمه‌ای ارزیابی شده در گلخانه

Table 3-Phenotypic correlation coefficients between quantitative and qualitative traits in bell pepper hybrids evaluated in the greenhouse

صفات	ارتفاع گیاه (cm) Plant height	طول میوه (mm) Fruit length	قطر میوه (mm) Fruit diameter	شاخص شکل Shape index	وزن میوه (gr) Fruit weight	طول دمگل (cm) Peduncle length	ضخامت گوشت میوه (mm) Fruit pericarp thickness	وزن صد دانه (gr) Hundred seed weight	تعداد دانه در میوه Seeds number in fruit	مواد جامد محلول (%) Soluble solids	عملکرد میوه در بوته (gr) Fruit yield
ارتفاع گیاه (cm) Plant height	1										
طول میوه (mm) Fruit length	0.243	1									
قطر میوه (mm) Fruit diameter	0.102	0.399**	1								
شاخص شکل Shape index	0.149	0.676**	-0.396**	1							
وزن میوه (gr) Fruit weight	0.185	0.455**	0.726**	-0.158	1						
طول دمگل (cm) Peduncle length	0.160	0.126	0.055	0.062	0.324*	1					
ضخامت گوشت میوه (mm) Fruit pericarp thickness	-0.048	0.298*	0.112	0.218	0.362**	0.498**	1				
وزن صد دانه (gr) Hundred seed weight	0.066	-0.111	0.183	-0.287	0.361**	0.058	0.178	1			
تعداد دانه در میوه Seeds number in fruit	-0.032	-0.002	0.352*	-0.314*	0.270*	0.240	0.057	0.166	1		
مواد جامد محلول (%) Soluble solids	0.026	0.257	-0.053	0.342	-0.218	-0.150	-0.059	-0.191	-0.114	1	
عملکرد میوه در بوته (gr) Fruit yield	0.178	0.402**	0.593**	-0.09	0.816**	0.096	0.291*	0.410**	0.045	-0.192	1

**و * : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

همچنین وزن میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر میوه و طول میوه نشان داد که این رابطه با قطر میوه شدیدتر بود (جدول ۳). Nankar و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی ۱۸۰ ژنوتیپ فلفل همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد میوه و وزن میوه، قطر میوه و ضخامت گوشت میوه پیدا کردند. همبستگی بالا بین صفات که حکایت از وجود لینکاژ ژنی و یا ژن‌هایی با اثرات چندگانه دارد، به‌نژادگر را در بالابردن بازده ناشی از انتخاب غیرمستقیم کمک می‌کند (Feher, 1987).

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات موفولوژیک، هیبریدها را در فاصله اقلدسی ۰/۱ در چهار گروه مجزا قرارداد (شکل۲). مقادیر میانگین و انحراف از میانگین کل گروه‌ها در جدول ۴ آمده‌است. از آنجایی‌که هدف در این پروژه شناسایی والدین با اختلاف ژنتیکی در هر رنگ فلفل دلمه‌ای می‌باشد، پراکندگی و توزیع رنگ‌های مختلف فلفل دلمه‌ای در گروه های مجزا، حکایت از فاصله ژنتیکی بالا بین این هیبریدها دارد و بنابراین تلاقی دو به دو هیبریدها در هر رنگ موفقیت‌آمیز خواهد بود. بر طبق نتایج جدول ۴، هیبریدهای گروه اول شامل ۵ هیبرید: آرنکیا (Arankia) (نارنجی)، پارامو (Paramo) (نارنجی)، اسپرینگ (Spring) (زرد)، نروین (Neirvin) (قرمز) و ماسیلیا (Masilia) (قرمز) دارای عملکرد متوسط بودند. گروه دوم با سه هیبرید مگنو (Magno) (نارنجی)، باچاتا (Pachata) (زرد) و آیتانا (Aitana) (قرمز) کمترین ویژگیهای کمی نظیر وزن میوه کم، شاخص شکل پایین، ضخامت گوشت کم، طول دمگل کوتاه و عملکرد بسیار پایین را به خود اختصاص دادند. در مقابل گروه سوم با دو هیبرید قرمز کائوبا (Caoba) و پلوتونیو (Plutonio) دارای بیشترین خصوصیات کمی مانند وزن میوه زیاد، قطر میوه زیاد، وزن صد دانه بالا و عملکرد بسیار بالا را دارا بودند. هیبریدهای گروه چهارم شامل ارقام زرد لوموس (Lumus)، هارموتی (Harmony)، تارانتو (Taranto) و رقم قرمز اینسپریشن (Insprision) بودند و دارای عملکرد نسبتا بالا، میزان مواد جامد محلول پایین و برای بقیه صفات نیز در حد متوسط بودند.

