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

Estimation of phenotypic variance components, heritability, and relationships between fruit yield traits and photosynthetic characteristics in tomato

Maryam Nazary

PhD student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email address: nazary.maryam.1378@gmail.com

Azam Nikbakht Dehkordi

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

Ghasem Mohammadi-Nejad

Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: mohammadinejad@uk.ac.ir.

Sepideh Ghotbzadeh-Kermani

Assistant Professor, Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: sghotbzadeh@uk.ac.ir

Mehdi Mohayeji Nasrabadi

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

Abstract

Objective

This study aimed to investigate the relationship between fruit yield and photosynthetic and morphological traits in tomatoes and evaluate the genetic control of these traits. The ultimate goal was to identify genotypes with desirable characteristics that could improve fruit yield.

Materials and Methods

The experiment was conducted using a randomized complete blocks design (RCBD) with three replications in the research greenhouse of the Research Technology of Plant Production Institute at the Shahid Bahonar University of Kerman. A total of 25 tomato genotypes with diverse geographical origins and varying fruit shapes and colors were cultivated. The measured traits included the number of flowers per plant, number of fruits per plant, fruit yield, single fruit weight, number of sepals, fruit length, fruit width, days to maturity, chlorophyll content, intercellular CO_2 concentration, transpiration rate, stomatal conductance, photosynthesis rate, leaf length, petiole length, leaf width, and number of leaflets. In addition to variance analysis and mean comparisons, genetic and phenotypic correlations, coefficients of genetic and phenotypic, broad-sense heritability for each trait, and path analysis were performed to assess the direct and indirect effects of traits on fruit yield.

Results

The results showed that traits such as days to maturity, photosynthesis rate, fruit yield, and the number of flowers per plant exhibited the highest heritability. At the same time, stomatal conductance and petiole length displayed the lowest heritability. Moreover, genetic and phenotypic diversity for traits such as fruit yield, single fruit weight, number of sepals, photosynthesis rate, and number of flowers were more significant than other traits. Traits like fruit weight had a positive direct effect on fruit yield, while traits such as photosynthesis rate, petiole length, and leaf width negatively affected fruit yield.

Conclusion

This study highlighted the importance of the relationship between morphological, photosynthetic, and yield traits for improving tomato fruit yield. The results indicated that genotypes with traits such as increased single fruit weight, optimal stomatal conductance, and efficient regulation of photosynthetic processes can produce higher-yielding crops. The superior performance of the Ananasi genotype in yield traits, the Red Serrated genotype in morphological traits, and the Arya genotype in photosynthetic traits underscores their potential for use in breeding programs to enhance tomato fruit yield.

Keywords: Broad-sense heritability, genetic and phenotypic correlation, path analysis, phenotypic and genotypic coefficients.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Nazary M, Nikbakht A, Mohammadinejad Q, Mohayeji M (2024) Estimation of Phenotypic Variance Components, Heritability, and Relationships Between Fruit

Yield Traits and Photosynthetic Characteristics in Tomato. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 47-72.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (2), 47-72. DOI: 10.22103/gpb.2025.24271.1015
Received: March 26, 2024. Received in revised form: June 12, 2024.
Accepted: June 13, 2024. Published online: June 29, 2024.
Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.
© the authors

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

برآورد اجزای واریانس فنوتیپی، قابلیت توارث و روابط بین صفات عملکردی میوه و ویژگی‌های فتوسنتزی در گوجه‌فرنگی

مریم نظری رباطی

دانشجو دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: nazary.maryam.1378@gmail.com

اعظم نیک‌بخت دهکردی

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

قاسم محمدی‌نژاد

استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohammadinejad@uk.ac.ir

سپیده قطب‌زاده کرمانی

استادیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: sghotbzadeh@uk.ac.ir

مهدی مهیجی نصرآبادی

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۷ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

چکیده

هدف: این پژوهش به‌منظور بررسی ارتباط میان عملکرد میوه و صفات فتوسنتزی و مورفولوژیکی در گوجه‌فرنگی و همچنین ارزیابی سهم ژنتیکی در کنترل این صفات انجام شد. هدف نهایی، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌های مطلوب است که به بهبود عملکرد میوه گوجه‌فرنگی کمک کند.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. در این آزمایش ۲۵ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی با منشا جغرافیایی از کشورهای مختلف و متنوع از نظر شکل و رنگ، کشت گردیدند و صفات تعداد گل در بوته، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه، وزن تک میوه، تعداد کاسبرگ، طول میوه، عرض میوه، تعداد روز تا رسیدگی، میزان کلروفیل، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، طول برگ مرکب، طول دمبرگ، عرض برگ مرکب و تعداد برگچه بالغ اندازه‌گیری شدند. علاوه بر تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات، همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی، وراثت‌پذیری عمومی برای هر صفت و تجزیه علیت برای بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد میوه انجام شد.

نتایج: نتایج نشـــان داد که صـــفاتی مانند تعداد روز تا رســـیدگی، ســـرعت فتوســـنتز، عملکرد میوه و تعداد گل در بوته بالاترین وراثت‌پذیری را داشـــتند، در حالی که صـــفات هدایت روزنه‌ای و طول دمبرگ کمترین وراثت‌پذیری را نشـــان دادند. همچنین تنوع ژنتیکی و فنوتیپی صفاتی چون عملکرد میوه و وزن تک میوه، تعداد کاسبرگ، سرعت فتوسنتز و تعداد گل بیشتر از سایر صفات بود. برخی صفات مانند وزن میوه اثر مستقیم مثبت و صفاتی مانند سرعت فتو سنتز، طول دمبرگ و عرض برگ اثر مستقیم منفی بر عملکرد میوه داشتند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه اهمیت رابطه بین صفات مورفولوژی، فتوسنتزی و عملکردی را برای بهبود عملکرد میوه گوجه‌فرنگی نشان داد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌هایی مانند وزن تک میوه بالا، هدایت روزنه‌ای مناسب و کنترل فرآیندهای فتوسنتزی می‌توانند محصولی با عملکرد بالا تولید کنند. برتری ژنوتیپ آناناسی در صفات عملکردی، ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار در صفات مورفولوژی و ژنوتیپ آریا در صفات فتوسنتزی، حاکی از پتانسیل آن‌ها برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی برای بهبود عملکرد میوه گوجه‌فرنگی است.

کلیدواژه‌ها: تجزیه علیت، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی، همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی، وراثت پذیری عمومی.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: نظری مریم، نیک‌بخت اعظم، محمدی‌نژاد قاسم، مهیجی مهدی (۱۴۰۳) برآورد اجزای واریانس فنوتیپی، قابلیت توارث و روابط بین صفات عملکردی میوه و ویژگی‌های فتوسنتزی در گوجه‌فرنگی. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۲)، ۷۲-۴۷.

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

© the authors

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Solanum lycopersicum* L. گیاهی یک‌ساله و علفی است که تولید جهانی آن به بیش از ۱۵۰ میلیون تن در سال می‌رسد (Daftarian & Golabadi 2018). گوجه‌فرنگی به‌لحاظ اقتصادی دومین سبزی مهم دنیا محسوب می‌شود که به‌علت داشتن انواع ویتامین‌ها (اسکوربیک اسید یا ویتامین C، ویتامین B1، B2، A و نیاسین)، لیکوپن، کاروتن، ترکیبات فنلی، اسیدهای مفید، قند و املاح معدنی نقش مهمی را در سلامت انسان دارد (Kordkatooli et al. 2024).

عملکرد صفتی کمی بوده و توسط تعدادی زیادی ژن کنترل می‌شود، از این‌رو وراثت پذیری این صفت به‌دلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط پایین می‌باشد. بنابراین انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد در جهت بهبود آن کارائی پایینی دارد (Araus et al. 2008). بهتر است به‌گونه‌ای عمل کرد که بتوان گزینش را براساس صفات تأثیر گذار بر عملکرد که وراثت‌پذیری بالایی دارند و کمتر تحت‌تأثیر محیط قرار می‌گیرند، انجام داد. برای دستیابی به این مهم، پژوهش‌گران مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با روابط بین صفات و تأثیر آن‌ها بر عملکرد گیاهان مختلف انجام داده و راهکارهای مدیریتی و گزینشی مختلف ارائه کرده‌اند. از طرف دیگر همبستگی عملکرد و اجزای آن با توجه به حاصلخیزی خاک، تاریخ کشت و نوع ژنوتیپ مورد استفاده تغییر می‌کند (Stoskopf et al. 1974). بنابراین انتخاب تنها براساس یک جزء از عملکرد نیز نمی‌تواند موفقیت‌آمیز باشد.

