Heritability and genetic diversity of agronomic traits, yield and fruit quality of 650 F6 generation lines in tomato

Abstract

This study aimed to evaluate the yield and its components as well as fruit quality traits of 650 tomato inbred lines resulting from self-fertilization of commercial cultivars. The lines were evaluated along with four commercial hybrid control cultivars in 2022 as augmented in a randomized complete block design. The coefficients of phenotypic variation and the maximum and minimum values of the studied traits showed that there was a high variation for the traits of Sunscald (%), joint calyx (%), shelf life, TA, the number of fruits per plant, single-plant yield and the number of locules among the lines, so it is possible to select the best lines with high efficiency among them for breeding purposes. Among the lines, "242", "495", "17" and "85" were superior to other lines and control cultivars with a yield of over 6 kg per plant. Sunscald (%), joint calyx (%) and the number of locules were least influenced by the environment and had the highest genetic variance. Also, principal component analysis based on morphological traits showed that the first six main components explained 69.32% of the total phenotypic variation. Stepwise regression analysis showed that number of fruit per plant and single fruit weight explained 96% of the single-plant yield variation. Overall, among the morphological characteristics, the traits of the number of fruits per plant, single fruit weight, number of inflorescences per plant, and number of fruits per inflorescence are more important indicators for selecting high-yielding tomato lines.

***Keywords**: Descriptive statistics, Cluster analysis, Principal component analysis, Heritability*

وراثت پذیری و تنوع ژنتیکی صفات زراعی، عملکرد و کیفیت میوه در ۶۵۰ لاین نسل F6 گوجه فرنگی

چکیده

این مطالعه به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای آن و همچنین صفات کیفی میوه روی ۶۵۰ لاین نسل ششم حاصل از خودگشنی ارقام تجاری به همراه چهار رقم شاهد (هیبرید تجاری) طی سال زراعی ۱۴۰۱ به صورت آگمنت بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. ضرایب تغییرات فنوتیپی و مقادیر بیشینه و کمینه صفات نشان داد که تنوع بالایی برای صفات آفتاب‌سوختگی، کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، ماندگاری، TA، تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته و تعداد حفره در بین لاین‌های این مطالعه وجود داشته، بنابراین امکان گزینش با کارایی بالا در بین این مواد ژنتیکی برای به نژادگران فراهم می‌باشد. در بین لاین‌های مورد مطالعه، لاین‌های شماره ۲۴۲، ۴۹۵، ۱۷ و ۸۵ با عملکرد بالای ۶ کیلوگرم در بوته نسبت به لاین‌های دیگر و ارقام شاهد برتری داشتند. صفات آفتاب سوختگی، درصد کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه و تعداد حفره کمترین اثر پذیری را از محیط داشتند و بیشترین واریانس ژنتیکی را دارا بودند. همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس صفات مورفولوژیک نشان داد که شش مولفه اصلی اول، در مجموع ۶۹/۳۲ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کردند. تجزیه و تحلیل رگرسیون گام به گام نشان داد که تعداد میوه در بوته و وزن تک میوه، ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد تک بوته را توجیه می‌کنند. در مجموع در بین صفات مورفولوژیکی، صفات تعداد میوه در بوته، وزن تک میوه، تعداد گل‌آذین در هر بوته و تعداد میوه در هر گل‌آذین شاخص‌های مهم‌تری برای گزینش لاین‌های گوجه‌فرنگی با عملکرد بالا هستند.

***واژه‌های کلیدی:** آماره‌های توصیفی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مولفه‌های اصلی، وراثت‌پذیری*

مقدمه

همه گوجه‌فرنگی‌های اهلی متعلق به گونه *Solanum lycopersicum*، یکی از ۳۰۰۰ گونه از خانواده *Solanaceae* است (Knapp, 2002). طبق گزارش فائو ایران از نظر تولید گوجه فرنگی رتبه ۱۱ دنیا را با تولید حدود ۳/۴ میلیون تن به خود اختصاص داده است. همچنین طبق آمارنامه کشاورزی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ سطح زیر کشت این محصول ۱۰۳ هزار هکتار و میزان تولید حدود ۵ میلیون تن با میانگین عملکرد ۴۸ تن در هکتار گزارش شده است. گوجه فرنگی به دلیل مطبوعیت طعم، ارزش نسبتاً بالای غذایی و سهولت کشت در طول صد سال گذشته به یکی از مهم‌ترین سبزی‌های خوراکی انسان تبدیل شده است و در حال حاضر دومین سبزی رایج مورد کشت در دنیاست. روش‌های اصلاحی مرسوم نقش مهمی در توسعه و اهلی‌سازی ارقام مهم گوجه‌فرنگی با ویژگی‌های زراعی برجسته داشته است (Cappetta *et al.*, 2020). شرکت‌های بذر برای به دست آوردن بخشی از بازار بذر، که حدود ۵۳ میلیارد دلار در سراسر جهان است، رقابت زیادی با یکدیگر دارند (تحقیق و بازار، ۲۰۲۲). شرکت‌های بزرگ بذر گوجه‌فرنگی در آمریکای شمالی قرار دارند، در حالی که برخی از شرکت‌های دیگر در آسیا و اقیانوسیه هستند که انتظار می‌رود سریع‌ترین بازار در حال رشد را داشته باشند. صفات مطلوب کشاورز یا مصرف کننده عوامل تعیین کننده اصلی در هنگام توسعه واریته‌های جدید هستند که شامل عملکرد بالاتر، میوه‌های با کیفیت بالا و تحمل تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. چین و هند از نظر بازار مصرف و تولید گوجه فرنگی نه تنها در آسیا بلکه در جهان پیشرو هستند که به ترتیب ۶۴/۸۷ میلیون تن و ۲۰/۵۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ تولید کردند (FAO 2020). بنابراین، کشورهای آسیایی نیاز به واردات حجم زیادی بذر گوجه فرنگی از شرکت‌های آمریکایی دارند. نیازها و منابع نابرابر بذر گوجه فرنگی در آسیا نیازمند ارائه دهندگان بذر با رشد سریع با بهترین صفات با کیفیت است.

تحقیقات در مورد بهبود گوجه‌فرنگی از نظر بهره‌وری و کیفیت برای دستیابی به عملکرد بالاتر و برآورده ساختن نیازهای صنعتی یا مصرف کننده تقاضای زیادی دارد. با توجه به تقاضای جمعیت زیادی در کشورهای آسیایی، بهره‌وری بالا هدف اصلی اکثر برنامه‌های اصلاح گوجه‌فرنگی است. عملکرد اساساً توسط کارایی تشکیل میوه و اندازه میوه در گوجه‌فرنگی تعیین می‌شود که این صفات را در مزرعه می‌توان با اندازه‌گیری وزن میوه، تعداد گل‌آذین، درصد میوه تشکیل شده در گل‌آذین و تعداد کل میوه اندازه‌گیری کرد (de Souza *et al.*, 2012). در نهایت، کیفیت میوه بالا برای مصرف کننده نهایی بسیار مهم است و در نتیجه قیمت گوجه‌فرنگی را در بازار تعیین می‌کند. بسته به اهدافی مانند تازه‌خوری، پخت و پز یا فرآوری صنعتی (عمدتاً برای تولید آب میوه و رب)، الزامات کیفیت میوه متفاوت است.

خصوصیات مورفولوژیک اولین گام برای ارزیابی تنوع ژنتیکی و همچنین برای حفظ و نگهداری منابع ژنتیکی است (Terzopoulos and Bebeli 2010; Osei et al., 2014). صفات مورفولوژیک و همچنین صفات وابسته به عملکرد، با دقت بالا و به‌سادگی قابل اندازه‌گیری هستند و از آنجایی که توارث‌پذیری بالایی دارند، گزینش براساس این صفات، ممکن است راه مطمئن و سریعی برای غربال کردن جوامع گیاهی و بهبود عملکرد باشد (Yap and Harvey, 2013). بنابراین گزینش براساس معیارهای دیگری غیر از عملکرد میوه که دارای ثبات بیشتری هستند می‌تواند در انتخاب ارقام مطلوب در نظر گرفته شود. روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل اجزای عملکرد وجود دارد که محقق بسته به هدف مطالعه، یکی را از بین آن‌ها انتخاب می‌کند. در این زمینه آماره‌های چند متغیره از جمله همبستگی بین صفات، رگرسیون چندگانه به روش گام به گام، تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) و تجزیه خوشه‌ای، نقش مهمی در بررسی تنوع ژنتیکی و انتخاب والدین مناسب دارند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی خوشه‌های مختلف براساس الگوهای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های ارزیابی شده استفاده می‌شود (نانکار و همکاران،۲۰۲۰). تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، طبقه‌بندی موثری از مواد ژنتیکی را نشان داده است که البته به طور قابل توجهی در حفظ تنوع زیستی آنها و در نتیجه استفاده در برنامه بهبود محصولات زراعی مفید است (شوکلا و همکاران، ۲۰۱۰). هدف

تجزیه به مولفه‌های اصلی کاهش تعداد متغیرهای اولیه و ایجاد متغیرهای جدیدی است که مؤلفه اصلی (PCA) نامیده می‌شود. با استفاده از این روش محققان می‌توانند آن دسته از صفات را شناسایی کنند که بیش‌ترین تنوع را درون‌گروهی از ژنوتیپ‌ها داشته و از اهمیت بالایی در انتخاب لاین‌های والدینی برای اهداف اصلاحی برخوردارند (Kumar *et al*. 2017; Ahmadizadeh and Felenji, 2011).

کوماری و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی روی ۱۱ رقم گوجه‌فرنگی نشان دادند که عملکرد میوه با میانگین وزن میوه، تعداد میوه در هر بوته و ضخامت پریکارپ همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. کومار و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ۲۶ رقم گوجه‌فرنگی نشان دادند که عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد میوه در هر خوشه و تعداد میوه در هر بوته دارد. تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز توسط محققان مختلف در توصیف خصوصیات ژنتیکی لاین‌های گوجه‌فرنگی برای عملکرد و صفات کیفی به کار گرفته شده است. در این زمینه مطالعاتی توسط آگونگ و همکاران (Agong *et al.*, 2001)، آل‌آیش و همکاران (Al-Aysh *et al.*, 2012)، اوسی و همکاران (Osei et al., 2014) و تمبه و همکاران (Tembe *et al.*, 2018) انجام شده است. غالب مطالعات مذکور بر روی صفات مهمی نظیر تعداد خوشه‌ها، تعداد روز تا رسیدن میوه، وزن میوه، عملکرد میوه، طول و عرض میوه بوده و بهره‌برداری از چنین صفاتی، یافته‌های تحقیقی و دانش اصلاحگر را در زمینه تنوع ژنتیکی افزایش می‌دهد.

اگر چه ایران از نظر میزان تولید این محصول رتبه ۱۱ را به خود اختصاص داده است ولی متاسفانه بذر هیبرید این محصول تقریباً به طور کامل از خارج وارد کشور می‌شود. در یک برنامه اصلاحی که از سال ۱۳۹۸ شروع شده است بیش از ۶۵۰ لاین خالص گوجه فرنگی تولید شده است. قبل از تولید بذر هیبرید لازم است لاین‌های خالص از نظر صفات مطلوب مورد ارزیابی قرار گیرند. لذا در این تحقیق صفات کمی و صفات مرتبط با کیفیت ۶۵۰ لاین نسل F6 گوجه فرنگی مورد مطالعه قرار گرفتند تا روابط بین این صفات با استفاده از تجزیه واریانس، همبستگی، تجزیه رگرسیون چندگانه به روش گام به گام، تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه ای مورد بررسی قرار گیرد و مقدمات گزینش لاین‌های برتر و بهره‌مندی از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی و دورگ‌گیری گوجه‌فرنگی در آینده فراهم شود.

روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی

مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل ۶۵۰ لاین از نسل ششم (F_6) حاصل از خودگشنی ارقام هیبرید تجاری به نام‌های 8320، Matin، Bedero، Brivio، Judivis، 4358، Nasadette و Yaradette بودند که در این تحقیق ۴ رقم Bedero، Brivio، 8320 (شرکت سمینیس) و Matin (شرکت هایزر) به عنوان ارقام شاهد انتخاب شدند. هیبریدهای انتخاب شده به عنوان والدین دارای ویژگی‌های یکنواختی مناسب در فرم و شکل میوه، سفتی مناسب میوه، وزن میوه مناسب (۱۲۰–۱۶۰ گرم)، میزان برداشت با کاسبرگ (۵۵ درصد به بالا)، پوشش برگی و حجم بوته عالی، دوره رسیدگی (میان‌رس یا زودرس)، مقاوم به فوزاریوم، ورتیسیلیوم، نماتد، آلترناریا و بیماری های قارچی، رنگ بسیار یکنواخت و قرمز تند و پررنگ، دارای بوته های خیلی قوی و محکم، باردهی به مراتب طولانی بودند. ارقام شاهد از ارقام تجاری مرسوم در کشور هستند که همگی خارجی می‌باشند.

محل انجام آزمایش

این آزمایش به‌منظور مقایسه لاین‌های مختلف از نظر صفات عملکرد، کیفیت میوه، صفات مورفولوژیک و بررسی میزان وراثت‌پذیری صفات مختلف در لاین‌های F6 گوجه‌فرنگی در دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشگاه تهران واقع در کرج در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. معیار انتخاب برای گزینش بهترین لاین‌ها عملکرد و کیفیت میوه بود. بررسی مورفولوژیک در بین لاین‌های مورد استفاده با هدف بررسی تنوع برای صفات مختلف زراعی از جمله صفات عملکرد و سفتی میوه انجام شد. به همین منظور بذور لاین‌های مورد مطالعه در سینی نشا در گلخانه پژوهشی دانشکدگان ابوریحان کشت شدند و تا رسیدن به مرحله دو الی سه برگی در شرایط کنترل شده قرار گرفتند. سپس بعد از این مرحله نشاها به زمین اصلی در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران منتقل شدند.

طرح آزمایشی

لاین‌های مورد ارزیابی در قالب آگمنت بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۱/۵ متر و فاصله روی ردیف ۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. در مجموع ۹ بلوک ناقص تشکیل شد و در هر بلوک ۷۲ ژنوتیپ به تعداد ۸ بوته برای هر ژنوتیپ به صورت تصادفی کشت شدند. برای برقراری شرط طرح آگمنت و امکان انجام تجزیه واریانس بر اساس شاهدها و بیرون کشیدن خطای بلوک‌ها در هر بلوک چهار شاهد 8320، Matin، Bedero و Brivio به صورت تصادفی کشت شدند. آبیاری به صورت عرف منطقه و با فواصل مناسب به صورت قطره ای انجام شد. براساس صفات مقاومت گیاه در برابر ویروس پیچیدگی برگ زرد گوجه فرنگی (TYLCV) و ویروس روگوز، قارچ آلترناریا (Alternaria Solani) و آفات شته و سفید بالک که براساس آلودگی طبیعی (نه آلودگی مصنوعی) که در مزرعه وجود داشت و همچنین بر اساس صفات گستردگی و یکنواختی بوته، پایداری بوته (یا میزان سبز ماندن بوته پس از برداشت میوه)، شکل میوه، طعم میوه، عملکرد و سفتی میوه از بین ۶۵۰ لاین گوجه فرنگی، ۱۶۴ لاین انتخاب شدند تا عملکرد و صفات مرتبط با میوه آنها اندازه گیری شود. بنابراین در ادامه در طول فصل زراعی صفاتی شامل تعداد گل‌آذین در هر بوته (میانگین تعداد گل‌آذین سه بوته از تعدا کل بوته های باقیمانده اندازه‌گیری شد)، تعداد گل در هر گل‌آذین (میانگین تعداد گل در هر گل‌آذین در سه بوته از تعدا کل بوته های باقیمانده اندازه‌گیری شد)، تعداد میوه در هر گل‌آذین (میانگین تعداد میوه سه بوته از تعدا کل بوته های باقیمانده اندازه‌گیری شد)، آفتاب سوختگی (به صورت درصد در ۱۰۰ میوه تصادفی برداشت شده اندازه گیری شد)، درصد کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه (به صورت تصادفی در ۱۰۰ میوه برداشت شده اندازه گیری شد)، عملکرد تک بوته (کیلوگرم)، روز تا برداشت، تعداد میوه در هر بوته (تعداد کل میوه‌ها در بوته‌های باقیمانده) و همچنین صفات مرتبط با کیفیت میوه از قبیل وزن تک میوه (گرم)، طول و عرض میوه (میلی‌متر با دستگاه کولیس)، قطر گوشت (میلی‌متر با دستگاه کولیس)، تعداد حفره‌ها (میانگین تعداد حفره سه میوه)،pH (pH متر)، اسیدیته قابل تیتراسیون (۱۰ml از عصاره گوجه فرنگی با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۱۰۰ml رسید و با NaOH 0.1 N با استفاده از تیتراسیون تا نقطه پایانی pH 8.20 تیتر شد) ماندگاری میوه (ماندگاری ۵ میوه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) و بریکس (قند میوه بر حسب درجه بریکس با دستگاه رفراکتومتر) طبق دستورالعمل اتحادیه بین‌المللی حمایت از ارقام گیاهی (UPOV) در طول فصل و زمان برداشت میوه‌ها اندازه گیری شد (Karsten ex Farw, 2001).

آنالیز آماری

تجزیه واریانس برای ارقام شاهد از نظر متغیرهای مورد بررسی و سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای کلیه صفات مربوط به شاهدهای ۹ بلوک انجام پذیرفت. صفات مورد بررسی در این پژوهش شامل صفات کمی و صفات شمارشی (تعداد میوه در هر گل‌آذین، تعداد گل در گل‌آذین و تعداد حفره) بود که با توجه به طبیعت داده‌ها و تفاوت در توزیع فراوانی داده‌های این دو صفت، آنالیز تجزیه واریانس آنها به صورت جداگانه انجام شد که برای صفات شمارشی از توزیع پواسون (جدول ۲) و برای صفات کمی (جدول ۱) از توزیع نرمال استفاده شد تا برآورد معنی‌داری و عدم معنی داری به صورت دقیق انجام شود. قبل از انجام تجزیه واریانس داده‌ها، فرض‌های آزمون مورد بررسی قرار گرفت. فرض نرمال

بودن داده‌ها با استفاده از دو آزمون Shapiro-Wilk test و Kolmogorov-Smirnov test انجام شد که برای هر دو صفات کمی و شمارشی نشان‌دهنده توزیع مناسب فراوانی داده‌ها بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها براساس آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانه، میانگین، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات و وراثت پذیری مربوط به تمام صفات محاسبه گردید. ضریب تغییرات که نشان‌دهنده دقت در اندازه‌گیری، یکنواختی ماده آزمایشی و تاثیر کم عوامل محیطی می‌باشد برای کلیه صفات بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Agahi, 2012).

رابطه ۱) $$CV\% = \frac{\sqrt{MSe}}{\bar{y}} \times 100$$

CV = ضریب تغییرات MSe = واریانس خطا $\bar{Y}$ = میانگین کل

برای محاسبه واریانس فنوتیپی، ژنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی در طرح آگمنت، مراحل زیر به ترتیب انجام شدند. در مرحله اول، تجزیه واریانس ارقام شاهد با استفاده از نرم افزار R انجام گرفت. نتایج تفاوت معنی‌داری بین بلوک‌ها برای صفات مختلف نشان نداد. بنابراین، نیازی به تصحیح مقادیر اندازه‌گیری شده در لاین‌های مورد بررسی نبود و داده‌ها بدون هیچ گونه تغییری برای مقایسه مورد ارزیابی قرار گرفتند. در مرحله دوم، از طریق تجزیه واریانس ارقام شاهد، واریانس خطا (MSe) محاسبه شد. مرحله سوم شامل محاسبه واریانس فنوتیپی در بین لاین‌های مورد بررسی بود. در مرحله چهارم، از تفاوت واریانس فنوتیپی با واریانس محیطی (یا واریانس خطا)، واریانس ژنوتیپی محاسبه شد. در نهایت، در مرحله پنجم، با تقسیم واریانس ژنوتیپی در واریانس فنوتیپی، وراثت‌پذیری عمومی محاسبه گردید (Hamidi, 2023). درواقع با توجه به اجرای آزمایش در قالب طرح آگمنت با چهار شاهد در نه بلوک ناقص و نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه، مقدار هر صفت در لاین‌های مورد مطالعه نیازی به تصحیح نداشتند. چون اثر بلوک برای صفات مختلف معنی دار نشد. بنابراین از میانگین های صفات بدون تصحیح مقادیر اندازه گیری شده در لاین های مورد بررسی برای انجام سایر تجزیه و تحلیل های آماری استفاده گردید (Hamidi, 2023).

رابطه ۲) $$V_G = V_P - V_E$$

رابطه ۳) $$V_E = MSe$$

رابطه ۴) $$h^2 = \frac{VG}{VP} \times 100$$

که در این فرمول‌ها، h^2 وراثت‌پذیری عمومی، V_E واریانس محیطی (واریانس خطا)، V_P واریانس فنوتیپی و V_G واریانس ژنوتیپی می‌باشد. ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی از طریق روابط زیر محاسبه شدند (Sharifi, 2013):

رابطه ۵) $$CVg = \frac{\sqrt{VG}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۶) $$CVp = \frac{\sqrt{VP}}{\bar{X}} \times 100$$

CVg = ضریب تنوع ژنوتیپی CVp = ضریب تنوع فنوتیپی

V_G= واریانس ژنوتیپی VP = واریانس فنوتیپی

پس از محاسبه ضرایب همبستگی میان صفات تحت مطالعه، با استفاده از رگرسیون گام به گام مهم ترین صفات موثر بر عملکرد و توجیه بهتر روابط تعیین شد. برای کاهش ابعاد داده‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و از رتبه‌بندی نمونه‌ها بر اساس مؤلفه‌ها و ترسیم نمودار بای پلات و گروه بندی ژنوتیپ های آزمایشی براساس روش WARD از نرم افزار R استفاده شد.

ویراستاری نشده

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس ارقام شاهد با استفاده از نرم‌افزار R (جدول ۱) تفاوت معنی‌داری بین بلوک‌های طرح آگمنت نشان نداد که به معنی عدم لزوم تصحیح مقادیر اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود. بنابراین داده‌ها بدون هیچ گونه تغییر مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۱). همانطور که از نتایج جدول ۱ ملاحظه می‌شود اثر ژنوتیپ در تجزیه واریانس برای کلیه صفات به جز ماندگاری، روز تا برداشت، TA، Brix و pH معنی‌دار بود. این موضوع نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام شاهد مورد ارزیابی از نظر اکثر صفات مورد مطالعه می‌باشد.

