The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

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

Mahnaz Hatamifard[1], Mahmoud Lotfi[2], Hossein Ramshini[3]✉

1. Department of Agronomy and Plant breeding, Agricultural College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: hatami.fard@ut.ac.ir
2. Department of Horticulture Sciences, Agricultural College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: mlotfi@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant breeding Sciences, Agricultural College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: ramshini_h@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 8 April 2024

Received in revised form: 17 July 2024

Accepted: 22 July 2024

Published online: Atumn 2024

Keywords:

Cluster analysis,

Descriptive statistics,

Heritability,

Principal component analysis.

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 (%), persistent calyx in fruits (%), shelf life, titratable acidity (TA), the number of fruits per plant, single-plant yield and the number of fruit locules among the lines, so it is possible to select the best lines with high efficiency 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 (%), persistent calyx in fruits (%) 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.

Cite this article: Hatamifard, M., Lotfi, M. & Ramshini, H. (2024). Heritability and genetic diversity of agronomic traits, yield and fruit quality of 650 F6 generation lines in tomato. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (3), 475-494. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373756.2160

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373756.2160

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. Currently, this vegetable accounts for 25% of total vegetable production in the world. 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 cultivar; 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 a 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 (%), persistent calyx in fruits (%), 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 (%), persistent calyx in fruits (%), 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 (%), persistent calyx in fruits (%), 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 results of the present study, 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.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۵، شماره ۳

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

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

مهناز حاتمی فرد[۱] | محمود لطفی[۲] | حسین رامشینی[۳]✉

۱. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: hatami.fard@ut.ac.ir

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: mlotfi@ut.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات – دانشکدگان ابوریحان– دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: ramshini_h@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

تجزیه خوشه‌ای، آماره‌های توصیفی، وراثت‌پذیری، تجزیه به مولفه‌های اصلی.

چکیده

این مطالعه به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای آن، 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 در صفات آفتاب‌سوختگی، کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، ماندگاری، اسیدیته کل، تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته و تعداد حفره میوه در بین لاین‌های این مطالعه وجود دارد، 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.

استناد: حاتمی فرد، مهناز؛ لطفی، محمود و رامشینی، حسین (۱۴۰۳). وراثت پذیری و تنوع ژنتیکی صفات زراعی، عملکرد و کیفیت میوه در ۶۵۰ لاین نسل F6 گوجه فرنگی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۳)، ۴۹۴-۴۷۵. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373756.2160

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373756.2160

مقدمه

گوجه‌فرنگی‌های اهلی متعلق به گونه *Solanum lycopersicum*، یکی از ۳۰۰۰ گونهٔ تیره *سیب‌زمینی*، هستند (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 (FAO, 2022). 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 داشته‌اند (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 (Research and Markets, 2022). شرکت‌های بزرگ بذر گوجه‌فرنگی در آمریکای شمالی قرار دارند، درحالی‌که 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. این کشورها در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۶۴/۸۷ میلیون تن و ۲۰/۵۷ میلیون تن گوجه فرنگی تولید کردند (FAO, 2022). بنابراین، کشورهای آسیایی نیاز به واردات حجم زیادی بذر گوجه فرنگی از شرکت‌های آمریکایی دارند. تفاوت در نیازها و منابع بذر گوجه‌فرنگی در آسیا، نیازمند حضور شرکت‌هایی است که بذرهای با کیفیت و با رشد سریع ارائه می‌دهند.

بهبود بهره‌وری و کیفیت گوجه‌فرنگی برای دستیابی به عملکرد بالاتر و برآورده ساختن نیازهای صنعت یا مصرف کننده نیازمند تحقیقات زیادی است. با توجه به تقاضای زیاد در کشورهای آسیایی پر جمعیت، بهره‌وری بالا هدف اصلی اکثر برنامه‌های اصلاح گوجه‌فرنگی است. عملکرد اساساً توسط کارایی تشکیل میوه و اندازه میوه در گوجه‌فرنگی تعیین می‌شود. این صفات را می‌توان در مزرعه با اندازه‌گیری وزن میوه، تعداد گل‌آذین، درصد میوه تشکیل شده در گل‌آذین و تعداد کل میوه اندازه‌گیری کرد (de Souza *et al.*, 2012). کیفیت بالای میوه برای مصرف کننده نهایی بسیار مهم است و تعیین کننده قیمت گوجه‌فرنگی در بازار است. 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 حفظ و نگهداری منابع ژنتیکی است (Terzopoulos & Bebeli 2008; 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 & 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 (Nankar *et al.*, 2020). 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 (Shukla *et al.*, 2010). 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). 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 ۱۳۹۵ 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.