آگاهی از تنوع جمعیت پیش شرط اصلی و اولین گام در اصلاح گیاهان است. بنابراین به‌منظور اصلاح ارقام جدید لازم است ژنوتیپ‌های موجود از نظر پتانسیل‌های ژنتیکی و صفات مطلوب آن‌ها شناسایی شوند (GolCheshmeh et al. 2022) و سپس براساس مناسب‌ترین صفات، عملیات انتخاب انجام شود. صفات با بالاترین وراثت‌پذیری معیارهای مناسب گزینش هستند (Crusio 2006; Cacchiarelli et al. 2024). در آزمایشی Mayavel et al. (2005) با اندازه‌گیری عملکرد میوه در تک بوته‌های ۱۹هیبرید تجاری گوجه‌فرنگی نشان دادند که ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای این صفت ۴۸/۲۱ و ۴۸/۲۵ بوده است. Arun et al. (2003) در پژوهشی که روی ۳۷ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی داشتند گزارش کردند ضخامت پوست میوه که یکی از صفات کیفی مهم در این میوه است دارای وراثت پذیری برابر ۴۳/۶ درصد می‌باشد. طی پژوهشی که Haydar et al. (2007) روی ۱۲ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی داشتند، پارامترهایی همچون وراثت‌پذیری عمومی، ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی را بررسی کرده و به اهمیت این پارامترها اشاره نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر صفات مختلف بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود دارد. در تحقیقی Olaniyi et al. (2010) در بررسی عملکرد و مواد مغذی میوه گوجه‌فرنگی در هفت ژنوتیپ مختلف، تفاوت معنی‌داری را

برای عملکرد میوه این ژنوتیپ‌ها گزارش نمودنـد و یکی از ارقام را به‌عنوان بهترین رقـم بـرای کشـت در منطقـه معرفی نمودند. این پژوهش به‌منظور بررســی تنــوع ژنتیکــی و فنوتیپی موجود بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و مقایســه آن‌هــا از نظر صفات عملکردی و فتوسنتزی و بررسی میزان وراثت‌پذیری عمومی و درک بهتر روابط صفات انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف ارزیابی ۲۵ ژنوتیپ مختلف گوجه‌فرنگی (جدول ۱) از نظر ویژگی‌های مرتبط با رشــد، عملکرد و فیزیولوژی گیاه، در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. صفات مورد بررسی شامل تعداد گل در بوته، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه، وزن تک میوه، تعداد کاسبرگ، طول و عرض میوه، تعداد روز تا رسیدگی، میزان کلروفیل، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، طول برگ مرکب، طول دمبرگ، عرض برگ مرکب و تعداد برگچه‌های بالغ بود. در این مطالعه، میزان وراثت‌پذیری صــفات مختلف و همچنین روابط بین این صــفات در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر ژنوتیپ یک نشــاء در گلدان‌هایی با طول۳۰ و قطر ۲۰ ســانتی‌متر حاوی خاک نرم و کود حیوانی سرند شده و همچنین ماسه یا شن شسته شده به‌ترتیب به نسبت ۴: ۱: ۱/۵ کشت شدند (Daftarian & Golabadi 2018) و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (برای هر ژنوتیپ سه گلدان) در گلخانه قرار گرفتند. در طی آزمایش دمـای گلخانـه در طـول روز برابـر ۲۵ درجه و در شب ۱۶ درجه سـانتی‌گـراد حفظ شد.

آبیاری بر اســاس نیاز و به‌صــورت قطره‌ای انجام شــد و مراحل مراقبت از بوته‌ها مطابق روال معمول صــورت گرفت. اندازه‌گیری تعـدادی از صـفات مـرتبط بـا عملکـرد میـوه و مورفولوژی گیاه براساس دیسکریپتور (توصیفگر نحـوه انـدازه‌گیـری صــفات براســاس معیارهــای بــین المللــی IPGRI) و خصوصیات مربوط بـه میـوه روی سـومین میـوه از دومـین و یـا سومین طبقه در مرحله رسیدگی کامل به‌صورت زیر انجـام شـد (IPGRI 2000). عملکرد کل میـوه: مجمـوع وزن میـوه‌ها در طــی ۱۰ برداشــت برحسب گرم به‌عنوان عملکرد میوه ثبت شد. وزن تک میوه: کل میوه‌های یک بوته وزن شد و بر تعداد میوه‌های آن بوته تقسیم و بدین ترتیب میانگین وزن تک میوه برحسب گرم بدست آمد. تعـداد گـل: میـانگین تعـداد گـل در طبقه دوم، ســوم و چهارم محاسبه شد. تعداد میوه در بوته: تعداد میوه‌ها در ۱۰ برداشت متوالی برای هر بوته شمارش گردید. طول و عرض میوه: با استفاده از کولیس طول و عرض میوه اندازه‌گیری و به میلی‌متر ثبت شد. روز تا رسیدگی کامل: تعداد روز از کاشت بذر تا رسیدگی فیزیولوژیک و اولین برداشت ثبت گردید. طول دمبرگ، طول و عرض برگ مرکب: با استفاده از خط‌کش به سانتیمتر ثبت گردید. تعداد برگچه بالغ: در میوه‌های هر بوته تعداد برگچه بالغ شمارش و به‌طور متوسط تعداد برگچه بالغ بیان شد. صفات فتوســنتری: میزان کلروفیل، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و ســرعت فتوســنتز با کمک دســتگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 Plus Konica Minolta ساخت کشور ژاپن در گلخانه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی

Table 1. Characteristics of the tomato genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	تامین کننده Supplier	منشا Origin	نوع ژنوتیپ Genotype Type	نوع رشد Growth Habit	نوع کشت Cultivation Type
نارنجی آمریکایی Orange Strawberry	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
موزی آمریکایی Orange Banana	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
آریا Arya	فردین کشت Fardin-Kesh	ترکیه- ایران Turkey-Iran	رقم محلی Local- Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
ارغوانی آمریکایی Cherokee purple	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
مشکی آمریکایی Black Beauty	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
روسی ۱ Paul Robeson	فردین کشت Fardin-Kesh	روسیه Russia	رقم Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
کهکشانی تیره Dark Gaaxy	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
قرمز دندانه‌دار Gezahnte	فردین کشت Fardin-Kesh	آلمان Germany	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
آناناسی Pineapple Tomato	گلس گاردن Glass-Garden	فرانسه- ایتالیا France-Italy	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
یاس بنفش Violet Jasper	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
صورتی تایلندی Thai Pink Egg	فردین کشت Fardin-Kesh	تایلند Thailand	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
مایا Maya	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	شیلی Chile	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
راک Rock	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	هلند Netherlands	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
محلی کرمان Local Kerman	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	ایران Iran-Kerman	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
موزی Tomato Banana Legs	گلس گاردن Glass-Garden	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
الماس روشن Lucid Gem	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
روسی ۲ Black Krim	فردین کشت Fardin-Kesh	روسیه Russia	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
سوپر استین super stone	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
سوپر کریستال Super Crystal	فردین کشت Fardin-Kesh	آمریکا USA	رقم Cultivar	محدود Determinate	گلخانه Greenhouse
سوپر کوییین Super Queen	گلس گاردن Glass-Garden	آمریکا USA	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
موناکو Monaco	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	تایلند Thailand	رقم Cultivar	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
تخم مرغی نارنجی Orange Beauty	کشاورزی آنلاین keshavarzionline	ایتالیا Italy	هیبرید Hybrid	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
پاندروسا Ponderosa	بانک بذر جنوب South Seed Bank	ایتالیا Italy	هیبرید Hybrid	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
تونديno Tondino giallo	بانک بذر جنوب South Seed Bank	ایتالیا Italy	هیبرید Hybrid	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse
کواردیبو Cuor dibue	بذرام Bzaram	ایتالیا Italy	هیبرید Hybrid	نامحدود Indeterminate	گلخانه Greenhouse

تجزیه و تحلیل آماری

بـا اسـتفاده از تجزیـه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و امید ریاضی (جدول ۲)، پارامترهای ژنتیکی شامل ضریب تنوع فنـوتیپی و ژنوتیپی، واریـانس ژنتیکـی و فنـوتیپی و وراثـت‌پـذیری عمـومی برآورد شد (جدول ۳).