اجزای واریانس

ضرایب تغییرات فنوتیپی و مقادیر بیشینه و کمینه صفات مورد بررسی نشان داد که تنوع بالایی برای این صفات در بین لاین‌های این مطالعه وجود داشته است، بنابراین امکان گزینش با کارایی بالا در بین این مواد ژنتیکی فراهم می‌باشد. با توجه به تنوع قابل ملاحظه از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی در بین لاین‌های گوجه‌فرنگی، دامنه تغییرات عملکرد تک بوته نیز در بین ۱۶۴ لاین بسیار زیاد و از ۱/۲۱ تا ۶/۴۳ کیلوگرم در بوته بود. لازم به ذکر است که براساس صفات مقاومت گیاه در برابر ویروس‌ها، قارچ‌ها و آفات، گستردگی و یکنواختی بوته، پایداری بوته، شکل میوه، سفتی میوه، طعم میوه از بین ۶۵۰ لاین گوجه‌فرنگی، ۱۶۴ لاین انتخاب شدند تا عملکرد و صفات مرتبط با میوه آنها اندازه‌گیری شود. لاین‌های شماره ۲۴۲، ۴۹۵، ۱۷ و ۸۵ با عملکرد بالای ۶ کیلوگرم در بوته نسبت به لاین‌های دیگر و همچنین نسبت به ارقام شاهد تجاری برتر بودند. در مقابل لاین شماره ۹۳ با ۱/۲۱ کیلوگرم در بوته در رتبه آخر قرار داشت. لاین‌های برتر از نظر عملکرد تک بوته، از تعداد گل‌آذین در هر بوته، تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه نسبتاً زیادی برخوردار بودند. برآورد اجزای واریانس نشان داد که در بین صفات مورد مطالعه، عملکرد تک بوته و روز تا برداشت بیشتر از محیط تأثیرپذیری داشتند و مقادیر پائین واریانس ژنتیکی برای آن‌ها مؤید این مطلب می‌باشد. در مطالعات انجام شده مقادیر متوسط تا پائینی برای وراثت‌پذیری عملکرد تک بوته نسبت به سایر صفات گزارش شده است که ناشی از ماهیت و تأثیرپذیری زیاد عملکرد تک بوته از محیط است (Mukul *et al.*, 2022). در مقابل صفات آفتاب سوختگی، کاسبرگ باقیمانده در میوه و تعداد حفره کمترین اثرپذیری را از محیط داشتند و بیشترین واریانس ژنتیکی را دارا بودند (جدول۳). بالاترین ضرایب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی به ترتیب به صفات آفتاب‌سوختگی، کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، ماندگاری، TA، تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته و تعداد حفره اختصاص داشت. بالا بودن ضرایب مذکور در این صفات، نشان‌دهنده نقش تعیین کننده ژن‌ها در بروز تنوع فنوتیپی است. پائین‌ترین ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی هم به ترتیب به pH و روز تا برداشت اختصاص داشت (جدول ۴). صفات یاد شده از پتانسیل ژنتیکی محدودی جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برخوردار بودند. همانگونه که در جدول تجزیه واریانس ارقام شاهد دیده می شود از نظر این دو صفت بین چهار رقم شاهد نیز تفاوت معنی داری وجود ندارد. به نظر می رسد روند اصلاح نباتات در گوجه فرنگی به نحوی بوده است که ارقام زودرس و با میوه شیرین تر گزینش شده باشد. بنابراین از نظر این دو صفت تنوع زیادی در جمعیت وجود ندارد. این نتیجه گیری در مطالعه دفتریان و همکاران (۱۳۹۶) و Mustafa و همکاران (۲۰۱۶) نیز دیده شد، به طوری که برای صفات pH (۲/۳۲٪) و روز تا برداشت (۲/۳۷٪) کمترین مقدار ضریب تنوع ژنوتیپی گزارش شده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس ارقام شاهد (ANOVA) در طرح آگمنت برای صفات کمی اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات/صفات	درجه آزادی	ماندگاری	تعداد خوشه گل در هر بوته	طول میوه (mm)	عرض میوه (mm)	قطر گوشت (mm)	کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (٪)	آفتاب‌سوختگی میوه (٪)
بلوک	۸	۴/۸۶۴	۶/۵۳۷	۰/۰۸۴	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰۴۸	۳۴/۸۷۷	۰/۱۹۰
شاهد	۳	۳۰/۹۰۲ ns	۳۷۷/۳۰۳**	۶/۴۲۳**	۲/۴۱۱**	۰/۰۷۰**	۸۶۴۳/۸۸۲**	۵۸/۴۴۸**
خطا	۲۴	۱۳/۹۱۱	۹/۸۴۹	۰/۱۲۱	۰/۰۹۴	۰/۰۰۳۱	۲۳/۸۲۹	۰/۲۴
ضریب تغییرات (%)	–	۱۷/۲۹۰	۱۳/۳۴۶	۵/۶۸۵	۵/۳۹۹	۸/۵۹۱	۷/۹۳۵	۱۰/۶۶۶

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس ارقام شاهد (ANOVA) در طرح آگمنت برای صفات کمی اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات/صفات	درجه آزادی	pH	TA	Brix (درجه بریکس)	تعداد میوه در هر بوته	عملکرد تک بوته (kg/p)	وزن تک میوه (gr)	روز تا برداشت
بلوک	۸	۰/۰۲۵	۴/۸۲۷	۰/۲۷۴	۱۱۱/۷۴۲	۱/۷۵۱	۰/۰۰۰۰۹۷	۷/۸۰۲
شاهد	۳	۰/۰۴۳ ns	۰/۸۶۵ ns	۰/۱۲۳ ns	۱۲۵۴/۲۳۶**	۵/۲۹۷**	۰/۰۰۲**	۲/۴۳۹ ns
خطا	۲۴	۰/۰۲۷	۲/۴۸۱	۰/۲۷۶	۹۴/۰۸	۱/۲۲۹	۰/۰۰۰۰۹۳	۵/۶۶
ضریب تغییرات (%)	–	۳/۴۷۸	۱۶/۲۱۵	۱۱/۲۲۴	۲۳/۰۴۱	۲۶/۵۱۴	۱۱/۲۹۷	۵/۶۹۶

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس ارقام شاهد (Poisson) در طرح آگمنت برای صفات شمارشی اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی

صفات	منابع تغییرات	LR Chisq	df	Pr(>Chisq)
تعداد گل در هر خوشه	تیمار	۱/۷۱۰	۳	۰/۶۳۴
	بلوک	۰/۳۷	۸	۱/۰۰۰
تعداد میوه در هر خوشه	تیمار	۱/۴۵۷	۳	۰/۶۹۲
	بلوک	۰/۴۲۵	۸	۰/۹۹۹
تعداد حفره	تیمار	۴/۸۳۸	۳	۰/۱۸۴
	بلوک	۰/۴۶۱	۸	۰/۹۹۹

جدول ۳. آماره‌های توصیفی صفات زراعی و کیفیت میوه لاین‌های گوجه‌فرنگی طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

متغیرها Variables	میانگین Mean	کمینه Min.	بیشینه Max.	دامنه Rang	واریانس Variance	انحراف استاندارد S. D.	ضریب تغییرات C.V.
تعداد خوشه گل در هر بوته	۲۰/۵۷۸	۱۰	۴۰	۳۰	۳۷/۷۰۲	۶/۱۴۰	۲۹/۸۳۸
تعداد گل در هر گل‌آذین	۴/۷۶۴	۲	۸	۵	۰/۹۸۳	۰/۹۹۱	۲۰/۸۱۱
تعداد میوه در هر گل‌آذین	۳/۸۱۵	۲	۶	۴	۰/۶۲۹	۰/۷۹۳	۲۰/۷۸۹
آفتاب‌سوختگی	۲/۹۹۰	۰	۳۰	۳۰	۲۸/۷۹۹	۵/۳۶۶	۱۷۹/۴۵۲
کاسبرگ باقیمانده در هر میوه	۴۰/۷۹۳	۰	۹۰	۹۰	۹۹۸/۹۳۱	۳۱/۶۰۵	۷۷/۴۷۷
طول میوه (mm)	۶/۱۱۹	۳/۵	۸/۴	۴/۹	۰/۸۳۹	۰/۹۱۶	۱۴/۹۷۲
عرض میوه (mm)	۵/۹۳۹	۴/۳	۷/۷	۳/۴	۰/۶۳۰	۰/۷۹۳	۱۳/۳۶۴
قطر گوشت (mm)	۰/۶۸۳	۰/۲۵	۱	۰/۷۵	۰/۰۱۹	۰/۱۴۰	۲۰/۴۷۶
تعداد حفره	۳/۸۱۹	۲	۸	۶	۱/۶۴۶	۱/۲۸۳	۳۳/۵۹۳
pH	۴/۶۴۹	۴/۰۹	۵/۴۳	۱/۳۴	۰/۰۵۷	۰/۲۳۹	۵/۱۵۰
TA	۱۱/۰۲۴	۳/۱	۲۳/۹	۲۰/۸	۱۶/۰۱۴	۴/۰۰۱	۳۶/۳۰۱
Brix (درجه بریکس)	۴/۶۱۲	۲/۷	۷	۴/۳	۰/۵۰۰	۰/۷۰۷	۱۵/۳۳۶
ماندگاری	۱۶/۵۳۷	۳	۴۴	۴۱	۵۱/۳۰۰	۷/۱۶۲	۴۳/۳۱۱

ویراستاری نشده

۳۸/۲۰۲	۱۲/۹۱۷	۱۶۶/۸۷۱	۷۳/۷۳۵	۸۱/۳۰۶	۷/۵۷۱	۳۳/۸۱۴	تعداد میوه در هر بوته
۳۴/۶۳۹	۱/۲۶۱	۱/۵۹۱	۵/۲۱۸	۶/۴۳۱	۱/۲۱۲	۳/۶۴۲	عملکرد تک بوته (kg/p)
۲۵/۹۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰۸	۰/۱۴۲	۰/۱۸۸	۰/۰۴۶	۰/۱۱۲	وزن تک میوه (gr)
۶/۵۲۸	۲/۹۱۸	۸/۵۱۹	۱۷/۱۴۴	۵۲/۹۷۲	۳۵/۸۲۸	۴۴/۷۱۱	روز تا برداشت

جدول٤. اجزای واریانس، وراثت‌پذیری و ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مورد بررسی در لاین‌های گوجه‌فرنگی