پیشینه پژوهش

در پژوهشی روی ۱۱ رقم گوجه‌فرنگی نشان داده شد که عملکرد میوه با میانگین وزن میوه، تعداد میوه در هر بوته و ضخامت پریکارپ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (Kumari *et al.*, 2016). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با تعداد میوه در هر خوشه و تعداد میوه در هر بوته در ۲۶ رقم دیگر گوجه فرنگی نیز به‌دست آمده است (Kumari *et al.*, 2016). تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز توسط محققان مختلف در توصیف خصوصیات ژنتیکی لاین‌های گوجه‌فرنگی برای عملکرد و صفات کیفی به کار گرفته شده است (Agong *et al*., 2001; Osei *et al*., 2014; Tembe *et al.*, 2018). غالب مطالعات مذکور روی صفات مهمی نظیر تعداد خوشه، تعداد روز تا رسیدن میوه، وزن میوه، عملکرد میوه و طول و عرض میوه بوده است، بهره‌برداری از چنین صفاتی، یافته‌های تحقیقی و دانش اصلاحگر را در زمینه تنوع ژنتیکی افزایش می‌دهد. گوجه‌فرنگی به دلیل تنوع ژنتیکی گسترده، دارای ژنوتیپ‌هایی با عملکردهای متفاوت است. در مطالعه‌ای، عملکرد و اجزای آن در ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی بررسی شد. نتایج نشان داد که بین لاین‌ها از نظر صفات مورفولوژیکی تفاوت معنی‌داری وجود دارد و دو مؤلفه اول ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی را توجیه می‌کنند. تجزیه خوشه‌ای نیز لاین‌ها را به ۹ گروه تقسیم کرد که برخی گروه‌ها از نظر عملکرد، زودرسی و تعداد میوه در بوته برتر بودند (GolCheshmeh *et al.*, 2022).

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 . در این تحقیق چهار رقم Bedero، Brivio، 8320 (شرکت سمینیس) و Matin (شرکت هایزر) به عنوان ارقام شاهد انتخاب شدند. هیبریدهای انتخاب شده به عنوان والدین دارای یکنواختی مناسب در فرم و شکل میوه، سفتی میوه، وزن میوه (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 و باردهی به مراتب طولانی بودند. ارقام شاهد از ارقام تجاری مرسوم در کشور و همگی خارجی هستند.

محل انجام آزمایش

این آزمایش به‌منظور مقایسه لاین‌های مختلف از نظر 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 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 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[1] 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 تعداد کل بوته‌های باقیمانده)، تعداد گل در هر گل‌آذین (میانگین تعداد گل در هر گل‌آذین در سه بوته از تعدا کل بوته های باقیمانده)، تعداد میوه در هر گل‌آذین (میانگین تعداد میوه سه بوته از تعدا کل بوته های باقیمانده)، آفتاب سوختگی (به صورت درصد در ۱۰۰ میوه تصادفی برداشت شده)، درصد کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه (به صورت تصادفی در ۱۰۰ میوه برداشت شده)، عملکرد تک بوته (کیلوگرم در بوته)، 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)،پی‌اچ (pH متر)، اسیدیته قابل تیتراسیون (۱۰ میلی‌لیتر از عصاره گوجه فرنگی با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال با استفاده از تیتراسیون تا نقطه پایانی pH=8.20 تیتر شد) ماندگاری میوه (ماندگاری ۵ میوه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) و قند میوه (بر حسب درجه بریکس با دستگاه رفراکتومتر) طبق دستورالعمل اتحادیه بین‌المللی حمایت از ارقام گیاهی در طول فصل و زمان برداشت[2] میوه‌ها اندازه گیری شد (UPOV, 2001).

آنالیز آماری

تجزیه واریانس برای ارقام شاهد از نظر متغیرهای مورد بررسی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای کلیه صفات مربوط به شاهدهای ۹ بلوک انجام شد. 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. برای صفات شمارشی از توزیع پواسون (جدول ۲) و برای صفات کمی (جدول ۱) از توزیع نرمال استفاده شد تا برآورد تفاوت های معنی‌دار و غیر معنی‌دار 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 تمام صفات محاسبه گردید.

1 Alternaria Solani
2 UPOV

ضریب تغییرات که نشان‌دهنده دقت در اندازه‌گیری، یکنواختی ماده آزمایشی و تاثیر کم عوامل محیطی می‌باشد برای کلیه صفات بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید (Daftarian & Golabadi, 2017).

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

در این رابطه CV: ضریب تغییرات؛ MSe: واریانس خطا و $\bar{Y}$: میانگین کل است.

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 (رابطه‌های ۲ تا ۶) (Hamidi *et al*., 2023). 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، مقادیر هر صفت در لاین‌های مورد مطالعه نیازی به تصحیح نداشتند. از آنجا که اثر بلوک برای صفات مختلف معنی دار نشد، از میانگین های صفات بدون تصحیح مقادیر اندازه گیری شده در لاین های مورد بررسی برای انجام سایر تجزیه و تحلیل های آماری استفاده شد (Hamidi *et al*., 2023).

$$V_G = V_P - V_E$$ رابطه ۲)

$$V_E = MSe$$ رابطه ۳)

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

در این رابطه‌ها، 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:

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

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

در این رابطه‌ها CVg: ضریب تنوع ژنوتیپی؛ CVp: ضریب تنوع فنوتیپی؛ V_G: واریانس ژنوتیپی و VP: واریانس فنوتیپی است

پس از محاسبه ضرایب همبستگی میان صفات مورد 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.