روابط بین صفات با استفاده از تجزیه علیت (Noori & Safari 2017)، همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی بررسی شد. تجزیه آماری داده‌ها بـا اسـتفاده از نـرم افزارهـای Excel و SAS همچنین مقایسـه میـانگین‌هـا بـه روش LSD در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

جدول ۲. امید ریاضی جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات (طرح RCBD)

Table 2. Expected Mean Squares of the Analysis of variance (RCBD design)

منبع تغییرات S.O.V	E(MS)
بلوک (r) Block	$\delta_e^2 + g\delta_r^2$
ژنوتیپ (g) Genotype	$\delta_e^2 + r\delta_g^2$
خطا (e) Error	δ_e^2

جدول ۳. فرمول‌های محاسباتی واریانس، وراثت پذیری و ضرایب تنوع

Table 3. Computational formulas for variance, heritability, and coefficients of variation

عنوان	فرمول
واریانس ژنوتیپی Genotypic variance	$V_G = \frac{MS_g - MS_e}{r}$
واریانس محیطی Environmental variance	$V_E = MS_e$
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	$V_P = V_G + V_E$
وراثت پذیری عمومی Board-sense heritability	$H_b = \frac{V_G}{V_P}$
ضریب تنوع فنوتیپی Phenotypic coefficient of variance	$CV_P = \frac{\sqrt{V_P}}{\bar{X}} \times 100$
ضریب تنوع ژنتیکی Genotypic coefficient of variance	$CV_G = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}} \times 100$
ضریب تنوع محیطی Environmental coefficient of variation	$CV_E = \frac{\sqrt{V_E}}{\bar{X}} \times 100$

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین: تجزیه واریانس نشان داد که برای کلیه صفات مورفولوژی و عملکردی تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود دارد بنابراین گستره وسیعی از گوناگونی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر این خصوصیات وجود دارد (جدول ۴ و ۵). تنوع و انتخاب، دو رکن اصلی هر برنامه به‌نژادی است و انجام انتخاب منوط به وجود تنوع مطلوب در مواد به‌نژادی مورد بررسی است. مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۶ و ۷) که بیشترین تعداد میوه در بوته را ژنوتیپ‌های موناکو و پاندروسا و کمترین را ژنوتیپ‌ها کواردیبو و نارنجی آمریکایی نشان دادند. از نظر عملکرد میوه ژنوتیپ آناناسی با اختلاف قابل‌توجهی بیشترین عملکرد میوه و ژنوتیپ مشکی آمریکایی کمترین مقدار را داشتند. ژنوتیپ آناناسی بیشترین میانگین وزنی تک میوه را نیز دارا بود و کمترین وزن تک میوه به صورتی تایلندی و قرمز دندانه‌دار تعلق داشت. بیشترین طول و عرض میوه را نارنجی آمریکایی و آناناسی داشت و کمترین مقدار نیز مربوط به ژنوتیپ یاس بنفش بود (جدول ۴).

جدول ٤. تجزیه واریانس صفات عملکردی

Table 4. Analysis of variance for yield traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	تعداد میوه در بوته No. of fruits plant	عملکرد میوه Fruit yield	وزن تک میوه Single fruit weight	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width
بلوک (r) Block	2	0.48^{ns}	319.9^{ns}	2.19^{ns}	0.81^{ns}	1.54^{ns}
ژنوتیپ (g) Genotype	24	43.01**	127685**	502.8**	210.3**	133.4**
خطا (e) Error	48	2.12	408.00	2.52	8.17	6.72
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	8.10	4.76	6.00	8.28	8.42

*: معنی دار در سطح پنج درصد، **: معنی دار در سطح یک درصد، ns: عدم معنی داری

* and ** are significant at the 0.05 and 0.01, ns is non significant

زودرس‌ترین ژنوتیپ، یاس بنفش بود و دیررس‌ترین ژنوتیپ‌های کهشـــکانی تیره، کواردیبو و نارنجی آمریکایی بودند. بیشترین تعداد کاسبرگ متعلق به ژنوتیپ نارنجی آمریکایی بود درحالی‌که کمترین مقدار آن در ژنوتیپ‌های زیادی مشاهده شد. دو ژنوتیپ صورتی تایلندی و کواردیبو به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد گل در بوته را دارا بودند. کهک‌شانی تیره و نارنجی آمریکایی کمترین طول برگ مرکب و موزی آمریکایی بیشترین مقدار این صفت را نشان دادند. طول دمبرگ در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنوع زیادی نداشت و بین ۳ تا ۶ متغیر بود و تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های طول دمبرگی برابر با ۵ سانتیمتر نشان دادند.

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات مورفولوژی

Table 5. Analysis of variance for morphological traits

تعداد برگچه بالغ Number of mature leaflets	عرض برگ مرکب Compound leaf width	طول دمبرگ Petiole length	طول برگ مرکب Compound leaf length	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	تعداد کاسبرگ Number of sepals	روز تا رسیدگی Days to maturity	درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V
2.68^{ns}	1.60^{ns}	0.02^{ns}	0.22^{ns}	0.05^{ns}	0.01^{ns}	5.92^{ns}	2	بلوک (r) Block
12.36^{**}	33.37^{**}	2.35^{**}	33.00^{**}	128.3^{**}	11.04^{**}	797.2^{**}	24	ژنوتیپ (g) Genotype
0.75	1.11	0.48	1.46	1.60	0.14	7.57	48	خطا (e) Error
5.22	7.17	14.80	4.22	5.88	5.91	1.77	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

*: معنی دار در سطح پنج درصد، **: معنی دار در سطح یک درصد، ns: عدم معنی داری

* and ** are significant at the 0.05 and 0.01, ns is non significant

از نظر عرض برگ مرکب کهکشـانی تیره و پس از آن مشـکی آمریکایی کمترین مقدار و قرمز دندانه‌دار و پس از آن تخم مرغی نارنجی بیشـــترین مقدار را نشـــان دادند. ژنوتیپ‌های مایا و ارغوانی آمریکایی کمترین تعداد برگچه بالغ و موزی آمریکایی و قرمز دندانه‌دار بیشترین تعداد را نشان دادند (جدول ۷). کلیه صفات فتوسنتزی اندازه‌گیری شده (میزان کلروفیل، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز) تفاوت معنی‌داری در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان دادند (جدول ۸). هر کدام از این پارامترها به‌نوعی کارایی فتوســنتز و وضــعیت فیزیولوژیکی گیاه را نشــان می‌دهند و به درک عمیق‌تری از ســلامت و توانایی گیاه برای تولید ماده خشک و رشد کمک می‌کنند. بررسی این پارامترها می‌تواند به اصلاح و بهبود عملکرد گیاه و مدیریت تنش‌های محیطی کمک کند. به‌طور کلی، این پارامترها با هم نشـــان‌دهنده کارایی گیاه در اســـتفاده از منابع (نور، آب و CO_2) و سلامت فیزیولوژیکی آن هستند.

جدول ٦. مقایسه میانگین صفات عملکردی

Table 6. Mean comparison of yield traits

عرض میوه (mm) Fruit width	طول میوه (mm) Fruit length	وزن تک میوه (g) Single fruit weight	عملکرد میوه در بوته (g/plant) Fruit yield per plant	میانگین تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	ژنوتیپ Genotype
42.20	55.82	55.17	715.00	13.00	نارنجی آمریکایی Orange Strawberry
24.73	40.91	27.30	446.67	17.00	موزی آمریکایی Orange Banana
38.57	40.55	30.63	418.00	13.67	آریا Arya
38.75	46.14	44.80	641.33	14.33	ارغوانی آمریکایی Cherokee purple
23.20	32.70	28.00	157.33	19.67	مشکی آمریکایی Black Beauty
26.35	30.37	21.47	248.67	21.67	روسی ۱ Paul Robeson
24.05	31.86	15.97	175.33	14.33	کهکشانی تیره Dark Gaaxy
28.31	29.86	12.40	210.33	17.00	قرمز دندانه‌دار Gezahnte
43.61	52.26	58.60	1068.33	18.33	آناناسی Pineapple Tomato
21.24	20.80	26.10	573.67	22.00	یاس بنفش Violet Jasper
23.54	32.83	11.73	224.00	19.33	صورتی تایلندی Thai Pink Egg
28.84	28.78	27.10	388.00	14.33	مایا Maya
33.52	32.55	34.13	477.67	14.00	راک Rock
37.86	33.60	29.17	495.00	17.00	محلی کرمان Local Kerman
23.08	27.83	12.97	264.67	20.67	موزی Tomato Banana Legs
34.32	34.07	22.13	470.00	21.33	االماس روشن Lucid Gem
41.93	44.45	44.67	743.33	16.67	روسی ۲ Black Krim
29.21	25.33	16.57	320.00	19.33	سوپر استین Super stone
28.90	35.07	21.03	287.00	13.67	سوپر کریستال Super Crystal
33.82	32.55	25.40	430.00	17.00	سوپر کویین Super Queen
31.50	27.65	13.07	347.33	26.67	موناکو Monaco
32.27	37.97	24.93	462.67	18.67	تخم مرغی نارنجی Orange Beauty
25.53	26.40	13.27	345.00	26.00	پاندروسا Ponderosa
24.86	26.50	14.13	282.33	20.00	تونداینو Tondino giallo
29.73	35.84	31.37	413.33	13.33	کواردیبو Cuor dibue
4.26	4.69	2.61	33.16	2.39	LSD