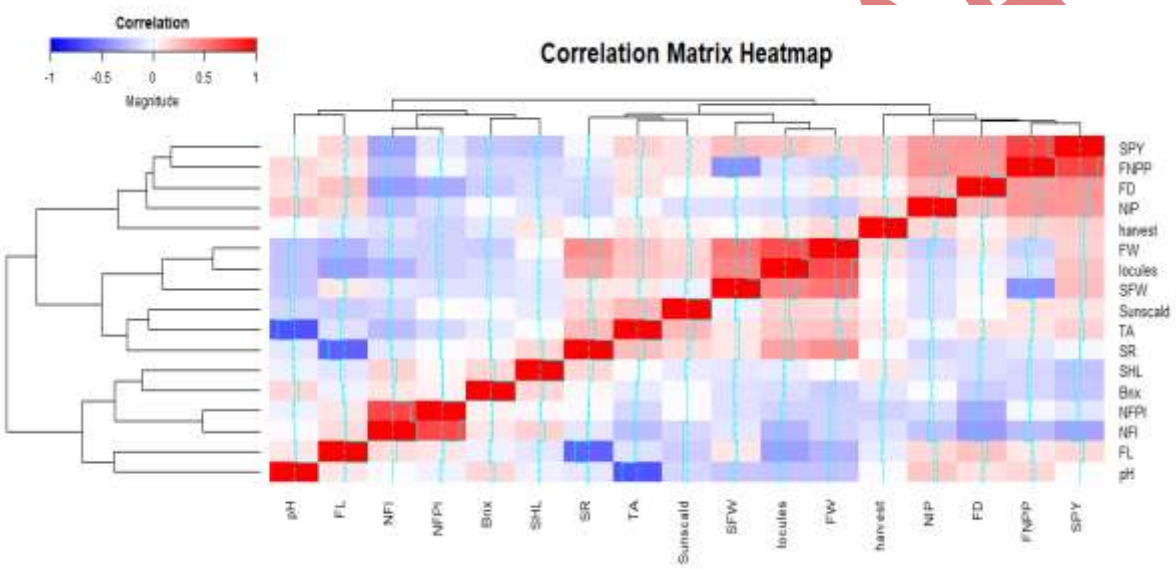
وراثت‌پذیری	ضریب تنوع فنوتیپی	ضریب تنوع ژنوتیپی	اجزای واریانس			صفات
			محیطی	فنوتیپی	ژنوتیپی	
۰/۷۳۸	۲۹/۸۳۸	۲۵/۶۴۶	۹/۸۴۹	۳۷/۷۰۲	۲۷/۸۵۳	تعداد خوشه گل در هر گل‌آذین
۰/۵۵۸	۲۰/۸۱۱	۱۵/۵۵۳	۰/۴۳۴	۰/۹۸۳	۰/۵۴۹	تعداد گل در هر گل‌آذین
۰/۶۰۲	۲۰/۷۸۸	۱۶/۱۳۷	۰/۲۵	۰/۶۲۹	۰/۳۷۹	تعداد میوه در هر گل‌آذین
۰/۹۹۱	۱۷۹/۴۸۰	۱۷۸/۷۳۱	۰/۲۴	۲۸/۷۹۹	۲۸/۵۵۹	آفتاب‌سوختگی (٪)
۰/۹۷۶	۷۷/۴۷۸	۷۶/۵۴۸	۲۳/۸۲۹	۹۹۸/۹۳۱	۹۷۵/۱۰۲	کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (٪)
۰/۸۵۵	۱۴/۹۶۹	۱۳/۸۴۷	۰/۱۲۱	۰/۸۳۹	۰/۷۱۸	طول میوه (mm)
۰/۸۵۰	۱۳/۳۶۴	۱۲/۳۲۷	۰/۰۹۴	۰/۶۳۰	۰/۵۳۶	عرض میوه (mm)
۰/۸۴۱	۲۰/۱۸۱	۱۸/۵۱۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	قطر گوشت (mm)
۰/۹۳۴	۳۳/۵۹۴	۳۲/۴۷۳	۰/۱۰۸	۱/۶۴۶	۱/۵۳۸	تعداد حفره
۰/۵۲۹	۵/۱۳۵	۳/۷۲۵	۰/۰۲۷	۰/۰۵۷	۰/۰۳۰	pH
۰/۸۴۵	۳۶/۳۰۰	۳۳/۳۷۰	۲/۴۸۱	۱۶/۰۱۴	۱۳/۵۳۳	TA
۰/۴۴۸	۱۵/۳۳۱	۱۰/۲۶۲	۰/۲۷۶	۰/۵۰۰	۰/۲۲۴	Brix (درجه بریکس)
۰/۷۲۸	۴۳/۳۱۱	۳۶/۹۷۵	۱۳/۹۱۱	۵۱/۳۰۰	۳۷/۳۸۹	ماندگاری
۰/۴۳۶	۳۸/۲۰۲	۲۵/۲۳۱	۹۴/۰۸	۱۶۶/۸۷۱	۷۲/۷۹۱	تعداد میوه در هر بوته
۰/۲۲۷	۳۴/۶۳۳	۱۶/۵۲۰	۱/۲۲۹	۱/۵۹۱	۰/۳۶۲	عملکرد تک بوته (kg/p)
۰/۸۹۰	۲۵/۲۵۳	۲۳/۶۲۲	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	وزن تک میوه (gr)
۰/۳۳۵	۶/۵۲۷	۳/۷۸۱	۵/۶۶	۸/۵۱۹	۲/۸۵۹	روز تا برداشت

همبستگی فنوتیپی صفات کمی گوجه‌فرنگی

نتایج بر مبنای کلیه ژنوتیپ‌ها نشان داد (شکل ۱) که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد تک بوته با سایر صفات به ترتیب مربوط به تعداد میوه در هر بوته (۰/۷۳۰)، قطر گوشت (۰/۴۰۹)، تعداد گل‌آذین در هر بوته (۰/۳۸۲)، وزن تک میوه (۰/۲۴۸) و تعداد حفره (۰/۲۲۳) است و بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد را با صفات تاریخ برداشت (۰/۱۸۵)، TA (۰/۱۷۱)، عرض میوه (۰/۱۷۱) و طول میوه (۰/۱۵۹) نشان داد، اما با سایر صفات همبستگی معنی‌داری نشان نداد. صفات کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه با صفت عرض میوه (۰/۴۲۹) و تعداد حفره (۰/۳۵۶)، صفت وزن تک میوه با عرض میوه (۰/۵۲۲) و تعداد حفره (۰/۴۶۱)، تعداد حفره با عرض میوه (۰/۶۹۶)، تعداد گل‌آذین در هر بوته (۰/۴۱۷) و قطر گوشت (۰/۳۹۰) با تعداد میوه در هر بوته، طول میوه با قطر گوشت (۰/۲۳۰)، تعداد گل در گل‌آذین با تعداد میوه در گل‌آذین (۰/۷۱۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گل درهر گل‌آذین، تعداد میوه در هر گل‌آذین و با افزایش تعداد گل‌آذین در هر بوته، تعداد میوه در هر بوته افزایش می‌یابد. بنابراین با بهبود این صفات می‌توان به طور غیر مستقیم عملکرد میوه را بهبود بخشید. صفت طول میوه با کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۶۰۸) نشان داد که بسیار جالب توجه بود؛ زیرا با افزایش طول میوه، درصد کاسبرگ‌های باقیمانده بر روی میوه کاهش یافت. همچنین صفت pH با TA همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۶۶۶) با هم

ویراستاری شده

نشان دادند که بدین معناست که هرچقدر میزان اسیدیته (pH) یک میوه پایین باشد، میزان بیشتری باز NaOH نیاز دارد تا به pH=8 برسد و این نشان می‌دهد که چقدر اسیدیته داخل میوه وجود دارد و میوه چقدر خاصیت بافری دارد .صفت وزن تک میوه با تعداد میوه در هر بوته همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۴۳۱) نشان داد که بیانگر رابطه غیر مستقیم بین آنهاست یعنی با افزایش تعداد میوه، وزن میوه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر صفات تعداد گل در گل‌آذین (۰/۳۸۸) و تعداد میوه در گل‌آذین (۰/۳۳۴) با صفت قطر گوشت همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. صفت طول میوه با تعداد حفره (۰/۳۶۳) نیز همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. این نشان می‌دهد که هر چقدر طول میوه بیشتر باشد، تعداد حفره درون آن کاهش می‌یابد.



شکل ۱. همبستگی فنوتیپی صفات کمی گوجه‌فرنگی. نام صفات به اختصار بصورت NIP: تعداد گل‌آذین در هر بوته، NFI: تعداد گل در هر گل‌آذین، NFPI: تعداد میوه در هر گل‌آذین، Sunscald(%): درصد آفتاب‌سوختگی میوه‌ها، SR (%): درصد کاسبرگ باقیمانده در هر میوه، FL: طول میوه، FW: عرض میوه، FD: قطر گوشت، locules: تعداد حفره، pH: اسیدیته، TA: اسیدیته قابل تیتراسیون، Brix: قند میوه، SHL: ماندگاری، FNPP: تعداد میوه در هر بوته، SPY: عملکرد تک بوته، SFW: وزن تک میوه و harvest: روز تا برداشت نشان داده شده است.)

نتایج رگرسیون گام به گام

برای بررسی تأثیر هر یک از صفات موردنظر روی متغیرهای تابع یا وابسته (عملکرد) و همچنین کاهش تعداد متغیرهای مستقل و برازش بهترین مدل رگرسیونی، از روش رگرسیون گام به گام استفاده شد (جدول ۵). با توجه به در نظر گرفتن صفت عملکرد تک بوته به عنوان متغیر وابسته، دو صفت وارد مدل شد. در این میان صفت تعداد میوه در هر بوته به تنهایی ۵۳ درصد از تغییرات عملکرد تک بوته را توجیه کرده که چنین رابطهٔ قوی بین عملکرد تک بوته و تعداد میوه در هر بوته را می‌توان به رابطه مستقیم در صفت نسبت داد. همچنین نتایج نشان داد که صفت وزن تک میوه، ۳۸ درصد از تغییرات عملکرد تک بوته را توجیه کرد. ضریب تبیین مدل برازش شده حاکی از آن است که ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد توسط متغیرهای مستقل موجود در مدل توجیه می‌گردد. نتایج حاصله با تجزیه همبستگی ساده صفات مطابقت داشت، به‌طوری که صفت تعداد میوه در هر بوته که زودتر وارد مدل شده است دارای همبستگی مثبت و بسیار بالایی (۰/۷۳۰) با عملکرد تک بوته بود.

جدول ۵. رگرسیون گام به گام برای صفات وابسته به عملکرد تک بوته در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی

متغیر وابسته	گام یا مرحله	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون استاندارد شده	میانگین مربعات رگرسیون (MS)	R^2	
					نسبی	تجمعی
عملکرد تک بوته	۱	تعداد میوه در هر بوته (X_1)	۱/۰۲۸	۱۲۷/۷۹۲	۰/۵۳۳	۰/۷۳۰
	۲	وزن تک میوه (X_2)	۰/۶۹۱	۱۱۰/۵۸۰	۰/۳۸۹	۰/۹۶۰

$\hat{y}$= - 3.100 + 1.028 (X_1) + 0. 691 (X_2)

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای از تمام صفات مورفولوژیکی و کیفیت میوه در این تحقیق، سه خوشه مجزا (شکل ۲) شناسایی کرد. برای نشان دادن ارزش هر یک از این کلاسترها از نظر ۱۷ صفت اندازه‌گیری شده، درصد انحراف میانگین کلاسترها از میانگین کل محاسبه شد (جدول ۶). این انحرافات تا حدی می‌تواند نشان دهنده وجود تنوع در ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی باشد. گروه اول بزرگ‌ترین کلاستر و شامل ۶۴ لاین (۴۱/۵۵ درصد) می‌باشد. این گروه از نظر صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، آفتاب سوختگی میوه‌ها، طول میوه، قطر گوشت، pH، عملکرد تک بوته، وزن تک میوه و تعداد میوه در هر بوته بالاتر از میانگین کل و همچنین بالاتر از کلاستر دوم و سوم می‌باشند، بنابراین نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برتری دارند. شاهد ۸۳۲۰ در این گروه قرار گرفت. بنابراین لاین‌هایی که در این گروه قرار گرفتند از نظر صفات مورفولوژیک و کیفیت میوه مشابه می‌باشند. این کلاستر با داشتن انحراف از میانگین بالا برای صفت عملکرد تک بوته، دارای لاین‌های پر محصول بود. بنابراین با توجه به خصوصیات این کلاستر می‌توان برای افزایش عملکرد میوه، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه از ژنوتیپ‌های این کلاستر بهره گرفت، به ویژه اینکه بین این صفات با عملکرد تک بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد.