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). براساس نتایج جدول ۱، اثر ژنوتیپ در تجزیه واریانس برای کلیه صفات به جز

ماندگاری، روز تا برداشت، اسید قابل تیتراسیون، درجه بریکس و پی‌اچ معنی‌دار بود. این موضوع نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام شاهد مورد ارزیابی از نظر اکثر صفات مورد مطالعه است.

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 متغیر بود. ذکر این نکته لازم 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 ۲۴۲، ۴۹۵، ۱۷ و ۸۵ با عملکرد بالای ۶ کیلوگرم در بوته نسبت به لاین‌های دیگر، همچنین نسبت به ارقام شاهد تجاری برتر بودند. در مقابل لاین ۹۳ با ۱/۲۱ کیلوگرم در بوته در رتبه آخر قرار داشت. لاین‌های برتر از نظر 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 از مقادیر 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 این مطلب را نشان می‌دهد. 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، اسید قابل تیتراسیون ، 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 پی‌اچ 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 شیرین‌تر گزینش شده باشد. بنابراین از نظر این دو صفت تنوع زیادی در جمعیت وجود ندارد. ضریب تنوع ژنتیکی کم در صفات پی‌اچ (۲/۳۲ درصد) و روز تا برداشت (۲/۳۷ درصد) قبلا نیزگزارش شده است (Daftarian & Golabadi, 2017; Mustafa *et al.*, 2016)

جدول۱. تجزیه واریانس ارقام شاهد (ANOVA) در طرح آگمنت برای صفات کمی اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات/صفات	درجه آزادی	ماندگاری	تعداد گل‌آذین در هر بوته	طول میوه (میلی‌متر)	عرض میوه (میلی‌متر)	قطر گوشت (میلی‌متر)	کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (درصد)	آفتاب‌سوختگی میوه (درصد)
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 (درصد)	–	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	اسیدیته	اسیدیته قابل تیتراسیون	بریکس (درجه بریکس)	تعداد میوه در هر بوته	عملکرد تک بوته (کیلوگرم در بوته)	وزن تک میوه (گرم)	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 (درصد)	–	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 گل‌آذین	تیمار	۱/۷۱۰	۳	۰/۶۳۴
	بلوک	۰/۳۷	۸	۱/۰۰۰
تعداد میوه در هر گل‌آذین	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	میانگین	کمینه	بیشینه	دامنه	واریانس	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
تعداد گل‌آذین 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 (درصد)	۲/۹۹۰	۰	۳۰	۳۰	۲۸/۷۹۹	۵/۳۶۶	۱۷۹/۴۵۲
کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (درصد)	۴۰/۷۹۳	۰	۹۰	۹۰	۹۹۸/۹۳۱	۳۱/۶۰۵	۷۷/۴۷۷
طول میوه (میلی‌متر)	۶/۱۱۹	۳/۵	۸/۴	۴/۹	۰/۸۳۹	۰/۹۱۶	۱۴/۹۷۲
عرض میوه (میلی‌متر)	۵/۹۳۹	۴/۳	۷/۷	۳/۴	۰/۶۳۰	۰/۷۹۳	۱۳/۳۶۴
قطر گوشت (میلی‌متر)	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
اسیدیته	۴/۶۴۹	۴/۰۹	۵/۴۳	۱/۳۴	۰/۰۵۷	۰/۲۳۹	۵/۱۵۰
اسیدیته قابل تیتراسیون	۱۱/۰۲۴	۳/۱	۲۳/۹	۲۰/۸	۱۶/۰۱۴	۴/۰۰۱	۳۶/۳۰۱
بریکس (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
تعداد میوه در هر بوته	۳۳/۸۱۴	۷/۵۷۱	۸۱/۳۰۶	۷۳/۷۳۵	۱۶۶/۸۷۱	۱۲/۹۱۷	۳۸/۲۰۲
عملکرد تک بوته (کیلوگرم در بوته)	۳/۶۴۲	۱/۲۱۲	۶/۴۳۱	۵/۲۱۸	۱/۵۹۱	۱/۲۶۱	۳۴/۶۳۹
وزن تک میوه (گرم)	۰/۱۱۲	۰/۰۴۶	۰/۱۸۸	۰/۱۴۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۹	۲۵/۹۰۱
روز تا برداشت	۴۴/۷۱۱	۳۵/۸۲۸	۵۲/۹۷۲	۱۷/۱۴۴	۸/۵۱۹	۲/۹۱۸	۶/۵۲۸