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات مورفولوژی

Table 7. Mean comparison of morphological traits

تعداد برگچه بالغ Number of mature leaflets	عرض برگ مرکب Compound leaf width	طول دمبرگ Petiole length	طول برگ مرکب Compound leaf length	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	تعداد کاسبرگ Number of sepals	روز تا رسیدگی Days to maturity	ژنوتیپ Genotype
10.67	17.83	4.64	23.46	13.00	14.67	184.00	نارنجی آمریکایی Orange Strawberry
18.00	24.11	5.58	35.44	5.33	25.33	142.00	موزی آمریکایی Orange Banana
11.00	17.50	5.87	27.91	6.00	15.67	141.00	آریا Arya
10.33	20.11	4.89	26.66	7.00	16.00	134.00	ارغوانی آمریکایی Cherokee purple
11.33	15.55	4.72	24.22	5.67	20.00	170.00	مشکی آمریکایی Black Beauty
12.33	18.75	4.53	27.66	6.67	22.00	177.67	روسی ۱ Paul Robeson
13.00	14.05	5.44	23.22	10.00	17.00	184.00	کهکشانی تیره Dark Gaaxy
16.67	26.58	5.41	33.49	7.00	21.33	136.67	قرمز دندانه‌دار Gezahnte
11.33	18.24	5.12	27.63	6.67	19.67	172.67	آناناسی Pineapple Tomato
13.67	21.41	4.12	28.30	5.00	34.33	129.33	یاس بنفش Violet Jasper
16.33	22.72	5.28	32.16	6.33	42.33	151.67	صورتی تایلندی Thai Pink Egg
10.33	18.49	4.41	26.99	5.00	22.33	158.00	مایا Maya
11.33	18.55	5.44	26.22	5.00	14.67	151.33	راک Rock
13.00	21.32	6.21	32.74	5.00	18.33	137.00	محلی کرمان Local Kerman
12.67	21.28	5.50	31.74	5.00	22.33	144.33	موزی Tomato Banana Legs
12.00	17.16	3.50	25.33	6.33	22.00	159.67	االماس روشن Lucid Gem
12.00	21.66	3.58	26.83	8.33	17.33	162.67	روسی ۲ Black Krim
13.00	25.22	4.55	32.89	5.00	20.00	142.00	سوپر استین Super stone
11.67	17.22	4.61	28.66	5.00	18.33	151.00	سوپر کریستال Super Crystal
12.67	16.66	4.16	26.33	5.33	20.00	145.00	سوپر کویین Super Queen
11.33	23.17	5.16	32.38	5.00	31.33	145.00	موناکو Monaco
14.33	26.24	4.41	31.83	5.33	20.33	160.33	تخم مرغی نارنجی Orange Beauty
15.67	22.84	3.16	29.16	5.00	27.00	156.67	پاندروسا Ponderosa
14.00	20.99	2.74	27.09	5.00	20.33	161.00	تونديno Tondino giallo
12.33	22.91	3.41	28.41	8.33	14.00	184.00	کواردیبو Cuor dibue
1.42	1.73	1.13	1.99	0.61	2.07	4.52	LSD

جدول ۸. تجزیه واریانس صفات فتوسنتزی

Table 8. Analysis of variance for photosynthetic traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میزان کلروفیل Chlorophyll content	میزان CO_2 زیر روزنه‌ای Stomatal CO_2 concentration	میزان تعرق Transpiration rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate
بلوک (r) Block	2	1.02 ns	0.17 ns	0.01 ns	0.0002 ns	0.07 ns
ژنوتیپ (g) Genotype	24	17.50**	1521**	0.22**	0.0005**	1.53**
خطا (e) Error	48	1.13	116.56	0.01	0.0001	0.02
ضریب تغییرات coefficient of variation	-	3.04	3.09	8.27	18.18	6.87

*: معنی دار در سطح پنج درصد، **: معنی دار در سطح یک درصد، ns: عدم معنی داری

* and ** are significant at the 0.05 and 0.01, ns is non significant

مقایسه میانگین (جدول ۹) نشان داد که گوجه‌فرنگی محلی کرمان، الماس روشن و آریا بیشترین مقدار کلروفیل و ژنوتیپ کواردیبو کمترین مقدار کلروفیل را دارا بودند. بیشـــترین CO_2 زیر روزنه‌ای در ژنوتیپ ارغوانی آمریکایی و پس از آن در ژنوتیپ سوپر کریـ ستان م شاهده شد در حالی که کمترین مقدار این صفت را ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار ن شان داد. بی شترین میزان تعرق را ژنوتیپ‌های راک، محلی کرمان و سـوپر اسـتین نشـان دادند در حالی که ژنوتیپ یاس بنفش کمترین مقدار این صـفت را دارا بود. بی شترین هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ محلی کرمان و سپس کهک شانی تیره و راک م شاهده شد و کمترین مقدار این صفت نیز به ژنوتیپ یاس بنفش تعلق داشت. ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار بیشترین سرعت فتوسنتز و ژنوتیپ‌های آناناسی و سپس ارغوانی آمریکایی کمترین مقدار را نشان دادند.

به‌طور کلی ژنوتیپ آناناســی از نظر صــفات عملکردی و ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار از نظر صــفات مورفولوژی بهتر از ســایر ژنوتیپ‌ها بودند. از نظر صفات فتو سنتزی ژنوتیپی که از نظر کلیه صفات برتر با شد ت شخیص داده ن شد اما ژنوتیپ آریا از نظر دو صفت فتوسنتزی برتر از سایرین بود. ژنوتیپ آناناسی که بروز صفات عملکردی برتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دا شت از سرعت کمتر فتوسنتز و CO_2 زیر روزنه‌ای بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود. احتمالا این ژنوتیپ اگرچه از لحاظ عملکرد محصول برتر است، اما کارایی استفاده از منابع فتوسنتزی در آن بهینه نیست. به‌نظر می‌رسد بسته به هدف برنامه‌های اصلاحی، می‌توان از

ژنوتیپ‌های مختلف به شکل‌های گوناگون بهره‌برداری کرد. برای بهبود عملکرد محصول، ژنوتیپ آناناسی گزینه مناسبی خواهد بود، در حالی که برای بهبود صفات مورفولوژی، ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار انتخاب بهتری است. این نتایج می‌توانند به‌عنوان پایه‌ای برای برنامه‌های به‌نژادی گیاهی آتی استفاده شوند، به‌ویژه اگر هدف افزایش عملکرد محصول، بهبود رشد مورفولوژی و بهبود ویژگی‌های فتوسنتزی باشد.

تنوع و وراثت پذیری: تنوع ژنتیکی اساس مطالعات اصلاحی در گونه‌های گیاهی است، بنابراین جهت مطالعات ژنتیکی و اصلاح ارقام مناسب‌تر، عملکرد بالا و سازگار، ابتدا باید میزان تنوع ژنتیکی بین و درون گونه‌ها تعیین و سپس اقدام به اصلاح آن نمود (Annicchiarico 2015). با توجه به اینکه تنوع گیاهان زراعی همبستگی مثبتی با پراکندگی جغرافیایی آن‌ها دارد و گیاهان زراعی طی سال‌ها زیستن در شرایط محیطی متفاوت حاوی ژن‌های متنوعی شده‌اند؛ بنابراین تنوع ژنتیکی زیادی در گیاهان داخل یک توده گیاهی که در اقلیم‌های مختلف جغرافیایی رشد می‌کنند وجود دارد (Nay et al. 2023). وجود چنین اختلاف ژنتیکی گسترده در بین افراد جمعیت گوجه‌فرنگی، مطالعات مربوط به ژنتیک جمعیت این محصول را پیچیده‌تر نموده است. امروزه برخی برنامه‌های اصلاح گوجه‌فرنگی بر اساس گزینش فنوتیپی و مورفولوژیکی استوار است. البته بایستی در نظر داشت که مطالعه تنوع ژنتیکی از طریق صفات کمی مانند عملکرد و اجزای عملکرد که توسط تعداد زیادی ژن کوچک اثر کنترل می‌شوند و تحت تأثیر زیاد محیط هستند مشکل‌تر از صفاتی است که تنها از طریق چند ژن محدود کنترل می شوند. صفات مورفولوژیک به‌طور وسیع برای تعیین میزان تنوع ژنتیکی در گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود تنوع ژنتیکی برای صفات مختلف نشان می‌دهد که از بین ژنوتیپ‌ها می‌توان بر اساس شرایط مورد نیاز برای این صفات اقدام به انتخاب نمود (Ghotbzadeh et al. 2015).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که صفات تعداد گل، سرعت فتوسنتز، عملکرد میوه، وزن تک میوه و تعداد کاسبرگ بیشترین تنوع فنوتیپی و ژنتیکی را داشته و بیانگر تفاوت‌های ژنتیکی بارز میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی است (جدول ۱۰). تنوع بالای این صفات به‌ویژه در عملکرد میوه و سرعت فتوسنتز، فرصتی مناسب برای انتخاب و اصلاح به‌منظور بهبود صفات مطلوب فراهم می‌کند. در مقابل، صفاتی نظیر تعداد روز تا رسیدگی، میزان کلروفیل، میزان دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای و طول برگ مرکب کمترین تنوع را نشان دادند، که می‌تواند نشان‌دهنده پایداری بیشتر این صفات در برابر تغییرات ژنتیکی و محیطی باشد. از سوی دیگر، صفات مورد مطالعه عموماً وراثت‌پذیری بالایی از خود نشان دادند، که ناشی از تنوع ژنتیکی بالای ژنوتیپ‌ها و اثرات متقابل محیط و ژنتیک است که در واریانس ژنتیکی به‌دست آمده از این روش مستتر می‌باشد.