گروه دوم شامل ۴۴ لاین (۲۸/۵۷ درصد) می‌باشد که از نظر صفات تعداد گل‌آذین در هر بوته، تعداد گل در هر گل‌آذین، کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، تعداد حفره، TA، Brix، بالاتر از میانگین کل و از نظر صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، آفتاب‌سوختگی، طول میوه، عرض میوه، قطر گوشت، pH، ماندگاری، تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته و وزن تک میوه پایین‌تر از میانگین کل می‌باشند. کم بودن میانگین عملکرد کلاستر دوم را می‌توان تا حدودی به منفی بودن ارزش انحراف از میانگین کل صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه، طول و عرض میوه نسبت داد. بیشترین اختلاف منفی این کلاستر به صفت ماندگاری و بیشترین اختلاف مثبت آن از میانگین کل به صفت Brix مربوط می‌شد.

گروه سوم شامل ۴۶ لاین (۲۹/۸۷ درصد) می‌باشد که از خصوصیات بارز آنها نسبت به دو گروه دیگر داشتن ماندگاری بالا می‌باشد. در این گروه صفات کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، عرض میوه، تعداد حفره، ماندگاری، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه بیشتر از میانگین کل می‌باشند. لازم به توضیح است که در برنامه‌های اصلاحی، با توجه به گروه‌بندی انجام شده و برآورد میانگین صفات برای لاین‌های موجود در هر کلاستر و درصد انحراف میانگین هر کلاستر از میانگین کل، می‌توان والدین مناسب را برای انجام تلاقی‌های هدفمند انتخاب نمود.

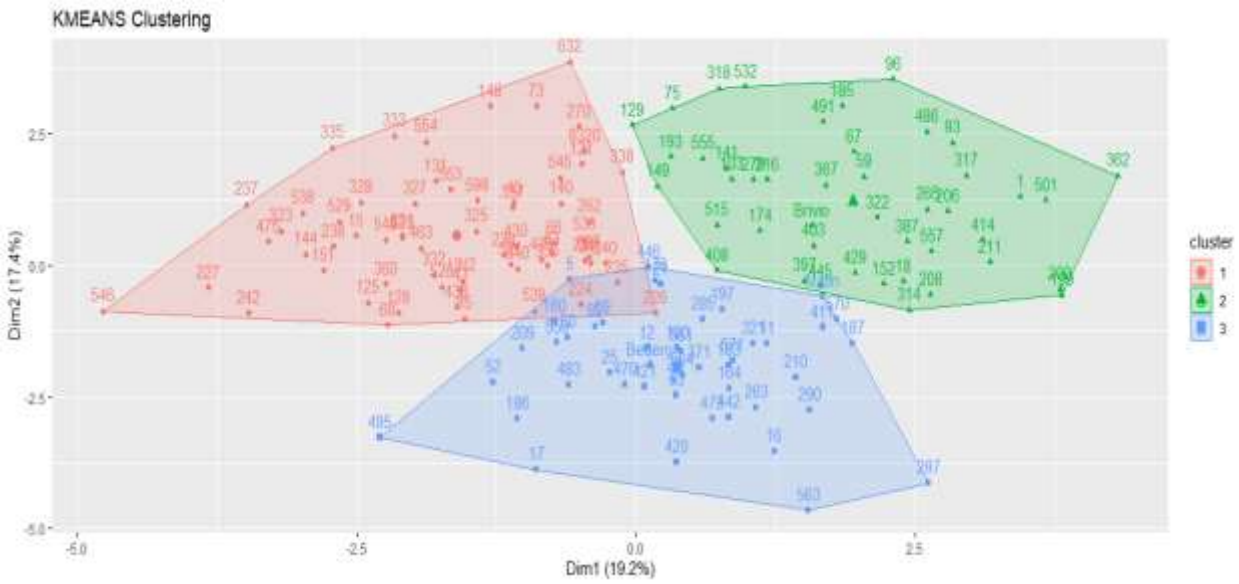
ویراستاری شده

جدول ٦. میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر

کلاستر	تعداد گل‌آذین در هر بوته	تعداد گل در گل‌آذین	تعداد میوه در هر گل‌آذین	آفتاب‌سوختگی (٪)	کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه (٪)	طول میوه (mm)	عرض میوه (mm)	قطر گوشت (mm)
۱	۴/۳۰۴^{b}	۳/۵۵۰^{b}	۴/۶۹۱^{a}	۶۰/۸۴۱a	۵/۶۷۰c	۶/۵۴۷a	۰/۶۹۹b	۴/۶۴۰a
انحراف از میانگین	−۰/۵۲۹	−۰/۳۱۲	۱/۸۳۲	۲۴/۶۰۴	−۰/۶۱۳	۰/۶۳۸	۰/۰۰۶	۰/۹۸۶
۲	۵/۶۷۹^{a}	۴/۲۵۷^{a}	۱/۲۷۲^{b}	۳۱/۵۷۵b	۶/۳۵۴b	۵/۴۷۳b	۰/۶۰۱c	۲/۹۳۹c
انحراف از میانگین	۰/۸۴۶	۰/۳۹۵	−۱/۵۸۷	−۴/۶۶۲	۰/۰۷۱	−۰/۴۳۶	−۰/۰۹۲	−۰/۷۱۵
۳	۴/۵۱۴b	۳/۷۷۷^{b}	۲/۶۱۳^{ab}	۱۶/۲۹۴c	۶/۸۲۳a	۵/۷۰۵b	۰/۷۷۹a	۳/۳۸۱b
انحراف از میانگین	−۰/۳۱۹	−۰/۰۸۵	−۰/۲۴۶	−۱۹/۹۴۳	۰/۵۴	−۰/۲۰۴	۰/۰۸۶	−۰/۲۷۳
میانگین کل	۴/۸۳۳	۳/۸۶۲	۲/۸۵۹	۳۶/۲۳۷	۶/۲۸۳	۵/۹۰۹	۰/۶۹۳	۳/۶۵۴

ادامه جدول ٦. میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر

کلاستر	تعداد حفره	pH	TA	Brix (درجه بریکس)	ماندگاری	تعداد میوه در هر بوته	عملکرد تک بوته (kg/m^2)	وزن تک میوه (gr)
۱	۴/۵۶۱b	۱۲/۶۶۷a	۴/۴۵۶b	۱۶/۳۶۱b	۳۲/۴۱۵b	۳/۷۹۳b	۰/۱۲۲a	۴۵/۲۲۳a
انحراف از میانگین	−۰/۱	۱/۹۷۸	−۰/۱۳۵	−۰/۲۵	−۱/۶۷۲	۰/۱۷۴	۰/۰۱۱	۰/۶۸
۲	۴/۶۷۸a	۹/۰۰۲b	۴/۸۳۵b	۱۹/۲۱۲a	۲۴/۸۴۲c	۲/۴۵۱c	۰/۱۰۲b	۴۳/۶۲۰b
انحراف از میانگین	۰/۰۱۷	−۱/۶۸۷	۰/۲۴۴	۲/۶۰۱	−۹/۲۴۵	−۱/۱۶۸	−۰/۰۰۹	−۰/۹۲۳
۳	۴/۷۴۴a	۱۰/۳۹۷b	۴/۴۸۰a	۱۴/۲۶۰b	۴۵/۰۰۲a	۴/۶۱۲a	۰/۱۰۷b	۴۴/۷۸۶a
انحراف از میانگین	۰/۰۸۳	−۰/۲۹۲	−۰/۱۱۱	−۲/۳۵۱	۱۰/۹۱۵	۰/۹۹۳	−۰/۰۰۴	۰/۲۴۳
میانگین کل	۴/۶۶۱	۱۰/۶۸۹	۴/۵۹۱	۱۶/۶۱۱	۳۴/۰۸۷	۳/۶۱۹	۰/۱۱۱	۴۴/۵۴۳



شکل ۲. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای صفات مورفولوژیک و صفات مرتبط با کیفیت میوه در لاین‌ها و ارقام شاهد گوجه‌فرنگی

شکل ۳. لاین‌هایی که در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در میانه سه خوشه قرار گرفته‌اند و همچنین ارقام شاهد (به ترتیب از بالا سمت راست شامل لاین ۴۶۳، ۳۲۲، ۳۷۱ و ارقام شاهد از پایین سمت راست شامل ۸۳۲۰، Brivio، Matin و Bedero)

تجزیه به مولفه‌های اصلی

در مطالعه حاضر تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس ۱۷ صفت در ۱۶۴ لاین گوجه‌فرنگی انجام شد. با در نظر گرفتن مقدار ویژه بالای یک، شش مؤلفه اول در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (جدول۷). مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک در یک مؤلفه نشان‌دهنده آن است که آن مؤلفه، واریانس بیشتری را نسبت به یک متغیر انفرادی برآورده می‌کند؛ لذا با توجه به جدول شماره ۷، شش مؤلفه اصلی اول که ارزش ویژه آن‌ها بالاتر از یک می‌باشد، جمعاً ۶۹/۳۲ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کرده اند. مولفه‌های اصلی بر اساس کاهش واریانس مرتب می‌شوند (Feyissa and Bessie, 2019) و بر این اساس مهم‌ترین مؤلفه اصلی، مؤلفه اول است که بیشترین واریانس را دارد و مؤلفه آخر اهمیت کمتری دارد. مولفه‌های اول، دوم، سوم، چهارم، پنجم و ششم به ترتیب ۱۹/۲۶، ۱۷/۴۰، ۹/۴۳۵، ۹/۰۸۹، ۷/۴۶۲ و ۶/۶۶۴ درصد از تنوع کل را تبیین نمودند. در هر مؤلفه فقط آن دسته از متغیرهایی که میزان قدر مطلق مقادیر بردار ویژه (Eigen value) آن‌ها از معیار انتخاب محاسبه شده برای مؤلفه بزرگ‌تر باشند، در تفسیر آن مؤلفه در نظر گرفته می‌شوند (Ovalles and Collins, 1988) و بدین سان در مطالعه حاضر معیار انتخاب محاسبه شده برای مولفه‌های اول، دوم، سوم، چهارم، پنجم و ششم به ترتیب ۳/۲۷۶، ۲/۹۵۹، ۱/۶۰۴، ۱/۵۴۵، ۱/۲۶۹ و ۱/۱۳۳ می‌باشند و بر این اساس مؤلفه اول توسط صفات تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته، تعداد خوشه گل در هر بوته، زمان برداشت و تعداد میوه در گل‌آذین با بزرگ‌ترین ضرایب عاملی مثبت و صفات بریکس و ماندگاری با بزرگ‌ترین ضریب عاملی منفی تحت‌تأثیر قرار گرفته است؛ بنابراین هر گونه افزایش در مؤلفه اول می‌تواند باعث افزایش در عملکرد کل شود. مؤلفه دوم بیشتر تحت‌تأثیر متغیرهای عملکرد تک بوته، عرض میوه، تعداد حفره و وزن تک میوه با ضریب عاملی مثبت و صفات آفتاب‌سوختگی و بریکس با ضرایب عاملی منفی بود. به طور کلی صفات شناسایی شده در دو مؤلفه اصلی اول با واریانس تجمعی ۳۶/۶۷ درصد حاکی از تأثیر آن صفات بر فنوتیپ لاین‌ها است و این صفات می‌توانند به طور مؤثر برای انتخاب در میان لاین‌های مورد مطالعه استفاده شوند. صفاتی که بیشترین بار عاملی مثبت را برای مؤلفه سوم