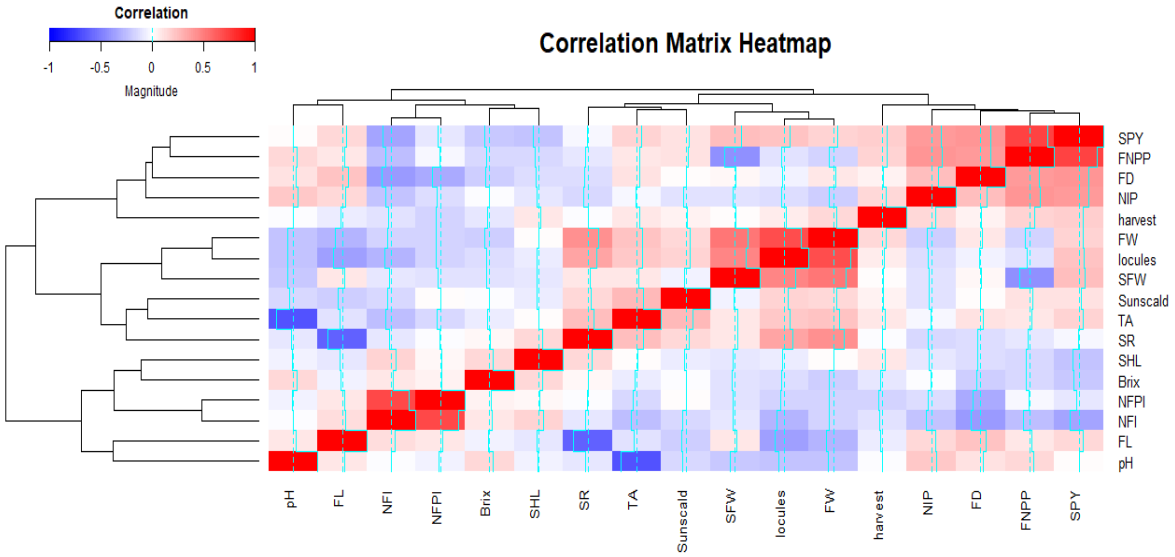
جدول۴. اجزای واریانس، وراثت‌پذیری و ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مورد بررسی در لاین‌های گوجه‌فرنگی

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

همبستگی فنوتیپی صفات کمی گوجه‌فرنگی

نتایج همبستگی صفات بر مبنای کلیه ژنوتیپ‌ها نشان داد (شکل ۱) که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد تک بوته با سایر صفات در سطح احتمال یک درصد 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) و در سطح احتمال پنج درصد مربوط به صفات تاریخ برداشت (۰/۱۸۵)، اسید قابل تیتراسیون (۰/۱۷۱)، عرض میوه (۰/۱۷۱) و طول میوه (۰/۱۵۹) بود. 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 پی‌اچ با اسید قابل تیتراسیون همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۶۶۶) نشان دادند، بدین معنا که هرچقدر میزان اسیدیته (پی‌اچ) یک میوه پایین باشد، میزان بیشتری باز هیدورکسید سدیم 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 کرد 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 می‌شود. نتایج حاصله با تجزیه همبستگی ساده صفات مطابقت داشت، به‌طوری که صفت تعداد میوه در هر بوته که زودتر وارد مدل شده است همبستگی مثبت و بسیار بالایی (۰/۷۳۰) با عملکرد تک بوته داشت.

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	R^2 نسبی	R^2 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 تمام صفات مورفولوژیکی مورد بررسی و کیفیت میوه ، سه خوشه مجزا (شکل ۲) شناسایی کرد. برای نشان دادن ارزش هر یک از این خوشه‌ها از نظر ۱۷ صفت اندازه‌گیری شده، درصد انحراف میانگین خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد (جدول ۶). این انحرافات تا حدی می‌تواند نشان دهنده وجود تنوع در ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی باشد. گروه اول بزرگ‌ترین خوشه و شامل ۶۴ لاین (۴۱/۵۵ درصد) است. مقادیر صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، آفتاب سوختگی میوه‌ها، طول میوه، قطر گوشت، پی‌اچ، عملکرد تک بوته، وزن تک میوه و تعداد میوه در هر بوته ژنوتیپ‌های این گروه بالاتر از میانگین کل و همچنین بالاتر از مقادیر آنها در خوشه 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 خوشه با داشتن انحراف از میانگین بالا برای صفت عملکرد تک بوته، دارای لاین‌های پر محصول بود. بنابراین، با توجه به خصوصیات این خوشه می‌توان برای افزایش عملکرد میوه، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه از ژنوتیپ‌های این خوشه 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) است که از نظر صفات تعداد گل‌آذین در هر بوته، تعداد گل در هر گل‌آذین، کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، تعداد حفره، اسید قابل تیتراسیون و درجه بریکی، بالاتر از میانگین کل و از نظر صفات تعداد میوه در هر گل‌آذین، آفتاب‌سوختگی، طول میوه، عرض میوه، قطر گوشت، پی‌اچ، ماندگاری، تعداد میوه در هر بوته، عملکرد تک بوته و وزن تک میوه پایین‌تر از میانگین کل هستند. کم بودن میانگین عملکرد خوشه 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 خوشه به صفت ماندگاری و بیشترین اختلاف مثبت آن از میانگین کل به صفت بریکس مربوط می‌شد.