جدول ۹. مقایسه میانگین صفات فتوسنتزی

Table 9. Mean comparison of photosynthetic traits

سرعت فتوسنتز ($\mu molCo_2.m^{-2}s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($mol.m^{-2}s^{-1}$)	میزان تعرق ($mmol.m^{-2}s^{-1}$)	میزان CO_2 زیر روزنه‌ای ($\mu mol.mol\text{-}1$)	میزان کلروفیل (mg/gFW)	ژنوتیپ Genotype
1.52	0.05	1.00	359.67	35.00	نارنجی آمریکایی Orange Strawberry
2.19	0.04	0.87	351.00	35.37	موزی آمریکایی Orange Banana
1.49	0.05	1.11	380.67	38.32	آریا Arya
0.82	0.05	1.06	387.33	35.37	ارغوانی آمریکایی Cherokee purple
1.61	0.05	1.10	361.00	32.90	مشکی آمریکایی Black Beauty
1.90	0.04	1.01	340.67	36.60	روسی ۱ Paul Robeson
2.64	0.08	1.43	342.67	37.07	کهکشانی تیره Dark Gaaxy
3.89	0.06	1.27	286.00	33.57	قرمز دندانه‌دار Gezahnte
0.65	0.04	1.04	381.00	34.20	آناناسی Pineapple Tomato
1.79	0.03	0.73	319.67	35.27	یاس بنفش Violet Jasper
1.39	0.04	0.97	338.33	34.20	صورتی تایلندی Thai Pink Egg
1.01	0.04	1.03	368.33	36.37	مایا Maya
2.14	0.08	1.76	351.33	36.63	راک Rock
2.78	0.08	1.75	331.00	39.37	محلی کرمان Local Kerman
2.08	0.05	1.25	346.33	33.67	موزی Tomato Banana Legs
1.91	0.04	1.06	335.67	38.27	االماس روشن Lucid Gem
2.67	0.05	1.32	324.00	36.65	روسی ۲ Black Krim
2.35	0.07	1.72	343.67	33.57	سوپر استین Super stone
0.89	0.05	1.27	382.33	37.50	سوپر کریستال Super Crystal
1.98	0.06	1.28	346.67	32.53	سوپر کویین Super Queen
1.53	0.06	1.39	359.67	33.50	موناکو Monaco
1.90	0.06	1.49	360.00	35.12	تخم مرغی نارنجی Orange Beauty
1.22	0.04	1.13	362.00	30.70	پاندروسا Ponderosa
1.95	0.05	1.43	338.33	31.55	تونديno Tondino giallo
2.28	0.05	1.38	335.33	29.67	کواردیبو Cuor dibue
0.21	0.02	0.17	17.72	1.74	LSD

وراثت‌پذیری بالای صفاتی چون عملکرد میوه، وزن تک میوه، سرعت فتوسنتز و تعداد روز تا رسیدگی، اهمیت این صفات را در برنامه‌های اصلاحی افزایش می‌دهد، زیرا وراثت‌پذیری بالا نشان‌دهنده پتانسیل انتقال این صفات به نسل‌های بعدی است و امکان انتخاب موفق در اصلاح ژنتیکی را فراهم می‌سازد. در عین حال، صفات طول دمبرگ و هدایت روزنه‌ای با وراثت‌پذیری پایین‌تر، تحت تأثیر بیشتری از عوامل محیطی قرار می‌گیرند که این امر می‌تواند بیانگر محدودیت‌های احتمالی در انتخاب و اصلاح این صفات باشد.

جدول ۱۰. میانگین، واریانس فنوتیپی و ژنتیکی، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی و وراثت پذیری عمومی صفات مورد بررسی

Table 10. Mean, phenotypic and genotypic variance, phenotypic and genotypic coefficients, and broad-sense heritability of the studied traits

وراثت پذیری عمومی Board-sense heritability	ضریب تنوع فنوتیپی Phenotypic coefficient of variance	ضریب تنوع ژنتیکی Genotypic coefficient of variance	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	واریانس ژنتیکی Genotypic variance	میانگین Mean	صفات Traits
96.36	30.84	30.28	43.84	42.25	21.47	X1
86.55	22.10	20.56	15.75	13.63	17.96	X2
99.05	48.79	48.56	42833	42425	424.2	X3
98.51	49.13	48.77	169.3	166.8	26.48	X4
96.33	30.86	30.29	3.77	3.63	6.29	X5
89.18	25.19	23.79	75.53	67.36	34.51	X6
86.27	22.71	21.09	48.93	42.21	30.80	X7
97.20	10.60	10.45	270.8	263.2	155.2	X8
82.89	7.35	6.69	6.59	5.46	34.92	X9
80.07	6.92	6.19	584.8	468.3	349.3	X10
86.81	22.76	21.20	0.079	0.068	1.23	X11
60.955	29.093	22.714	0.000	0.000	0.052	X12
96.848	38.685	38.070	0.520	0.503	1.86	X13
87.780	12.071	11.309	11.977	10.513	28.67	X14
56.780	22.509	16.961	1.099	0.624	4.66	X15
90.671	16.865	16.059	11.862	10.756	20.42	X16
83.782	16.742	15.324	4.621	3.872	12.84	X17

X1: تعداد گل در بوته، X2: تعداد میوه در بوته، X3: عملکرد میوه (گرم در بوته)، X4: وزن تک میوه (گرم)، X5: تعداد کاسبرگ، X6: طول میوه (mm)، X7: عرض میوه (mm)، X8: تعداد روز تا رسیدگی، X9: میزان کلروفیل (mg/gFW)، X10: میزان CO_2 زیر روزنه‌ای ($\mu molCo_2.mol$)، X11: میزان تعرق ($mmol.m^{-2}s^{-1}$)، X12: هدایت روزنه‌ای ($mol.m^{-2}s^{-1}$)، X13: سرعت فتوسنتز ($\mu molCo_2.m^{-2}s^{-1}$)، X14: طول برگ مرکب (cm)، X15: طول دمبرگ (cm)، X16: عرض برگ مرکب (cm) و X17: تعداد برگچه بالغ.

روابط صفات: مطالعه ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی در گوجه‌فرنگی، که رابطه بین صفات مختلف را نشان می‌دهد، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در زمینه بهبود و اصلاح نژادی این گیاه فراهم کند.

ضرایب همبستگی فنوتیپی نشان داد (جدول ۱۱) که تعداد گل با تعداد میوه، طول برگ مرکب و تعداد برگچه بالغ همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. در حالی که این صفت با عرض میوه، هدایت روزنه‌ای، وزن تک میوه و طول میوه همبستگی منفی و معنی‌داری

نشان داد. تعداد میوه با وزن تک میوه و طول میوه همبستگی منفی داشت. بیشترین ضریب همبستگی عملکرد میوه با وزن تک میوه بود و پس از آن طول و عرض میوه موثرتر بودند. وزن تک میوه علاوه بر اینکه با طول و عرض میوه همبستگی مثبت و بالایی داشت با تعداد کاسبرگ نیز همبستگی متوسط و معنی‌داری نشان داد. تعداد کاسبرگ همبستگی منفی با طول برگ مرکب و همبستگی مثبت با تعداد روز تا رسیدگی و طول میوه نشان داد (Öztürk 2022). طول میوه همبستگی مثبت با عرض میوه و میزان CO_2 زیر روزنه‌ای نشان داد در حالی که عرض میوه همبستگی منفی و معنی‌دار با تعداد برگچه بالغ داشت. طول برگ مرکب همبستگی منفی با تعداد روز تا رسیدگی نشان داد. طول و عرض برگ مرکب همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و تعداد برگچه بالغ داشتند. میزان کلروفیل همبستگی مثبتی با طول دمبرگ نشان داد. کلروفیل پیگمان اصلی در برگ‌ها است که نور را برای انجام فتوسنتز جذب می‌کند. مقدار کلروفیل رابطه مستقیمی با توانایی گیاه در جذب نور و تولید انرژی از طریق فتوسنتز دارد. مقدار بالای کلروفیل نشان‌دهنده کارایی بالاتر گیاه در جذب نور و انجام فتوسنتز است. میزان CO_2 زیر روزنه‌ای همبستگی منفی و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز، عرض برگ مرکب و تعداد برگچه داشت و میزان تعرق همبستگی مثبت و بالایی با هدایت روزنه‌ای دارا بود. هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز نشان داد. مقدار CO_2 زیر روزنه‌ای نشان‌دهنده مقدار CO_2 موجود در فضای زیر روزنه‌های برگ است که برای فتوسنتز استفاده می‌شود. میزان پایین این شاخص به معنی جذب موثر CO_2 و استفاده سریع آن در فرایند فتوسنتز است، در حالی که میزان بالاتر می‌تواند نشان‌دهنده کاهش جذب یا استفاده ناکارآمد CO_2 باشد (Rangaswamy et al. 2021).