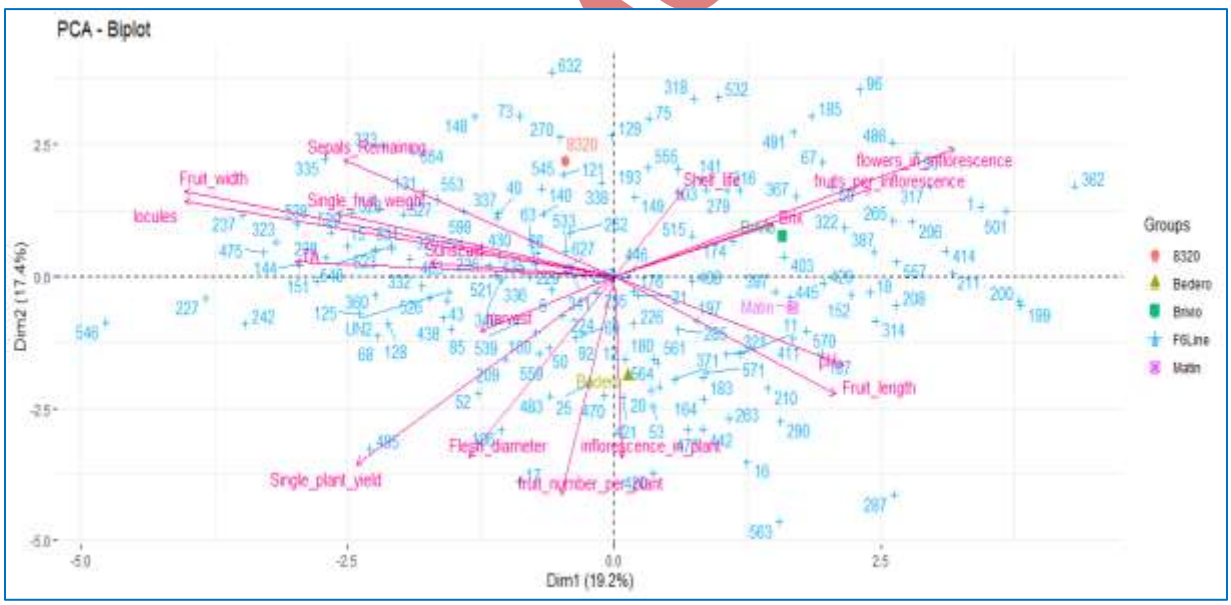
نشان دادند، صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، آفتاب‌سوختگی، کاسبرگ باقیمانده در هر میوه، عرض میوه، تعداد حفره، pH، Brix، تعداد میوه در هر بوته و روز تا برداشت بودند که بیشترین بار عاملی مثبت متعلق به صفت کاسبرگ باقیمانده در هر میوه بود. مؤلفه چهارم بیشترین بار عاملی مثبت را برای صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین و تعداد گل در هر گل‌آذین نشان داد. مؤلفه پنجم بیشترین بار عاملی مثبت را برای صفات قطر گوشت و آفتاب‌سوختگی و مؤلفه ششم بیشترین بار عاملی مثبت را برای صفات ماندگاری، روز تا برداشت و تعداد گل‌آذین در هر بوته نشان داد (جدول ۸). تساگایه و همکاران (۲۰۱۹)، برای بررسی تنوع در بین ۳۶ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. از ۱۸ مؤلفه اصلی استخراج شده، ۵ مؤلفه اول با مقدار ویژه بیشتر از یک، ۷۸/۱ درصد و مؤلفه اول و دوم ۴۸/۲۹ درصد را به خود اختصاص دادند. بارهای عاملی مثبت در مطالعه آن‌ها به ترتیب برای مؤلفه اول (صفات طول میوه و قطر میوه)، مؤلفه دوم (تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته، قطر میوه و عملکرد میوه در هر بوته)، مؤلفه سوم (pH)، مؤلفه چهارم (تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته و عملکرد میوه) بودند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. با توجه به نمودار بای پلات، بیشترین همبستگی بین صفات تعداد گل با تعداد میوه در هر گل‌آذین و عرض میوه با تعداد حفره بود (شکل۴). در مطالعه موکول و همکاران (۲۰۲۱) نیز ۳۰ ژنوتیپ با تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس ۲۰ صفت مورد مطالعه، شش مؤلفه بیشتر از یک مقدار ویژه با تغییرپذیری ۷۸/۷۳ درصد تشکیل داد که شش مؤلفه اصلی برای اطلاعات مرتبط بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند و سهم هر مؤلفه PC1، PC2، PC3، PC4، PC5 و PC6 به ترتیب ۲۵، ۱۷، ۱۳، ۹، ۸ درصد و ۷ درصد بود. مؤلفه اول حداکثر تنوع کل را توجیه کرد و صفات شاخه‌های اصلی، شاخه‌های فرعی، تعداد خوشه در هر بوته، تعداد حفره و میانگین وزن میوه، عملکرد میوه در هر بوته، لیکوپن و کاروتن بیشترین سهم مثبت را در واگرایی ژنتیکی در PC1 نشان دادند که از نظر صفات تعداد خوشه (گل‌آذین) در هر بوته، تعداد حفره و عملکرد میوه در هر بوته با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. پراکاش و ویجی (۲۰۱۷) با انجام تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های بومی گوجه‌فرنگی بر اساس شاخص‌های مورفولوژیکی نشان دادند که شش مؤلفه اصلی ۸۵/۸۵ درصد از کل تنوع ژنوتیپ‌ها را به خود اختصاص داده است که از شش مؤلفه، چهار مؤلفه اصلی PC1، PC2، PC3 و PC4 مقادیر ویژه بیش از یک را نشان دادند و در مجموع ۷۲/۹۲ درصد تنوع را توضیح دادند. سهم اولین PC نسبت به تنوع بالاترین (۲۸/۲۸ درصد) بود. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، برگ‌های بوته و تعداد گل‌آذین در هر بوته بیشترین رتبه را در PC1 داشتند. پرادان و همکاران (۲۰۱۱)، تجزیه به مولفه‌های اصلی را برای دوازده صفت انجام دادند که فقط دو مؤلفه اول در تجزیه PCA دارای مقادیر ویژه بالاتر از ۱/۰ بودند و واریانس تجمعی ۸۴/۱۰ درصد را نشان داد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، صفات عملکرد تک بوته، تعداد گل‌آذین در هر بوته، تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه برای بهبود صفات مورفولوژیکی و کیفی میوه در گوجه‌فرنگی مهم هستند؛ بنابراین این صفات می‌توانند برای انتخاب والدین در برنامه‌های هیبریداسیون به منظور گسترش پایه ژنتیکی در جمعیت و همچنین ایجاد هیبریدهای F1 مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۷. مقادیر ویژه، درصد تبیین واریانس مولفه‌های اصلی استخراج شده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی لاین‌های گوجه‌فرنگی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

مؤلفه	واریانس کل	سهم واریانس هر مؤلفه	واریانس تجمعی
PC1	۳/۲۷۶	۱۹/۲۶۸	۱۹/۲۶۸
PC2	۲/۹۵۹	۱۷/۴۰۶	۳۶/۶۷۴
PC3	۱/۶۰۴	۹/۴۳۵	۴۶/۱۰۹
PC4	۱/۵۴۵	۹/۰۸۹	۵۵/۱۹۹
PC5	۱/۲۶۹	۷/۴۶۲	۶۲/۶۶۰
PC6	۱/۱۳۳	۶/۶۶۴	۶۹/۳۲۴

جدول ۸. مقادیر ویژه شش مؤلفه اصلی برای صفات مورفولوژیکی و کیفیت میوه ۱۶۴ لاین گوجه‌فرنگی آزمایش شده در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

صفات	مؤلفه‌اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه‌چهارم PC4	مؤلفه پنجم PC5	مؤلفه ششم PC6
تعداد خوشه گل در هر گل‌آذین	۰/۲۰۳	-۰/۰۳۲	-۰/۰۵۳	-۰/۰۶۸	-۰/۱۰۴	۰/۱۹۷
تعداد گل در هر گل‌آذین	۰/۰۳۶	۰/۰۴۶	-۰/۰۵۲	۰/۴۴۴	-۰/۰۲۲	۰/۰۹۱
تعداد میوه در هر گل‌آذین	۰/۱۷۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸	۰/۵۳۵	۰/۰۱۸	-۰/۰۷۱
آفتاب سوختگی (٪)	۰/۰۶۸	-۰/۱۴۸	۰/۲۲۱	۰/۰۲۴	۰/۲۰۶	-۰/۲۸۵
کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (٪)	۰/۰۱۷	۰/۰۱۱	۰/۳۸۵	۰/۰۳۶	-۰/۰۵۴	۰/۰۵۱
طول میوه (mm)	۰/۰۱۱	۰/۰۹۳	-۰/۴۶۰	۰/۰۰۸	۰/۰۸۲	۰/۰۰۲
عرض میوه (mm)	۰/۰۴۰	۰/۳۲۴	۰/۱۱۶	۰۳۳۰	-۰/۰۵۲	۰/۰۵۲
قطر گوشت (mm)	۰/۰۹۶	۰/۰۲۳	-۰/۱۳۹	-۰/۲۲۴	۰/۰۱۵	-۰/۰۴۹
تعداد حفره	۰/۰۴۰	۰/۲۸۰	۰/۱۶۲	۰/۰۰۹	-۰/۰۶۰	-۰/۰۴۷
pH	۰/۰۵۸	-۰/۰۲۱	۰/۱۳۸	-۰/۰۵۵	-۰/۵۱۷	-۰/۰۶۰
TA	۰/۰۰۱	-۰/۰۸۵	-۰/۰۳۶	-۰/۰۷۵	۰/۵۱۱	۰/۰۷۱
Brix (درجه بریکس)	-۰/۱۶۰	-۰/۱۶۵	۰/۰۸۶	-۰/۱۱۷	-۰/۰۶۵	۰/۰۶۰
ماندگاری	-۰/۱۰۲	-۰/۰۵۳	-۰/۰۳۰	-۰/۰۲۲	۰/۰۷۱	۰/۶۱۴
تعداد میوه در هر بوته	۰/۳۹۶	-۰/۱۶۲	۰/۱۲۱	۰/۰۹۳	۰/۰۲۰	-۰/۰۱۵
عملکرد تک بوته (kg/m^2)	۰/۳۷۴	۰/۱۳۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۹۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۲۲
وزن تک میوه (gr)	-۰/۰۶۶	۰/۴۴۰	-۰/۱۹۹	-۰/۰۰۶	-۰/۰۴۹	۰/۰۱۵
روز تا برداشت	۰/۲۰۰	۰/۰۵۰	۰/۰۳۷	۰/۰۶۶	-۰/۰۱۸	۰/۵۷۱



شکل٤. ترسیم گرافیکی بای پلات براساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم. اعداد داخل شکل، شماره لاین‌های گوجه فرنگی می‌باشند. (بردارهای ویژه به‌اختصار به‌صورت inflorescence_in_plant: تعداد گل‌آذین در هر بوته، flowers_in_inflorescence: تعداد گل در هر گل‌آذین، fruits_per_inflorescence: تعداد میوه در هر گل‌آذین، Sunscald(%): درصد آفتاب‌سوختگی میوه‌ها، Sepals_Remaining(%): درصد کاسبرگ باقیمانده در هر میوه، Fruit_length: طول میوه، Fruit_width: عرض میوه، Flesh_diameter: قطر گوشت، locules: تعداد حفره، pH: اسیدیته، TA: اسیدیته قابل تیتراسیون، Brix: قند میوه، Shelf_life: ماندگاری، fruit_number_per_plant: تعداد میوه در هر بوته، Single_plant_yield: عملکرد تک بوته، Single_fruit_weight: وزن تک میوه و harvest: روز تا برداشت نشان داده شده است.)

بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنوع ژنتیکی مناسبی در میان لاین‌های مورد ارزیابی از نظر اکثر صفات مورد مطالعه وجود دارد. نتایج آنالیز واریانس در مطالعه نظامی و همکاران (۱۳۹۹) و همچنین گل‌چشمه و همکاران (۱۴۰۰)، در لاین‌های گوجه‌فرنگی نشان داد که در میان تمامی لاین‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی وجود دارد. در بین لاین‌های گوجه‌فرنگی، دامنه تغییرات عملکرد تک بوته در بین ۱۶۴ لاین بسیار زیاد و از ۱/۲۱ تا ۶/۴۳ کیلوگرم در بوته و در رابطه با صفت وزن تک میوه از ۴۶/۰۵–۱۸۸/۷۱ گرم بود (جدول۲). اگرچه وراثت‌پذیری عمومی در مقایسه با وراثت‌پذیری خصوصی نمی‌تواند سهم ژنتیکی تنوع را مشخص کند، اما بالا بودن آن نشان‌دهنده انتقال نسبی صفات از والدین به نتاج می‌باشد، به ویژه اگر سهم واریانس افزایشی بالا باشد. صمدیا و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه ای بر روی ۱۴ رقم گوجه‌فرنگی میانگین وزن میوه (gr) را اندازه‌گیری کرده و پارامترهای وراثت‌پذیری (۹۹/۹٪)، ضریب تغییرات ژنوتیپی (۵۸/۰۴)، ضریب تغییرات فنوتیپی (۵۸/۰۱) و میانگین (۵۱/۶ گرم) در دامنه ای از ۱۹/۴تا ۱۲۲/۴ گرم را برآورد کردند. عدم مطابقت وراثت‌پذیری برخی صفات با مطالعات ذکر شده می‌تواند ناشی از مواد ژنتیکی و شرایط محیطی مورد استفاده باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد تک بوته با سایر صفات به ترتیب مربوط به تعداد میوه در هر بوته (۰/۷۳۰)، قطر گوشت (۰/۴۰۹)، تعداد گل‌آذین در هر بوته (۰/۳۸۲)، وزن تک میوه (۰/۲۴۸) و تعداد حفره (۰/۲۲۳) است و بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد را با صفات تاریخ برداشت (۰/۱۸۵)، TA (۰/۱۷۱)، عرض میوه (۰/۱۷۱) و طول میوه (۰/۱۵۹) نشان داد، اما با سایر صفات همبستگی معنی‌داری نشان نداد. قربان‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی ارتباط صفات مختلف با عملکرد میوه، ۱۶ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی را از نظر ۲۰ صفت مختلف مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد میوه در بوته، با بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد میوه، مهم‌ترین جزء عملکرد می‌باشد. هناره و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ۹۷ توده گوجه‌فرنگی جمع‌آوری‌شده از منطقه شرق آناتولی ترکیه و شمال غرب ایران به همراه سه رقم تجاری نشان دادند که عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن میوه، طول و قطر میوه دارد. کوماری و همکاران (۲۰۱۴) با تحقیق بر روی یازده ژنوتیپ گوجه‌فرنگی نشان دادند که عملکرد میوه با میانگین وزن میوه و تعداد میوه در هر بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. سریواستا و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی ۵۲ رقم گوجه‌فرنگی گزارش دادند که عملکرد در هر گیاه با تعداد میوه در هر بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند که تمام نتایج یاد شده با نتایج این تحقیق مطابقت داشتند. اسلام و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ضریب همبستگی ۳۹ رقم گوجه‌فرنگی دریافتند که عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد گل و میوه در بوته، طول و قطر میوه و وزن میوه دارد. در مجموع مطالعات مختلفی که روی ارقام گوجه‌فرنگی توسط محققین مختلف انجام شده است نشان می‌دهد که تعداد میوه در بوته صفت مهمی در عملکرد می‌باشد. نتایج تجزیه همبستگی دفتریان و گل‌آبادی (۱۳۹۷) بر روی ۱۳ رقم تجاری به منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت میوه در برخی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی نشان داد که صفت تعداد گل در گل‌آذین با صفت تعداد میوه در گل‌آذین (۰/۶۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، از طرف دیگر صفات **pH** و بریکس نیزهمبستگی مثبت و معنی‌داری را با هم نشان دادند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد؛ بنابراین انتخاب برای عملکرد میوه بالاتر، منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با کیفیت میوه بالاتر در ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌شود.

در مطالعه حاضر تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس ۱۷ صفت در ۱۶۴ لاین گوجه‌فرنگی انجام شد. به طور کلی صفات شناسایی شده در دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۳۶/۶۷ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کرد که حاکی از تأثیر این صفات بر فنوتیپ لاین‌ها است و این صفات می‌توانند به طور مؤثر برای انتخاب در میان لاین‌های مورد مطالعه استفاده شوند و صفات عرض میوه، عملکرد تک بوته، وزن تک میوه، تعداد میوه در هر بوته، تعداد خوشه گل در هر بوته، تعداد

میوه در گل‌آذین، زمان برداشت و تعداد حفره بیشترین سهم را در تغییرات عملکرد دارند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در مطالعه گل‌چشمه و همکاران (۱۴۰۰)، به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای آن روی ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول، در مجموع ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه می‌کند و صفات وزن میوه در بوته (۰/۴۹۲)، عرض میوه (۰/۴۸۰)، طول میوه (۰/۴۷۲)، عملکرد میوه در بوته (۰/۳۹۵) و تعداد میوه در بوته (۰/۳۶۷-) بیشترین سهم را در تغییرات عملکرد دارند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ۱۶۴ لاین گوجه‌فرنگی براساس صفات مورفولوژیکی بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنوع ژنتیکی مناسبی در میان لاین‌های مورد ارزیابی وجود دارد و از این نتایج می‌توان در جهت بهبود صفات زراعی اندازه‌گیری شده سود جست. از طرفی صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه نیز پتانسیل خوبی را برای بررسی تنوع ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه داشتند. اما از آنجایی که برخی از صفات مطالعه شده مانند عملکرد کمی هستند، به شدت تحت تاثیر محیط قرار گرفته و گزینش مستقیم براساس این صفات در جهت افزایش عملکرد توصیه نمی‌شود. در این خصوص یکی از راه‌ها برای افزایش عملکرد، از طریق بهبود اجزای آن است. بیشترین عملکرد تک بوته را لاین شماره ۲۴۲ به میزان ۶/۴۳ کیلوگرم در بوته دارا بود و لاین‌های ۴۹۵، ۱۷ و ۸۵ نیز با دارا بودن عملکرد تک بوته زیاد می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اول ۳۶/۲ درصد از تنوع فنوتیپی کل را در بین داده‌ها توجیه کردند و صفات قابل شناسایی شده در این دو مولفه نشان از تاثیر قابل توجه آن‌ها بر فنوتیپ ارقام است.

منابع

دفتریان، فرانک و گل آبادی، مریم. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد و کیفیت میوه در برخی از ژنوتیپ های گوجه فرنگی گلخانه ای. *مجله تولید و فرآوری گیاهی*، ۸ (۱)، ۱۱۳-۱۲۶.

گل‌چشمه، ساسان؛ کیانی، غفار؛ کاظمی تبار، سید کمال و نواب پور، سعید. (۱۳۹۱). بررسی تنوع مورفولوژیکی و ارزیابی عملکرد خطوط گوجه فرنگی با استفاده از تحلیل آماری چند متغیره. *مجله علوم باغبانی*، ۳۶ (۲)، ۴۱۵-۴۲۷.

محسنی‌فرد؛ احسان، فارسی، محمد؛ نعمتی، سید حسین و ملک‌زاده، خلیل. (۱۳۹۰). ارزیابی تنوع ژنتیکی ۱۶ لاین گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) با استفاده از نشانگر مولکولی SSR و بررسی همبستگی آن با هتروزیس. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۲ (۴)، ۱۸۵-۱۹۲.

نظامی، سمیه؛ نعمتی، سید حسین؛ آرویی، حسین و کافی، محمد. (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل نیمه دی آلل صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه در لاین های گوجه فرنگی. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۵۲ (۴)، ۱۰۱۱-۱۰۲۵.

Reference

Agong, S.G., Schittenhelm, S., & Friedt, W. (2001). Genotypic variation of Kenyan tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) germplasm. *The Journal of Food Technology in Africa*, 6(1), 13-17. https://doi.org/10.4314/jfta.v6i1.19277.

Ahmad, Dar., R. & Sharma, J. P. (2011). Genetic Variability studies of yield and quality traits in tomato (*Solanum Lycopersicon L.*). *International Journal of Plant Breeding and Gnetics*, 5, 168-174.

Al-Aysh, F., Kutma, H., Al-Zouabi, A., Muhammad, S.H., & Ibn-Ishak, M.B. (2012). Genetic variation, heritability and interrelationships of some important characteristics in Syrian tomato landraces (*Solanum lycopersicum* L.). *Acad Arena, 4(10), 1-5.*

Ahmadizadeh, M., & Felenji, H. (2011). Evaluation diversity among potato cultivars using agro-morphological and yield components in fall cultivation of Jiroft area. *American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 11(5), 655-662.

de Souza, LM., Melo PCT., Luders, RR., Melo, AMT. (2012). Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Hortic Bras*, 30, 627–631.

Daftarian, F., & Golabadi, M. (2017). Evaluation of Fruit Yield and Quality in some Greenhouse Tomato Genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(1), 113-126. https://civilica.com/doc/1220046. (*inPersian*).

Feyissa, G.F., & Bessie, S. (2019). Major types of risk sources perceived by tomato producing smallholder farmers the case of Dugda district, east Shewa zone, Oromia. Ethiopia. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 10(13), 9-17. https://doi.org/10.7176/JESD.

FAO (2020) FAOSTAT, Food & Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/faostat/en/#home. Accessed 25 November 2022.

GolCheshmeh1, S., Kiani, G., Kazemi Tabar, 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. DOI: 10.22067/JHS.2021.70173.1048. (*inPersian*).

Ghorbanpour, A., Salimi, A., Tajick Ghanbary, M.A., Pirdashti, H., & Dehestani, A. (2017). Relationship between Fruit Yield and its Components in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars using Multivariate Statistical Methods. *Journal of Crop Breeding*, 24(9), 22-29. DOI: 10.29252/jcb.9.24.22.

Hannan, M. M., Ahmed, M. B., Roy, U. K., Razvy, M. A., Haydar, A., Rahman, M. A., Islam, M. A., & Islam, R. (2007). Heterosis , Combining Ability and Genetics for Brix %, Days to First Fruit Ripening and Yield in Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). *In Middle-East Journal of Scientific research*, 2(3–4), 128–131.

Hassan, Z., Ul-Allah, S., Khan, A.A., Shahzad, U., Khurshid, M., Bakhsh, A., Amin, H., Jahan, M.S., Rehim, A., & Manzoor, Z. (2021). Phenotypic characterization of exotic tomato germplasm. An excellent breeding resources. *PLoS One*, 16(6), 1-12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253557.

Henareh, M., Dursun, A. & Mandoulakani, B.A. (2015). Genetic diversity in tomato landraces collected from Turkey and Iran revealed by morphological characters. Acta Scientiarum Polonorum. *Hortorum Cultus*, 14(2), 87-96.

Hamidi, H., Ahmadi, M. & Soltani Idaliki J. (2023). Investigating the genetic diversity of sugar beet half-sib families under natural infection conditions to cyst nematode and rhizomania diseases. *Journal of Plant Production Research*, 30 (3), 177-195. DOI: 10.22069/JOPP.2023.21005.3004

Islam, B., Ivy, N. Rasul, M. & Zakaria, M. (2010). Character association and path analysis of exotic tomato (Solanum lycopersicum L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 23(1), 13-18.