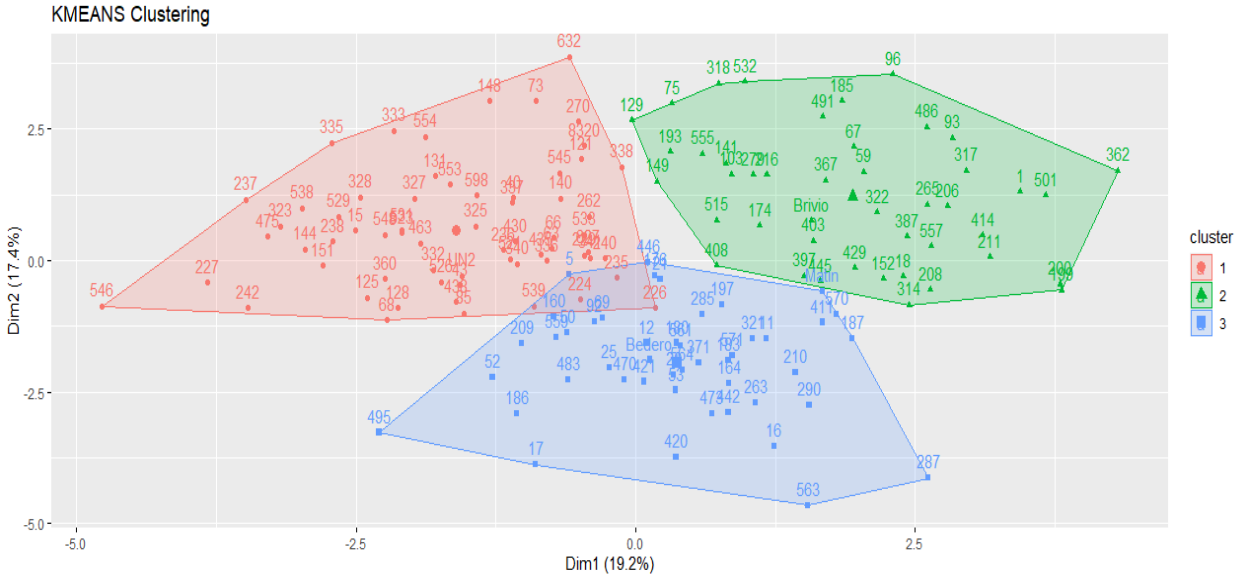
گروه سوم شامل ۴۶ لاین (۲۹/۸۷ درصد) است که از خصوصیات بارز آنها نسبت به دو گروه دیگر داشتن ماندگاری بالا می‌باشد. در این گروه مقادیر صفات کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه، عرض میوه، تعداد حفره، ماندگاری، تعداد میوه در هر بوته و وزن تک میوه بیشتر از میانگین کل است. در برنامه‌های اصلاحی، با توجه به گروه‌بندی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

جدول ۶. میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر

خوشه	تعداد گل‌آذین در هر بوته	تعداد گل در هر گل‌آذین	تعداد میوه در هر گل‌آذین	آفتاب‌سوختگی (درصد)	کاسبرگ باقیمانده بر روی میوه (درصد)	طول میوه (میلی‌متر)	عرض میوه (میلی‌متر)	قطر گوشت (میلی‌متر)
۱	۴/۳۰۴^{b}	۳/۵۵۰^{b}	۴/۶۹۱^{a}	۶۰/۸۴۱^{a}	۵/۶۷۰^{c}	۶/۵۴۷^{a}	۰/۶۹۹^{b}	۴/۶۴۰^{a}
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}	۳۱/۵۷۵^{b}	۶/۳۵۴^{b}	۵/۴۷۳^{b}	۰/۶۰۱^{c}	۲/۹۳۹^{c}
انحراف از میانگین	۰/۸۴۶	۰/۳۹۵	−۱/۵۸۷	−۴/۶۶۲	۰/۰۷۱	−۰/۴۳۶	−۰/۰۹۲	−۰/۷۱۵
۳	۴/۵۱۴^{b}	۳/۷۷۷^{b}	۲/۶۱۳^{ab}	۱۶/۲۹۴^{c}	۶/۸۲۳^{a}	۵/۷۰۵^{b}	۰/۷۷۹^{a}	۳/۳۸۱^{b}
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 ۶. میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر

خوشه	تعداد حفره	اسیدیته	اسیدیته قابل تیتراسیون	بریکس (درجه بریکس)	ماندگاری	تعداد میوه در هر بوته	عملکرد تک بوته (کیلوگرم در بوته)	وزن تک میوه (گرم)
۱	۴/۵۶۱^{b}	۱۲/۶۶۷^{a}	۴/۴۵۶^{b}	۱۶/۳۶۱^{b}	۳۲/۴۱۵^{b}	۳/۷۹۳^{b}	۰/۱۲۲^{a}	۴۵/۲۲۳^{a}
انحراف از میانگین	−۰/۱	۱/۹۷۸	−۰/۱۳۵	−۰/۲۵	−۱/۶۷۲	۰/۱۷۴	۰/۰۱۱	۰/۶۸
۲	۴/۶۷۸^{a}	۹/۰۰۲^{b}	۴/۸۳۵^{b}	۱۹/۲۱۲^{a}	۲۴/۸۴۲^{c}	۲/۴۵۱^{c}	۰/۱۰۲^{b}	۴۳/۶۲۰^{b}
انحراف از میانگین	۰/۰۱۷	−۱/۶۸۷	۰/۲۴۴	۲/۶۰۱	−۹/۲۴۵	−۱/۱۶۸	−۰/۰۰۹	−۰/۹۲۳
۳	۴/۷۴۴^{a}	۱۰/۳۹۷^{b}	۴/۴۸۰^{a}	۱۴/۲۶۰^{b}	۴۵/۰۰۲^{a}	۴/۶۱۲^{a}	۰/۱۰۷^{b}	۴۴/۷۸۶^{a}
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

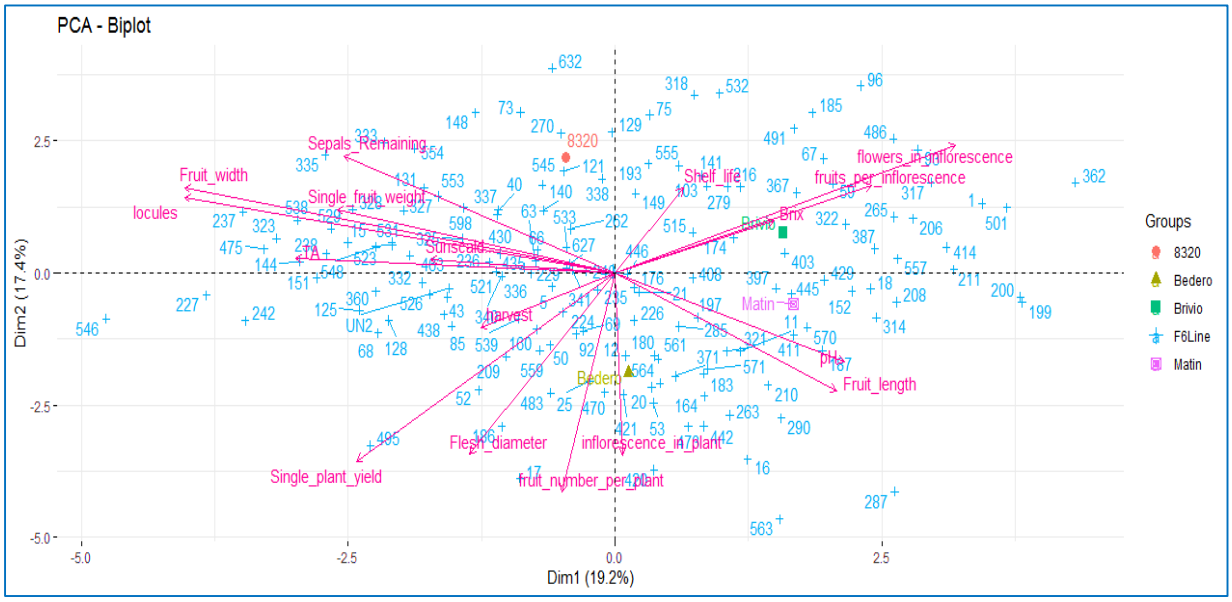
در این مطالعه تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس ۱۷ صفت در ۱۶۴ لاین گوجه‌فرنگی انجام شد. با در نظر گرفتن مقادیر ویژه بالای یک، شش مؤلفه اول در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (جدول۷). مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک در یک مؤلفه نشان‌دهنده آن است که آن مؤلفه، واریانس بیشتری را نسبت به یک متغیر انفرادی برآورده 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 & 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 & Collins, 1988). بنابراین، در این مطالعه 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 بودند، 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 گرفت. 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. به‌طور کلی، صفات شناسایی شده در دو مؤلفه اصلی اول با واریانس تجمعی ۳۶/۶۷ درصد که حاکی از تأثیر آن صفات بر فنوتیپ لاین‌ها است 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، پی‌اچ، بریکس، 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). نتایج حاصل از نمودار بای پلات نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین صفات تعداد گل با تعداد میوه در هر گل‌آذین و عرض میوه با تعداد حفره بود (شکل۴).