ضرایب همبستگی ژنتیکی نشان دادند که تعداد میوه با تعداد گل همبستگی نسبتا بالا و مثبتی داشت (جدول ۱۱). وزن تک میوه همبستگی مثبت با عملکرد میوه و همبستگی منفی با تعداد گل و تعداد میوه نشان داد. تعداد کاسبرگ همبستگی مثبت با وزن تک میوه و همبستگی منفی با تعداد میوه داشت. طول میوه همبستگی منفی با تعداد گل و میوه و همبستگی مثبت با عملکرد میوه، وزن تک میوه و تعداد کاسبرگ نشان داد (جدول ۱۱). همبستگی مثبت بین عرض میوه و عملکرد میوه، وزن تک میوه و طول میوه مشاهده شد در حالی که همبستگی منفی عرض میوه با تعداد میوه نیز ثبت شد (Javed et al. 2022). تعداد روز تا رسیدگی همبستگی مثبتی با تعداد کاسبرگ نشان داد. طول برگ مرکب همبستگی مثبت با تعداد گل و همبستگی منفی با وزن تک میوه، تعداد کاسبرگ و تعداد روز تا رسیدگی نشان داد. طول دمبرگ همبستگی مثبت با میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای نشان داد. عرض برگ مرکب همبستگی مثبت با طول برگ مرکب و همبستگی منفی با تعداد روز تا رسیدگی و میزان CO_2 زیر روزنه‌ای داشت. تعداد برگچه بالغ همبستگی مثبت با تعداد گل، سرعت فتوسنتز، طول و عرض برگ مرکب نشان داد در حالی که همبستگی منفی با وزن تک میوه، عرض میوه، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای دارا بود. میزان CO_2 زیر روزنه‌ای با طول میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. میزان تعرق با تعداد گل همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. تعرق شامل خروج آب از طریق روزنه‌های برگ است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. همبستگی فنوتیپی (پایین قطر) و ژنتیکی (بالای قطر) بین صفات عملکردی، مورفولوژی و فتوسنتزی اندازه‌گیری شده

Table 11. Phenotypic correlation (below the diagonal) and genetic correlation (above the diagonal) between the measured yield, morphological, and photosynthetic traits

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17
x1	1	0.65**	-0.23	-0.49**	-0.36	-0.46*	-0.54**	-0.33	-0.18	-0.22	-0.44*	-0.55**	-0.16	0.44*	0.01	0.33	0.52**
x2	0.63**	1	-0.20	-0.49**	-0.46*	-0.54**	-0.40*	-0.18	-0.34	-0.18	-0.14	-0.35	-0.07	0.32	-0.29	0.32	0.32
x3	-0.22	-0.20	1	0.87**	0.27	0.71**	0.79**	0.06	0.16	0.27	-0.18	-0.19	-0.31	-0.18	-0.05	-0.05	-0.34
x4	-0.47*	-0.49**	0.87**	1	0.49**	0.87**	0.80**	0.28	0.20	0.38	-0.19	-0.06	-0.32	-0.43*	0.05	-0.30	-0.53**
x5	-0.36	-0.43*	0.26	0.49**	1	0.63**	0.38	0.64**	0.04	-0.08	-0.16	0.10	0.13	-0.51**	-0.02	-0.27	-0.21
x6	-0.44*	-0.53**	0.69**	0.85**	0.61**	1	0.78**	0.35	0.23	0.44*	-0.20	-0.02	-0.27	-0.29	0.17	-0.22	-0.31
x7	-0.50	-0.38	0.77	0.78	0.35	0.77	1	0.09	0.35	0.34	0.17	0.24	-0.15	-0.25	0.10	-0.16	-0.54
x8	-0.32	-0.18	0.06	0.27	0.64	0.34	0.08	1	-0.17	0.12	-0.02	-0.05	-0.10	-0.59	-0.36	-0.40*	-0.26
x9	-0.20	-0.29	0.11	0.16	0.04	0.18	0.32	-0.16	1	0.11	0.03	0.21	0.03	-0.09	0.56	-0.39	-0.29
x10	-0.20	-0.17	0.26	0.37	-0.05	0.41	0.32	0.11	0.08	1	-0.15	-0.12	-0.90	-0.27	0.11	-0.41	-0.55
x11	-0.22	-0.13	0.01	0.01	-0.24	-0.18	0.16	-0.28	0.28	-0.12	1	0.96	0.45	0.16	0.14	0.18	-0.10
x12	-0.49	-0.28	-0.17	-0.05	0.09	-0.01	0.20	-0.04	0.22	-0.12	0.67	1	0.29	0.17	0.49	-0.01	-0.15
x13	-0.21	-0.02	-0.18	-0.17	0.24	-0.15	-0.07	0.01	0.12	-0.81	0.21	0.52	1	0.38	0.17	0.37	0.45
x14	0.40	0.30	-0.16	-0.40	-0.53	-0.25	-0.20	-0.57	-0.08	-0.22	0.23	0.04	0.10	1	0.38	0.86	0.68
x15	-0.04	-0.18	-0.03	0.09	0.02	0.24	0.12	-0.32	0.53	0.16	0.27	0.30	0.08	0.33	1	-0.07	0.02
x16	0.32	0.31	-0.07	-0.29	-0.28	-0.21	-0.15	-0.36	-0.38	-0.44	0.14	0.01	0.26	0.79	-0.12	1	0.64
x17	0.48	0.28	-0.32	-0.51	-0.22	-0.30	-0.51	-0.27	-0.28	-0.53	-0.08	-0.13	0.30	0.58	-0.03	0.60	1

*: معنی دار در سطح پنج درصد، **: معنی دار در سطح یک درصد.

* and ** are significant at the 0.05 and 0.01

X1: تعداد گل در بوته، X2: تعداد میوه در بوته، X3: عملکرد میوه (گرم در بوته)، X4: وزن تک میوه (گرم)، X5: تعداد کاسبرگ، X6: طول میوه (mm)، X7: عرض میوه (mm)، X8: تعداد روز تا رسیدگی، X9: میزان کلروفیل (mg/gFW)، X10: میزان CO_2 زیر روزنه‌ای ($\mu molCo_2.mol$)، X11: میزان تعرق ($mmol.m^{-2}s^{-1}$)، X12: هدایت روزنه‌ای ($mol.m^{-2}s^{-1}$)، X13: سرعت فتوسنتز ($\mu molCo_2.m^{-2}s^{-1}$)، X14: طول برگ مرکب (cm)، X15: طول دمبرگ (cm)، X16: عرض برگ مرکب (cm) و X17: تعداد برگچه بالغ.

تعرق نقش مهمی در تنظیم دمای گیاه و جذب آب و مواد مغذی دارد. تعرق مناسب نشانه‌ای از تعادل آبی گیاه و کارکرد طبیعی آن است، اما تعرق بیش از حد می‌تواند باعث کاهش ذخیره آب در گیاه شود. هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت با میزان تعرق و همبستگی منفی با تعداد گل نشان داد. هدایت روزنه‌ای میزان باز و بسته بودن روزنه‌های برگ را نشان می‌دهد که به کنترل تبادل گازها مانند CO_2 و بخار آب کمک می‌کند. وقتی هدایت روزنه‌ای بالا باشد، گیاه به‌طور موثرتری CO_2 را جذب کرده و به فتوسنتز کمک می‌کند، اما همچنین می‌تواند میزان تعرق را افزایش دهد. سرعت فتوسنتز همبستگی منفی با میزان CO_2 زیر روزنه‌ای و همبستگی مثبت با میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای نشان داد. سرعت فتوسنتزی نشان می‌دهد که گیاه چقدر قادر است نور خورشید را به انرژی شیمیایی (قندها) تبدیل کند. سرعت بالاتر فتوسنتز به معنای کارایی بیشتر در تولید انرژی و ماده آلی است. این پارامتر ارتباط مستقیمی با عملکرد گیاه در تولید محصول دارد (Rangaswamy et al. 2021).

مطالعه ضرایب همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی نشان می‌دهد که این روابط می‌توانند بینش‌های ارزشمندی درباره پیچیدگی تعاملات بین صفات مختلف گوجه‌فرنگی و تاثیر آن‌ها بر عملکرد نهایی میوه فراهم کنند. در مطالعه حاضر ضرایب همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی تایید کننده یکدیگر هستند و نتایج نشان‌دهنده تأیید روابط ژنتیکی بین صفات بوده و به‌طور خاص تأثیر ترکیب این صفات بر یکدیگر را بررسی می‌کند (Rasheed et al. 2023).