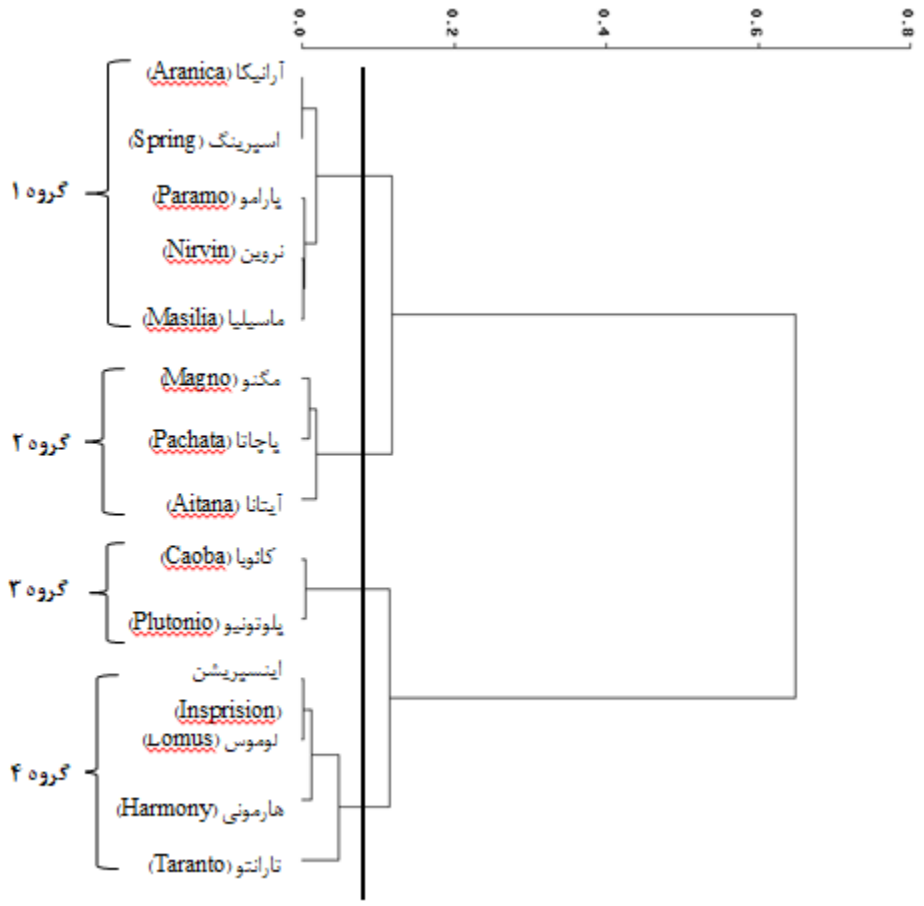
برای این که بتوان درک بهتری از نحوه گروه‌بندی ارقام داشت و تفاوت هیبریدها را به راحتی شناسایی کرد، در این مطالعه از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید (جدول ۵). آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ۴ مؤلفه اول ۸۱/۸۵ درصد تغییرات صفات را توجیه کردند (جدول ۵). با توجه به اینکه ۷۱/۴۶ درصد تغییرات صفات کمی و کیفی توسط سه مؤلفه اول بیان‌شدند (که سهم هریک از مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۳۹/۶۷، ۱۸/۲۴ و ۱۳/۵۶ است)، از این رو محورهای اول تا سوم ملاک تفسیر قرار می‌گیرند. همبستگی متغیرهای محیطی با مؤلفه‌ها نشان داد مؤلفه اول شامل ویژگی‌های مربوط به عملکرد میوه است و مؤلفه دوم شامل ویژگی‌های کیفیتی میوه یعنی مواد جامد محلول است. مؤلفه سوم نیز صفات شکل و اندازه میوه را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در همین رابطه Tripodi و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ده هیبرید تجاری فلفل با کمک تجزیه به مؤلفه های اصلی، نشان دادند که ۶۱/۱۸ درصد واریانس ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها توسط دو مؤلفه توجیه شدند. مشابه با نتایج این مطالعه، در بررسی آنها نیز مؤلفه اول مربوط به عملکرد میوه، وزن میوه و اندازه میوه و مؤلفه دوم مربوط مواد جامد محلول بود.