جدول ۷. واریانس تجمعی، سهم واریانس هر مولفه و واریانس کل حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی لاین‌های گوجه‌فرنگی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

مؤلفه	واریانس تجمعی	سهم واریانس هر مؤلفه	واریانس کل
اول	۱۹/۲۶۸	۱۹/۲۶۸	۳/۲۷۶
دوم	۳۶/۶۷۴	۱۷/۴۰۶	۲/۹۵۹
سوم	۴۶/۱۰۹	۹/۴۳۵	۱/۶۰۴
چهارم	۵۵/۱۹۹	۹/۰۸۹	۱/۵۴۵
پنجم	۶۲/۶۶۰	۷/۴۶۲	۱/۲۶۹
ششم	۶۹/۳۲۴	۶/۶۶۴	۱/۱۳۳

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

صفات	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم
تعداد گل‌آذین در هر بوته	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
آفتاب‌سوختگی (درصد)	۰/۰۶۸	-۰/۱۴۸	۰/۲۲۱	۰/۰۲۴	۰/۲۰۶	-۰/۲۸۵
کاسبرگ باقیمانده در هر میوه (درصد)	۰/۰۱۷	۰/۰۱۱	۰/۳۸۵	۰/۰۳۶	-۰/۰۵۴	۰/۰۵۱
طول میوه (میلی‌متر)	۰/۰۱۱	۰/۰۹۳	-۰/۴۶۰	۰/۰۰۸	۰/۰۸۲	۰/۰۰۲
عرض میوه (میلی‌متر)	۰/۰۴۰	۰/۳۲۴	۰/۱۱۶	۰/۳۳۰	-۰/۰۵۲	۰/۰۵۲
قطر گوشت (میلی‌متر)	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
اسیدیته	۰/۰۵۸	-۰/۰۲۱	۰/۱۳۸	-۰/۰۵۵	-۰/۵۱۷	-۰/۰۶۰
اسیدیته قابل تیتراسیون	۰/۰۰۱	-۰/۰۸۵	-۰/۰۳۶	-۰/۰۷۵	۰/۵۱۱	۰/۰۷۱
بریکس (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 (کیلوگرم در بوته)	۰/۳۷۴	۰/۱۳۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۹۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۲۲
وزن تک میوه (گرم)	-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



شکل۴. 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 بررس های پیشین در لاین‌های گوجه‌فرنگی نشان داده است که در میان تمامی لاین‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی وجود دارد (GolCheshmeh *et al*., 2022; Nezami *et al*., 2020). 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. در مطالعه ای بر روی ۱۴ رقم گوجه‌فرنگی، پارامترهای وراثت‌پذیری (۹۹/۹ درصد)، ضریب تغییرات ژنوتیپی (۵۸/۰۴) و ضریب تغییرات فنوتیپی (۵۸/۰۱) اندازه‌گیری شد. همچنین، میانگین وزن میوه (۵۱/۶ گرم) در دامنه ای از ۱۹/۴ تا ۱۲۲/۴ گرم برآورد شد (Samadia *et al*., 2006). 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. در یک بررسی ارتباط صفات مختلف با عملکرد میوه، ۱۶ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی از نظر ۲۰ صفت مختلف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تعداد میوه در بوته، با بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد میوه، مهم‌ترین جزء عملکرد می‌باشد (Ghorbanpour *et al*., 2017) . در بررسی ۹۷ توده گوجه‌فرنگی جمع‌آوری‌شده از منطقه شرق آناتولی ترکیه و شمال غرب ایران به همراه سه رقم تجاری، همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با وزن میوه، طول و قطر میوه مشاهده شد (Henareh *et al*., 2015). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد میوه گوجه فرنگی با میانگین وزن میوه و تعداد میوه در هر بوته (Kumari *et al*., 2016) و عملکرد در هر گیاه با تعداد میوه در هر بوته (Srivastava *et al*., 2013)، عملکرد با تعداد گل و میوه در بوته، طول و قطر میوه و وزن میوه (Islam *et al*., 2010) در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است. 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. در بررسی ۱۳ رقم تجاری گوجه فرنگی، یک همبستگی مثبت و معنی‌دار صفت تعداد گل در گل‌آذین با تعداد میوه در گل‌آذین (۰/۶۹) بدست آمد، از طرف دیگر صفات پی‌اچ و بریکس نیزهمبستگی مثبت و معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند (Daftarian & Golabadi, 2017)که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد بنابراین، انتخاب برای عملکرد میوه بالاتر، منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با کیفیت میوه بالاتر در بین 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 لاین‌هاست. 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 داشتند، بنابراین می‌توانند به طور مؤثر برای انتخاب در میان لاین‌های مورد مطالعه استفاده شوند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای آن روی ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی نشان داده است که دو مؤلفه اصلی اول، در مجموع ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کردند 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 داشتند (GolCheshmeh *et al*., 2022)،که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. Tsagaye *et al*. (2019) 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 (پی‌اچ)، مؤلفه چهارم (تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد میوه در هر بوته و عملکرد میوه) بودند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در مطالعه ۳۰ ژنوتیپ گوجه فرنگی با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس ۲۰ صفت مورد مطالعه، شش مؤلفه اصلی بیشتر از یک، مقدار ویژه با تغییرپذیری ۷۸/۷۳ درصد تشکیل دادند و برای اطلاعات مرتبط بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. سهم مؤلفه های PC1، PC2، PC3، PC4، PC5 و PC6 به ترتیب ۲۵، ۱۷، ۱۳، ۹، ۸ 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 (Mukul *et al*., 2022) که از نظر صفات تعداد خوشه (گل‌آذین) در هر بوته، تعداد حفره و عملکرد میوه در هر بوته با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. Prakash & Vijay (2017) 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. بالاترین سهم تنوع (۲۸/۲۸ درصد) متعلق به مولفه اول بود. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، برگ‌های بوته و تعداد گل‌آذین در هر بوته بیشترین رتبه را در مولفه اول داشتند. Pradhan et al. (2011) 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.