Khazaei, H., & Zare-Feyzabadi, A. (2013). Assessment of fruit yield and quality of tomato varieties in one and several times hand-harvesting. *Seed and Plant Production*, 2(29), 235-249. *(inPersian)*

Kia-Mohammadi, F., Abdousi, V., Moradi, P., Shafiei, M.R., & Arab, S. (2012). Evaluation of genetic diversity among some of Iranian chrysanthemum cultivar using morphological characteristics. *Agronomy and Plant Breeding*, 8(4), 43-54.

Kaemmer, D., Weising, K., Beyermann, B., Borner, T., Epplen, J.T., & Kahl, G. (1995). Oligonucleotide fingerprinting of tomato DNA. *Plant Breeding*, 114(1), 12-17. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00751.x.

Khadivi-Khub, A., Zamani, Z., & Bouzari, N. (2008). Evaluation of genetic diversity in some Iranian and foreign sweet cherry cultivars by using RAPD molecular markers and morphological traits. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 49(3), 188-196.

Kumar, N., Bhardwaj, M.L., Sharma, A., & Kumar, N. (2017). Assessment of genetic divergence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) through clustering and principal component analysis under Mid Hills

conditions of Himachal Pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 6(5), 1811 1819. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.197.

Kumari, S., & Sharma, M.K. (2014). Genetic variability studies in tomato (Solanum lycopersicum L.). *Vegetable Science*, 40(1), 83-86.

Kumar, S., & Gowda, P. H. (2016). Estimation of heterosis and combining ability in tomato for fruit shelf life and yield component traits using line x tester method. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9 (3), 10-19.

Kim, M., Nguyen, T. T. P., Ahn, J. H., Kim, G. J., & Sim, S. C. (2021). Genome-wide association study identifies QTL for eight fruit traits in cultivated tomato (Solanum lycopersicum L.). *Horticulture Research*, 8(1). https://doi.org/10.1038/s41438-021-00638-4.

Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: A phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *J Exp Bot*, 53, 2002–2022.

Karsten ex Farw. 2001. INTERNATIONAL UNION FOR THE PROTECTION OF NEW VARIETIES OF PLANTS. TOMATO (Lycopersicon lycopersicum L.), GENEVA 2001, TG/44/10. https://www.upov.int/portal/index.html.en

Cappetta, E., Andolfo, G., Di Matteo, A., Barone, A., Frusciante, L., Ercolano, MR. (2020). Accelerating tomato breeding by exploiting genomic selection approaches. *Plants*, 9, 12-36.

Mustafa, M., Syukur, M. & Sutjahjo, S. (2016). Estimation of Genetic Parameters, Correlation, and Genetic Relationship of Tomatoes Genotype in Lowland. *Agrotech Journal ATJ*, 1(1), 19-25, ISSN: 2548-5121.

Mirshamsi-Kakhki, A., Farsi, M., Shahriari Ahmadi, F., & Nemati, H. (2008). Use of random amplified polymorphic DNA markers to estimate heterosis and combining ability in tomato hybrids. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(4), 499-507. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.499.507.

Mohsenifard, E., Farsi, M., Nemati, H., & Malekzade, K. (2011). An SSR-based assessment of genetic diversity in 16 Tomato (*Lycopersicon esculentum*) lines and its correlation with heterosis. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(2), 185-192. *(inPersian)*

Mukul, S., Kumar, M., & Agarwal, R.K. (2022). Principal component analysis based on yield and its attributing traits in tomato (Solanum lycopersicum L.) Genotypes. *The Pharma Innovation Journal, 11(1), 1836-1841*.

Nikoumanesh, K., Ebadi, A., Zeinalabedini, M., & Gogorcena, Y. (2011). Morphological and molecular variability in some Iranian almond genotypes and related Prunus species and their potentials for rootstock breeding. *Scientia horticulturae*, 129(1), 108-118. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.017.

Nezami, S., Nemati, H., Arouiee H., & Kafi, M. (2020). Half diallel analysis of related traits to yield and fruit quality in tomato lines. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(4), 1011-1025. DOI: 10.22059/ijhs.2020.296125.1759. (*inPersian*).

Osei, M.K., Bonsu, K.O., Agyeman, A., & Choi, H.S. (2014). Genetic diversity of tomato germplasm in Ghana using morphological characters. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(3), 220-231. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2014/6466.

Ovalles, F.A., & Collins, M.E. (1988). Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 52(5), 1430-1435. https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200050042x.

Pérez-de-la-Vega, M. (1993). Biochemical Characterization of Populations. 184-200. In: Hayward M.D., Bosemark, N.O., & Romagosa, I. (eds.). *Plant Breeding, Principles and Prospects*. Chapman and Hall, London.

Pradhan, A.M., Nanadeshwar, B.C., Sarkar, K.K., & Konar, A. (2011). Estimation of genetic parameters and association of traits related to yield in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop and Weed*, 7(2), 229-231.

Prakash, M.O., & Vijay, B. (2017). Principal component and cluster analysis of indigenous tomato genotypes based on morphological indicators. *Research Journal of Biotechnology*, 12 (7), 50-58.

Pereira, L., Sapkota, M., Alonge, M., Zheng, Y., Razifard, H., Taitano, N.K., Fernie, M. C. S., Ying Wang, A. R., Fei, Zh., Caicedo TIeman, A.L., & Knaap1, E. van der. (2021). Natural Genetic Diversity in

Tomato Flavor Genes.
Rick, C.M., & Holle, M. (1990). Andean *Lycopersicon esculentum* var. cerasiformie. genetic variation and its evolutionary significance. *Economic Botany, 44(3), 69-78.*
Research and Markets (2022). Tomato seeds global market report.
Yap, T.C., & Harvey, B.L. (2013). Inheritance of yield components and morphophysiological traits in barley (Hordeum vulgare L.). *Crop Sci*, 12, 283-286.
Sekhar, L., Prakash, B. G., Salimath, P. M., Hiremath, C. P., Sridevi, O., & Patil, A. A. (2010). Implications of heterosis and combining ability among productive Single cross hybrids in tomato. *In Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), 706–711.
Srivastava, K., Kumari, K., Singh, S., & Kumar, R. (2013). Association studies for yield and its component traits in tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *Plant Archives*, 13(1), 105-112.
Samadia, D. K., Aswani, R. C., & Dhandar, G. (2006). Genetic analysis for yield components in tomato land races. *Haryana Journal of Hortiicul Science*, 35(1-2), 116-119.
Terzopoulos, P.J., & Bebeli, P.J. (2008). DNA and morphological diversity of selected Greek tomato *(Solanum lycopersicum L.)* landraces. *Scientia Horticulturae*, 116(4), 354-361. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.010.
Tembe, K.O., Chemining'wa, G., Ambuko, J., & Owino, W. (2018). Evaluation of African tomato landraces *(Solanum lycopersicum)* based on morphological and horticultural traits. *Agriculture and Natural Resources*, 52(6), 536-542. https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.014.
Tsagaye, D., Gedebo, A., & Aklilu, Sh. (2019). Multivariate Studies for Fruits Yield and Quality Components in Diverse Tomato (*Lycopersicon Esculentum* MILL) Genotypes. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 6(6), 2348 – 3997.
Weising, K., Atkinson, R.G., & Gardner, R.C. (1995). Genomic fingerprinting by microsatellite-primed PCR: A critical evaluation. *Genome Research*, 4, 249-25.
Zhou, R., Wu, Z., Cao, X., & Jiang, F.L. (2015). Genetic diversity of cultivated and wild tomatoes revealed by morphological traits and SSR markers. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 13868-13879. http://dx.doi.org/10.4238/2015.October.29.7.

Extended Abstract

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most widely grown vegetables in the world, with special importance due to its large consumption and high health and nutritional values, both for fresh and processing markets. Approximately 182.2 million tons of tomato is produced worldwide on more than 5.7 million hectares (Heuvelink et al., 2020; FAOSTAT, 2021). Currently, this vegetable accounts for 25% of total vegetable production in the world (Failian et al. 2013). Traditional breeding methods have yielded varieties with notable performance traits. Given the increasing population demands in the world especially Asia, high productivity remains the primary goal of tomato improvement programs. Fundamental fruit performance traits include fruit weight, fruit number per plant and fruit set efficiency (the ratio of flowers which are setting fruits). Moreover, fruit quality significantly affects consumer preference and determines the final product price. This study focuses on exploring the relationship among yield, its components and fruit quality traits in tomato lines, given the need for genetic diversity enhancement and utilization in tomato breeding programs.

Materials and methods

In this study 650 tomato lines of tomato were compared in terms of yield, fruit quality and morphological traits. In addition, the heritability of various traits was assessed. The experiment was conducted at College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, in spring and summer of 2022.

Plant materials included 650 lines from the sixth generation resulting from self-pollination of commercial hybrid varieties, along with four control varieties; Bedero, Brivio, 8320, and Matin. Morphological measurements aimed to assess diversity for various agricultural traits, including fruit and plant appearance. Seeds were germinated in trays in greenhouse with controlled conditions and then transplanted to the field. Evaluation was performed in augmented with randomized complete block design. Among 650 tomato lines, 164 were selected based on resistance to viruses, fungi, and pests, plant uniformity, fruit shape, firmness, taste, and other fruit quality traits. Various traits related to plant architecture, fruit yield and quality were measured throughout the growing season, including number of inflorescences per plant, number of flowers per inflorescence, number of fruits per inflorescence, sunscald (%), joint calyx (%), fruit length, fruit width, pricarp thickness, number of locules, pH, titratable acidity, Brix degree, shelf life, fruit number per plant, single plant yield, single fruit weight and days to harvest. Statistical analyses included variance analysis and calculation of descriptive statistics and heritability for all traits. Principal component analysis, cluster analysis, and biplot were carried out for data reduction and visualization.

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that there were significant difference among control cultivars for all traits except shelf life, days to harvest, TA, Brix, and pH. The range of single-plant yield variation was very high among 164 lines, ranging from 1.21 to 6.43 kilograms per plant. Estimation of variance components indicated that among the studied traits, single-plant yield and days to harvest were more influenced by the environment, as they showed low genetic variance values. Conversely, sunscald (%), joint calyx (%), and number of locules were less influenced by the environment as showed the highest genetic variance. The highest coefficients of genotypic and phenotypic diversity were attributed to sunscald (%), joint calyx (%), TA, and number of locules, respectively. The existing correlation coefficients between traits showed that the number of fruit per plant (0.730), pricarp thickness (0.409), number of inflorescences per plant (0.382), single fruit weight (0.248), and number of locules (0.223) had significant positive correlations at the 1% level with single-plant yield. Stepwise regression analysis showed that number of fruit per plant and single fruit weight explained 96% of the single-plant yield variation. Based on cluster analysis, the studied tomato lines were divided into three groups. The first group was the largest cluster, comprising 64 lines (41.5%). This cluster, with above-average value for single-plant yield, consisted of highly productive lines. Principal component analysis results showed that only the first two components in PCA had eigen values higher than 1, indicating a cumulative variance of 67.36%.

Based on the present study results, single-plant yield, number of inflorescences per plant, number of flowers per inflorescence, number of fruits per inflorescence, number of fruits per plant, and single fruit weight are important for improving the morphological and qualitative traits of tomato fruit. Therefore, these traits can be utilized for parent selection in hybridization programs aimed at broadening the genetic base in the population and also for the development of F1 hybrids.

Conclusion

In this study, 164 tomato lines were examined based on morphological traits. The results of variance analysis indicated the high genetic diversity among the evaluated lines, and these results can be beneficial for improving the measured agronomic traits. On the other hand, the measured traits in this study also showed good potential for investigating genetic diversity within the studied population.