هدف اصلی در برنامه‌های ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان انتخاب والدینی با فواصل ژنتیکی بیشتر است. هرچقدر والدین از نظر خصوصیات ژنتیکی تفاوت بیشتری داشته باشند، افراد حاصل از تلاقی تفرق بیشتری نسبت به والدین خود خواهند داشت و انتخاب بهتر انجام خواهدشد (Sharma *et al*., 2019). در این مطالعه نیز 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 اصلاحی برای ایجاد جمعیت پایه فراهم می‌سازد. بطورکلی نتایج این مطالعه با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره نشان داد که انتخاب همزمان برای وزن میوه و قطر میوه در

جهت افزایش عملکرد میوه می‌تواند موثر باشد. مطالعات دانشمندان قبلی نشان داده‌است که صفت طول میوه یک صفت کیفی و صفت قطر میوه یک صفت کمی است که انتظار می‌رود تحت تاثیر ژن‌های تغییردهنده و اثرات محیطی قرارگیرد (McArdle & Bouwkamp, 1983; Peterson, 1959; Odland, 1948; Khambanonda, 1950). اما Rylski (1973) ادعا کرد که دما می‌تواند بر صفت طول میوه تاثیرگذارد. همچنین از تفاوت قابل توجه این صفت در نتاج والدین نیز مشخص شدکه حتی عکس‌العمل واریته‌ها به شرایط محیطی مختلف مشابه نمی‌باشد که این در واقع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را برای صفت طول میوه نشان می‌دهد. اثر متقابل یعنی واکنش متفاوت ژنوتیپ به شرایط محیطی که این تغییر در صفت از یک محیط به محیط دیگر می‌تواند مثبت یا منفی (از نظرجهت) و کوچک یا بزرگ (از نظر مقدار) باشد. بنابراین صفت طول میوه معیار غیرمستقیم مناسبی برای عملکرد میوه نمی‌تواند باشد. با توجه به اینکه لازمه انتخاب در برنامه-های اصلاحی ثبات خصوصیت مورد نظر در یک محیط و تغییر مشخص و منجسم از یک محیط به محیط دیگر است (Schlichting, 1986) و در این مطالعه هم همبستگی بسیار بالایی بین عملکرد با قطر میوه وجود داشت، بنابراین قطر میوه شاخص و معیار غیر مستقیم مناسب برای عملکرد میوه می‌باشد. همچنین نتایج چند متغیره نشان داد که صفت کیفی میزان مواد جامد محلول تحت تاثیر صفات کمی قرارنمی‌گیرد که در بررسی Tripodi و همکاران (۲۰۲۱) هم مشخص شد که مواد جامد محلول تحت تاثیر محیط و یا اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط نیز قرارنگرفت. بنابراین انتخاب براساس این صفت می‌تواند موثر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه تنوع ژنتیکی در همه صفات مورد بررسی بین ارقام فلفل دلمه‌ای و هم‌چنین بین ارقام در هر رنگ مشاهده شد، بنابراین با تلاقی بین هیبریدهای هر رنگ و انتخاب از داخل نتاج تلاقی می‌توان جمعیت پایه اصلاحی را تولید کرد. در ادامه برنامه اصلاحی برای تولید لاین‌های خالص روش‌های اصلاحی: تلاقی والدینی، انتخاب دوره‌ای، انتخاب دوره‌ای متقابل، روش انتخاب بالک تک بذر و اصلاح هتروزیس کارآمد می‌باشند.



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای به روش Ward براساس صفات کمی و کیفی در هیبریدهای فلفل دلمه‌ای ارزیابی شده در گلخانه

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

جدول ۴- میانگین و انحراف از میانگین کل صفات کمی و کیفی هیبریدهای فلفل دلمه‌ای در گروه‌های مختلف حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 4- Mean and deviation of total mean of quantitative and qualitative traits in bell pepper hybrids in different groups devised of cluster analysis