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 استفاده کرد. از طرفی صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه نیز پتانسیل خوبی را برای بررسی تنوع ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه داشتند. اما از آنجا 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. لاین‌های ۴۹۵، ۱۷ و ۸۵ نیز با دارا بودن عملکرد تک بوته زیاد می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اول ۳۶/۲ درصد از تنوع فنوتیپی کل را در بین داده‌ها توجیه کردند و صفات شناسایی شده در این دو مولفه نشان از تاثیر قابل توجه آن‌ها بر فنوتیپ ارقام دارد.

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. (۱۴۰۱). بررسی تنوع مورفولوژیکی و ارزیابی عملکرد لاین‌های گوجه فرنگی با استفاده از تجزیه 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)، ۱۰۲۵-۱۰۱۱.

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.

Cappetta, E., Andolfo, G., Di Matteo, A., Barone, A., Frusciante, L., & Ercolano, M. R. (2020). Accelerating tomato breeding by exploiting genomic selection approaches. *Plants*, *9*(1), 12–36. https://doi.org/10.3390/plants9010012

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. (In Persian).

de Souza, L. M., Melo, P. C. T., Luders, R. R., & Melo, A. M. T. (2012). Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Horticultura Brasileira*, *30*(4), 627–631. https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400011

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *FAOSTAT*. Retrieved July 30, 2024,from https://www.fao.org/faostat/en/#home

Feyissa, G.F., & Bessie, S. (2019). Major types of risk sources perceived by tomato producing small holder 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.

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.

GolCheshmeh, 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. (In Persian).

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

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. https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/asphc/

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. https://doi.org/10.3329/BJPBG.V23I1.9313

International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2001). *Tomato (Lycopersicon lycopersicum L.)*. UPOV Code: TG/44/10. Geneva, Switzerland. Retrieved July 30, 2024, from https://www.upov.int/portal/index.html.en

Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: A phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany*, *53*(377), 2001–2022. https://doi.org/10.1093/jxb/53.377.2001

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., & 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. https://doi.org/10.5555/20173103564

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. (In Persian)

Mukul, S., Sandhya, 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. Retrieved from http://www.thepharmajournal.com

Mustafa, M., Syukur, M., Sutjahjo, S. H., & Sobir. (2016). Estimation of genetic parameters, correlation, and genetic relationship of tomatoes genotype in lowland. *Agrotech Journal ATJ, 1*(1), 19–25, ISSN: 2548-5121. Retrieved from http://usnsj.com/index.php/ATJ/article/view/ATJ004

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. (In Persian)

Nankar, A. N., Tringovska, I., Grozeva, S., Ganeva, D., & Kostova, D. (2020). Tomato phenotypic diversity determined by combined approaches of conventional and high-throughput tomato analyzer phenotyping. Plants, 9(2), 197. https://doi.org/10.3390/plants9020197

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.

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. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/361844304

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. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/328717389

Research and Markets. (2022). *Tomato seeds global market report*. Retrieved July 30, 2024,from https://www.researchandmarkets.com/

Samadia, D. K., Aswani, R. C., & Dhandar, G. (2006). Genetic analysis for yield components in tomato land races. *Haryana Journal of Horticultural Science*, *35*(1–2), 116–119. Retrieved from https://books.google.com/books/about/Haryana_Journal_of_Horticultural_Science.html?id=-TxMAAAAYAAJ

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. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/257410511

Shukla, S., Bhargava, A., Chatterjee, A., Pandey, A. C., & Mishra, B. K. (2010). Diversity in phenotypic and nutritional traits in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor* L.), a nutritionally under-utilized crop. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*(1), 139–144. https://doi.org/10.1002/jsfa.3797

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. https://www.researchgate.net/publication/349162344

Yap, T. C., & Harvey, B. L. (2013). Inheritance of yield components and morpho-physiological traits in barley, Hordeum vulgare L. Crop Science, 12(3), 283–286. https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183X001200030008x