به‌طور کلی تعداد گل و میوه با عملکرد میوه رابطه منفی داشت و این نکته نشان می‌دهد که افزایش تعداد گل و میوه، برخلاف انتظار، منجر به بهبود عملکرد نهایی میوه نمی‌شود. این مسئله ممکن است به‌دلیل کاهش کیفیت و وزن میوه‌های تولیدی در حضور تعداد زیاد گل‌ها و میوه‌ها باشد. گیاه به‌طور طبیعی منابع محدودی برای تغذیه و پرورش میوه‌ها دارد، بنابراین تعداد زیاد گل‌ها و میوه‌ها می‌تواند به پراکندگی منابع و کاهش وزن و کیفیت نهایی میوه‌ها منجر شود. در حالی که وزن میوه و اندازه میوه بر عملکرد میوه تاثیر زیادی دارد. افزایش وزن و اندازه میوه به‌طور مستقیم به عملکرد کل محصول کمک می‌کند. گیاهانی که میوه‌های بزرگتر و سنگین‌تری تولید می‌کنند، علی‌رغم تعداد کمتری از گل و میوه، می‌توانند عملکرد بهتری داشته باشند. بنابراین، وزن و اندازه میوه از مهمترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد محصول هستند (Patel & Kumar 2021). به‌نظر می‌رسد تعداد کاسبرگ و طول دمبرگ از طریق تاثیر بر میزان کلروفیل و افزایش کارایی فتوسنتزی می‌توانند بر عملکرد میوه اثرگذار باشند. این نتیجه در مطالعات پیشین نیز بیان شده است بدین صورت که افزایش تعداد کاسبرگ و طول دمبرگ می‌تواند به افزایش سطح کلروفیل و کارایی فتوسنتزی کمک کند. با افزایش توان فتوسنتزی، گیاه قادر به تولید بیشتر مواد غذایی است که می‌تواند بر تغذیه بهتر میوه‌ها و در نهایت بهبود عملکرد میوه تأثیر بگذارد. در حالی که طول و عرض برگ مرکب تاثیر مثبتی بر عملکرد میوه ندارند و احتمالا این اثر از تاثیر مثبت آن‌ها در افزایش تعداد گل و تاثیر منفی بر وزن میوه بدست آمده است. این نتیجه جالب است، زیرا نشان می‌دهد که طول و عرض برگ مرکب به‌طور مستقیم بر عملکرد میوه تأثیر ندارند. به‌نظر می‌رسد که این صفات بیشتر بر

تعداد گل‌ها تأثیر دارند تا وزن میوه‌ها، که خود می‌تواند باعث کاهش کیفیت نهایی میوه شود. این امر احتمالاً به این دلیل است که رشد بیش از حد مورفولوژی منجر به استفاده بیش از حد از منابع گیاه می‌شود که به جای تمرکز بر افزایش کیفیت میوه، به افزایش تعداد گل و میوه می‌پردازد. به‌نظر می‌رسد ژنوتیپی که دارای تعرق متعادل، هدایت روزنه‌ای مناسب، کلروفیل بالا، سرعت فتوسنتز مطلوب و CO_2 زیر روزنه‌ای کمتر باشد، می‌تواند عملکرد میوه بیشتری داشته باشد. این صفات فیزیولوژیکی نشان‌دهنده کارایی بهتر گیاه در استفاده از منابع موجود برای تولید مواد غذایی و رشد بهینه میوه‌ها است. از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار این حالت را دارد اما این ژنوتیپ از نظر عملکرد میوه متوسط است و از نظر صفات مورفولوژی رتبه بالایی دارد. این امر نشان می‌دهد که این ژنوتیپ پتانسیل بالایی برای رشد مورفولوژی دارد ولی احتمالا به‌دلیل سایر عوامل نظیر تعداد میوه یا وزن میوه، عملکرد میوه مطلوبی را از نظر کمی ارائه نداده است.

تجزیه علیت یا تجزیه مسیر برای درک بهتر رابطه صفات با عملکرد میوه گوجه‌فرنگی انجام شد (جدول ۱۲). نتیجه این آنالیز نشان داد که وزن تک میوه، طول و عرض میوه بیشترین اثر کل بر عملکرد میوه را دارند و صفات تعداد میوه، وزن تک میوه، هدایت روزنه‌ای و طول برگ مرکب بیشترین اثر مثبت و صفات عرض برگ مرکب، طول دمبرگ، سرعت فتو سنتز، میزان تعرق، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای بیشترین اثر مستقیم منفی را دارند. بیشترین اثر غیرمستقیم منفی بر عملکرد میوه از طریق صفات تعداد میوه، وزن تک میوه، هدایت روزنه‌ای، طول برگ مرکب و تعداد برگچه بالغ اعمال می شود و بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت نیز از طریق صفات سرعت فتوسنتز، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، طول و عرض میوه بر عملکرد میوه اعمال شده است. تعداد میوه اثر غیر مستقیم منفی بالاتری نسبت به اثر مستقیم آن بر عملکرد میوه دارد که این اثر غیر مستقیم از طریق وزن تک میوه بر عملکرد اثرگذار است. اثر غیرمستقیم منفی وزن تک میوه بر عملکرد میوه از طریق دو صفت میزان CO_2 زیر روزنه‌ای و طول برگ مرکب اعمال می‌شود. طول و عرض میوه اثر غیر مستقیم خود را از طریق تاثیر بر وزن تک میوه بر عملکرد میوه اعمال می‌کنند. میزان CO_2 زیر روزنه‌ای اثر غیر مستقیم مثبت و بالاتری نسبت به اثر غیر مستقیم منفی خود بر عملکرد میوه داد که این اثر غیر مستقیم بالا و مثبت از طریق دو صفت وزن تک میوه و سرعت فتو سنتز بر عملکرد میوه تاثیر دارد. هدایت روزنه‌ای که اثر منفی بیشتری نسبت به اثر مستقیم مثبت بر عملکرد میوه دارد از طریق سرعت فتو سنتز به‌طور غیر مستقیم بر عملکرد میوه تاثیر گذار است. سرعت فتوسنتز اثر غیر مستقیم مثبت و کمتری نسبت به اثر مستقیم و منفی خود بر عملکرد میوه دارد و این اثر غیرمستقیم مثبت بیشتر از طریق میزان CO_2 زیر روزنه‌ای بر عملکرد میوه اعمال می‌گردد. طول برگ مرکب نسبت به اثر مستقیم مثبت آن، تاثیر منفی غیر مستقیم بیشتری از طریق صفات عرض برگ مرکب و وزن تک میوه بر عملکرد میوه دارد. تعداد برگچه بالغ از طریق تاثیر منفی بر وزن تک میوه اثر غیر مستقیم بالا و منفی بر عملکرد میوه دارد.

نتایج مطالعه ضرایب همبستگی جزء در گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده تأثیر پیچیده و متنوع صفات مختلف بر عملکرد میوه است. این بررسی، با تاکید بر تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات، نمایانگر رابطه‌های جالبی است که میان صفات مورفولوژی، فیزیولوژیکی و عملکردی وجود دارد. به‌طور کلی مطالعه تجزیه مسیر یا تجزیه علیت نشان داد که تعداد گل در بوته، تعداد کاسبرگ،

تعداد روز تا رسیدگی و میزان کلروفیل تاثیر کمی بر عملکرد میوه دارند (Alam et al. 2019). این صفات، به رغم اهمیت ظاهری شان، تأثیر کمی بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی دا شتند. این نشان می‌دهد که صرفاً افزایش تعداد گل‌ها یا میزان کلروفیل به تنهایی نمی‌تواند تضمین‌کننده عملکرد بالای میوه باشد. شاید این صفات بیشتر با رشد مورفولوژی گیاه مرتبط باشند و در ترکیب با سایر عوامل بتوانند مؤثرتر عمل کنند. تعداد میوه، میزان هدایت روزنه‌ای، طول برگ مرکب و تعداد برگچه بالغ اثر غیرمستقیم منفی و بالاتری نسبت به اثر مستقیم شان بر عملکرد میوه دارند. به عبارت دیگر، این صفات از طریق کاهش وزن تک میوه و سرعت فتوسنتز باعث کاهش عملکرد میوه می‌شوند. گیاهانی که تعداد میوه زیاد یا برگ‌های مرکب بلندتری دارند، ممکن است منابع موجود را بین تعداد زیادی میوه تقسیم کنند، که این می‌تواند منجر به کاهش کیفیت و وزن نهایی میوه‌ها شود.

صفات مقدار CO_2 زیر روزنه‌ای، طول و عرض میوه و اثر غیرمستقیم مثبت و بالاتری نسبت به اثر مستقیم خود بر عملکرد میوه دارند که از طریق تاثیری که آنها بر وزن تک میوه و سرعت فتوسنتز دارند اعمال می‌گردد. در حقیقت طول و عرض میوه نشان‌دهنده اندازه میوه است که به طور مستقیم بر وزن تک میوه تأثیر می‌گذارند. افزایش CO_2 زیر روزنه‌ای ممکن است به معنای تأمین بهتر CO_2 برای فتوسنتز و در نتیجه افزایش تولید مواد غذایی و رشد میوه باشد.

جالب است که میزان تعرق از یک سو اثر مستقیم منفی و از سوی دیگر اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد میوه دارد. تأثیر منفی تعرق ممکن است به‌دلیل از دست دادن بیش از حد آب و ایجاد تنش آبی در گیاه باشد، در حالی که تأثیر مثبت غیرمستقیم آن احتمالاً به تنظیم دمای گیاه و تسهیل فرآیندهای فتوسنتزی مربوط است. این تعادل بین اثرات مثبت و منفی باعث شده که تأثیر کلی تعرق بر عملکرد میوه کم باشد. وزن تک میوه به‌صورت مستقیم اثر بسیار زیادی بر عملکرد میوه دارد. همان‌طور که انتظار می‌رود، وزن تک میوه تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر عملکرد میوه دارد. افزایش وزن هر میوه به‌صورت مستقیم منجر به بهبود عملکرد محصول می‌شود، زیرا یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده در کل محصول تولیدی است. بر خلاف تصور، تاثیر منفی سرعت فتوسنتز بر عملکرد میوه، بیشتر از تاثیر غیرمستقیم مثبت آن است. این ممکن است نشان‌دهنده آن باشد که افزایش سرعت فتوسنتز به‌تنهایی نمی‌تواند به بهبود عملکرد منجر شود و باید با سایر عوامل همچون هدایت روزنه‌ای و تعرق متعادل باشد. طول دمبرگ و عرض برگ مرکب با وجود اثر مستقیم منفی بر عملکرد میوه، دارای اثر غیرمستقیم مثبتی هستند که تأثیر کلی آن‌ها را تقریباً خنثی می‌کند. این نشان می‌دهد که این صفات از طریق مکانیسم‌های پیچیده‌ای، همچون بهبود رشد مورفولوژی و تسهیل فتوسنتز، می‌توانند اثرات منفی مستقیم خود را جبران کنند (Dong et al. 2024).