پارامتر Parameter	میانگین کل Total mean	گروه‌ها Clusters							
		گروه ۱		گروه ۲		گروه۳		گروه ۴	
		میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean
ارتفاع گیاه (cm) Plant height	118.6	118.2	-0.367	123.9	5.344	105.6	-13.02	127.9	9.358
طول میوه (mm) Fruit length	86.08	88.52	1.716	85.29	-1.505	90.67	4.593	86.18	0.096
قطر میوه (mm) Fruit diameter	79.97	81.20	1.239	81.24	1.270	80.61	0.643	82.60	2.630
شاخص شکل Shape index	1.084	1.102	0.018	1.058	-0.026	1.133	0.049	1.053	-0.031
وزن میوه (gr) Fruit weight	199.7	207.2	7.522	171.3	-28.37	214.1	14.412	212.2	12.46
طول دمگل (cm) Peduncle length	5.295	5.377	0.082	4.681	-0.614	5.640	0.345	5.823	0.528
ضخامت گوشت میوه (mm) Fruit pericarp thickness	6.905	7.155	0.250	6.398	-0.507	7.918	1.013	7.190	0.285
وزن صد دانه (gr) Hundred seed weight	1.379	1.406	0.027	1.363	-0.016	1.419	0.039	1.352	-0.027
تعداد دانه در میوه Seeds number in fruit	223.2	231.5	8.267	217.0	-6.200	291.2	67.97	224.5	1.300
مواد جامد محلول (٪) Soluble solids	6.426	0.061	6.487	6.922	0.496	6.550	0.124	5.933	-0.493
عملکرد میوه در بوته (gr) Fruit yield	1179	44.01	1223	1018	-160.4	1268	89.38	1178	-0.961

جدول ۵- مقادیر ویژه، درصد واریانس، درصد واریانس تجمعی و تغییرات همبستگی بین صفات کمی و کیفی با محورها با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

Table 5- Eigenvalues, variance percentage, cumulative variance percentage and correlation changes between quantitative and qualitative traits with axes using principal components analysis

صفات Trait	برداروِیژه			
	مؤلفه اول Prin1	مؤلفه دوم Prin2	مؤلفه سوم Prin3	مؤلفه چهارم Prin4
ارتفاع گیاه Plant height	0.128	-0.017	0.182	0.101
طول میوه Fruit length	0.257	0.042	0.518	0.249
قطر میوه Fruit diameter	0.394	0.006	-0.417	0.478
شاخص شکل Shape index	-0.070	0.025	0.625	-0.124
وزن میوه Fruit weight	0.486	0.094	-0.018	0.100
طول دمگل Peduncle length	0.159	0.061	0.069	-0.258
ضخامت گوشت میوه Fruit pericarp thickness	0.233	0.369	0.193	-0.419
وزن صد دانه Hundred seed weight	0.253	-0.085	-0.251	-0.286
تعداد دانه در میوه Seeds number in fruit	0.139	0.041	-0.262	0.380
مواد جامد محلول Soluble solids	-0.121	0.643	-0.074	0.376
عملکرد میوه در بوته Fruit yield	0.488	-0.250	0.022	-0.087
مقادیر ویژه eigenvalue	3.560	2.188	1.627	1.247
درصد واریانس proportion	39.67	18.24	13.56	10.39
درصد واریانس تجمعی cumulative	39.67	57.9	71.46	81.85

Refrences

Asghari, M., Kalantar, M., Davod Hassanpanah, D. & Dehghani Zahedani, M. (2022). Genetic varieties of the obtained hybrids from the potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber intersections in the spring using the factor and cluster analysis. *Journal of Vegetables Science*, 10(2), 163-179. doi:10.22034/iuvs.2021.522522.1142

Aslani, L., Mobli, M. & Keramat, J. (2015). Comparison of antioxidant activity and quality characteristics of the fruit of four greenhouse bell pepper cultivars. *Journal*

of Crop Production and Processing, 5(17), 149-157. (In Farsi) doi:10.1080/14620316.2016.1175234.

Baenas, N., Belovic, M., Ilic, N., Moreno, D. A. & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annuum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885.doi:10.1016/j.foodchem.2018.09.047

Bosland, P. W., Votava, E. J. & Votava, E. M. (2012). Peppers: vegetable and spice capsicums. 22, *Cabi.* 230pp. doi:10.1079/9781845938253.0000

Carvalho, S. I. C., Bianchetti, L. B., Ragassi, C. F., Ribeiro, C. S. C., Reifschneider, F. J. B….& Buso G. S. C. (2017). Genetic variability of a Brazilian Capsicum frutescence germplasm collection using morphological characteristics and SSR markers. *Genetic Molecular Research,* 16(3), gmr16039689. doi:10.4238/gmr16039689

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

Fateh, M. & Barzegar, T. (2019). The effect of spraying of naphthalene acetic acid on growth, (yield and fruit quality of bell pepper variety California Wonder. *Journal of Vegetables Science*, 35), 1-10. doi:10.22034/iuvs.2019.36292

Feher, W. R. (1987). Principles of Cultivar Development. Macmillan Publidhing Company, Newyork, 42pp.

Ferreira, K. T. C., Rêgo, E. R., Rêgo, M. M., Fortunato, F. L. G., Nascimento, N. F. F. & De Lima, J. A. M. (2015). Combining ability for morpho-agronomic traits in ornamental pepper. *Acta Horticulturae,* 1087, 187–194. doi:10.17660/actahortic.205.1087.22

Fite, G. L. (2003). Studies on genetic variability, inheritance and heterosis in pepper (*Capsicum annuum* L.) Doctoral dissertation, *University of the Free State*.

Fortunato, F. L. G., Rêgo, E. R., Rêgo, M. M., Pereira dos Santos, C. A. & Gonçalves de Carvalho, M. (2015). Heritability and genetic parameters for size-related traits in ornamental pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae, (ISHS),* 1087, 201–206. doi:10.17660/actahortic.2015.1087.24

Ghasemnezhad, M., Sherafati, M. & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods* 3, 44-49. doi:10.1016/j.jff.2011.02.02

Jarret, R. L., Barboza, G. E., Costa Batista, F. R. D., Berke, T., Chou, Y.-Y., Hulse-Kemp, A., Ochoa-Alejo, N., Tripodi, P., Veres, A. & Garcia, C. C. (2019). Capsicum—An abbreviated compendium. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 144, 3–22. doi:10.21273/jashs04446-18

Khambanonda, I. (1950). Quantitative inheritance of fruit size in red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, 89, 443-448.

Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R. E., Marcelis, L. F., Visser, R. G. & Bovy, A. (2018). Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: a review. *Frontiers in Chemistry*, 6, 52. 10.3389/fchem.2018.00052. doi:10.3389/fchem.2018.00052

McArdle, R. N. & Bouwkamp, J. C. (1983). Inheritance of several fruit tharacters in *Capsicum annuum* L. *Journal of Heredity*, 74(2), 125-127. doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a109738

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. doi:10.1371/journal.pone.0237741

Odland, M. L. (1948). Inheritance studies in the pepper. Capsicum frulesctns. *University of Minnesota. Agricultural Experiment Station, Bulletin*, 179.

Patil, S. S. A. & Salimath, P. M. (2008). Estimation of gene effects for fruit yield and its components in chili (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agriculture Sci*ence, 21(2), 181–183.

Sampaio, A. P. L., Aguilera, J. G., Mendes, A. M. D. S., Argentel-Martínez, L., Zuffo, A. M. & Teodoro, P. E. (2023). The role of the genetic diversity of Capsicum spp. in the conservation of the species: Qualitative and quantitative characterization. *Ciência e Agrotecnologia,* 47. doi: 10.1590/1413-7054202347009122

Pereira-Dias L., Fita A., Vilanova S., Sanchez-Lopez E. & Rodriguez-Burruezo A. (2020). Phenomics of elite heirlooms of peppers (*Capsicum annum* L.) from the Spanish center of diversity: Conventional and high-throughput digital tools towards varietal typification. *Science of Horticulture*, (Amsterdam). 265, 109245. doi:10.1016/j.scienta.2020.109245

Peterson, P. A. (1959). Linkage of fruit shape and color genes in Capsicum. *Genetics*, 44, 407-419.

Rêgo, E. R., Rêgo, M. M. & Finger, F. L. (2015). Methodological basis and advances for ornamental pepper breeding program in Brazil. *Acta Horticulturae,* 1087, 309–314. doi:10.17660/actahortic.2015.1087.39

Rylski, I. (1973). Effect of night temperature on shape and size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98(2), 149-152.

Schlichting, C. D. (1986). The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual review of ecology and systematics*, 667-693.

Sharma, A., Kumar, M., Dogra, R. K., Kumar, N., Kumari, R. & Kansal, S. (2019). Estimation of genetic variability in bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum*). *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 10-13.

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- 817. doi:10.3390/agronomy11040805.

Tsonev, S., Todorova, V., Grozeva, S., Popova, T. & Todorovska, E. G. (2017). Evaluation of diversity in Bulgarian pepper cultivars by agronomical traits and ISSR markers. *Genetika,* 49(2), 647–662. doi:10.2298/gensr1702647t

Yun, N., Lu, C., Sun, T., Xu, B., Song, Y., Zong, Z.& Gu, Q. (2023). High sensitivity detection of capsaicin in red pepper oil based on reduced graphene oxide enhanced by β-cyclodextrin. *Food Analytical Methods*, 16(2), 318-329. doi: 10.1007/s12161-022-02415-y.

Zewdie Y, & Bosland P. (2000) Capsaicinoid inheritance in an interspecific hybridization of *Capsicum annuum x C chinense*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(4), 448–45. doi:10.21273/jashs.125.4.448.