جدول ۱۲. نتیجه آنالیز تجزیه علیت صفات مختلف با عملکرد میوه

Table 12. Results of path analysis for different traits with fruit yield

	X1	X2	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
X1	-0.097	-0.061	0.045	0.035	0.043	0.049	0.031	0.019	0.020	0.021	0.048	0.020	-0.038	0.004	-0.031	-0.046
X2	0.25	0.41	-0.20	-0.17	-0.21	-0.15	-0.072	-0.12	-0.068	-0.051	-0.12	-0.006	0.12	-0.075	0.13	0.12
X4	-0.70	-0.73	1.50	0.74	1.27	1.17	0.40	0.24	0.56	0.010	-0.078	-0.26	-0.59	0.14	-0.43	-0.77
X5	-0.068	-0.082	0.094	0.19	0.12	0.067	0.12	0.007	-0.009	-0.046	0.018	0.046	-0.10	0.0042	-0.052	-0.042
X6	0.11	0.13	-0.22	-0.15	-0.25	-0.20	-0.086	-0.045	-0.10	0.045	0.004	0.038	0.065	-0.062	0.054	0.077
X7	-0.050	-0.038	0.077	0.035	0.076	0.10	0.008	0.031	0.031	0.015	0.019	-0.007	-0.020	0.012	-0.015	-0.050
X8	0.047	0.026	-0.040	-0.095	-0.050	-0.01	-0.15	0.023	-0.016	0.040	0.006	-0.001	0.084	0.047	0.054	0.040
X9	-0.041	-0.059	0.033	0.008	0.036	0.065	-0.032	0.20	0.017	0.057	0.046	0.025	-0.016	0.11	-0.079	-0.057
X10	0.12	0.10	-0.23	0.030	-0.25	-0.19	-0.066	-0.049	-0.61	0.075	0.070	0.49	0.13	-0.099	0.27	0.32
X11	0.077	0.045	-0.002	0.086	0.063	-0.055	0.098	-0.098	0.044	-0.35	-0.24	-0.073	-0.083	-0.097	-0.051	0.029
X12	-0.27	-0.16	-0.029	0.05	-0.008	0.11	-0.024	0.12	-0.064	0.37	0.55	0.29	0.021	0.17	0.007	-0.071
X13	0.15	0.011	0.13	-0.18	0.11	0.049	-0.006	-0.087	0.58	-0.15	-0.38	-0.72	-0.074	-0.060	-0.19	-0.22
X14	0.29	0.22	-0.29	-0.38	-0.18	-0.15	-0.41	-0.056	-0.16	0.17	0.027	0.074	0.72	0.24	0.57	0.42
X15	0.015	0.07	-0.04	-0.009	-0.098	-0.050	0.13	-0.21	-0.065	-0.11	-0.12	-0.033	-0.13	-0.40	0.049	0.014
X16	-0.14	-0.14	0.13	0.13	0.097	0.070	0.17	0.18	0.20	-0.065	-0.006	-0.12	-0.36	0.056	-0.46	-0.27
X17	0.087	0.052	-0.093	-0.040	-0.055	-0.092	-0.050	-0.050	-0.096	-0.015	-0.023	0.054	0.11	-0.006	0.11	0.18
اثر کل	-0.22	-0.20	0.87	0.26	0.69	0.77	0.061	0.11	0.26	0.012	-0.17	-0.18	-0.16	-0.029	-0.065	-0.32
اثر مستقیم	-0.097	0.41	1.50	0.19	-0.25	0.099	-0.15	0.20	-0.61	-0.35	0.55	-0.72	0.72	-0.40	-0.46	0.18
اثر غیر مستقیم	-0.12	-0.61	-0.62	0.074	0.95	0.68	0.21	-0.091	0.87	0.37	-0.72	0.54	-0.88	0.37	0.39	-0.50

X1: تعداد گل در بوته، X2: تعداد میوه در بوته، X4: وزن تک میوه (گرم)، X5: تعداد کاسبرگ، X6: طول میوه (mm)، X7: عرض میوه (mm)، X8: تعداد روز تا رسیدگی، X9: میزان کلروفیل (mg/gFW)، X10: میزان CO_2 زیر روزنه‌ای ($\mu molCo_2.mol$)، X11: میزان تعرق ($mmol.m^{-2}s^{-1}$)، X12: هدایت روزنه‌ای ($mol.m^{-2}s^{-1}$)، X13: سرعت فتوسنتز ($\mu molCo_2.m^{-2}s^{-1}$)، X14: طول برگ مرکب (cm)، X15: طول دمبرگ (cm)، X16: عرض برگ مرکب (cm) و X17: تعداد برگچه بالغ.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشـــان داد که عملکرد میوه در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر روابط پیچیده صـــفات مختلف از جمله وزن تک‌میوه، طول و عرض میوه، تعداد میوه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نظیر هدایت روزنه‌ای و میزان دی‌اکســـیدکربن زیر روزنه‌ای است. در حالی که صفاتی مانند وزن و اندازه میوه بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد نشان دادند، صفات تعداد میوه و هدایت روزنه‌ای اثرات غیرمستقیم منفی بیشتری بر عملکرد داشتند. همچنین، ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تفاوت‌های قابل توجهی از نظر صفات عملکردی، مورفولوژیکی و فتوسنتزی داشتند. ژنوتیپ آناناسی به‌دلیل عملکرد بالای میوه و وزن تک‌میوه برتر و ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار به‌دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی برجسته از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند. از نظر صفات فتوسنتزی، ژنوتیپ آریا در برخی ویژگی‌ها برتر بود، اما ژنوتیپی که در تمام صفات فتوسنتزی ممتاز باشد، شناسایی نشد. به‌طور کلی، وراثت‌پذیری بالا در صفاتی مانند عملکرد میوه، وزن تک‌میوه و سرعت فتوسنتز نشان‌دهنده امکان موفقیت در برنامه‌های اصلاحی برای این صفات اســت. از ســوی دیگر، صــفاتی نظیر طول دمبرگ و هدایت روزنه‌ای که وراثت‌پذیری پایین‌تری داشــتند، بیشــتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند و اصلاح آن‌ها با محدودیت مواجه است. نتایج تجزیه همبستگی و علیت نشان داد که برخی صفات نظیر وزن تک‌میوه و اندازه میوه بیشــترین اثر مثبت مســتقیم و غیرمســتقیم را بر عملکرد دارند، در حالی که صــفاتی نظیر تعداد میوه و هدایت روزنه‌ای اثرات غیرمستقیم منفی بیشتری دارند. این یافته‌ها می‌توانند مبنایی برای طراحی برنامه‌های به‌نژادی آینده باشند و بسته به اهداف اصلاحی، از ژنوتیپ‌های مختلف برای بهبود عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیکی یا کارایی فتوسنتزی استفاده شود.

References

Alam, M. S., Huda, M. N., Rahman, M. S., Azad, A. K. M., Rahman, M. M., & Molla, M. M. (2019). Character association and path analysis of tomato (Solanum lycopersicum L.). *Journal of Bioscience and Agriculture Research, 22*(01), 1815-1822. https://doi.org/10.18801/jbar.220119.223

Annicchiarico, P. (2015). Alfalfa forage yield and leaf/stem ratio: narrow-sense heritability, genetic correlation,and parent selection procedures. *Euphytica, 205*, 409-420. https://doi.org/10.1007/s10681-015-1399-y

Araus, J. L., Slafer, G. A., Royo, C., & Dolers, M. (2008) Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Science, 27*, 377-412. https://doi.org/10.1080/07352680802467736

Arun, J., Kohil, U., & Joshi, A. (2003) Genetic divergence for quantitative and qualitative traits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *The Indian Journal of Agricultural Sciences, 73*, 110-113.

Cacchiarelli, P., Spetale, F. E., Arce, D. P., Tapia, E., & Pratta, G. R. (2024). Transcriptomics of fruit ripening in a tomato wide cross and genetic analysis of differentially expressed genes

among parents and hybrid. *Scientia Horticulturae*, *330*, 113037. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113037

Crusio, W. E. (2006). An introduction to quantitative genetics (2st edn). In: Neurobehavioral genetics. CRC Press. pp. 57-74.

Daftarian, F., & Golabadi, M. (2018) Evaluation of Fruit Yield and Quality in some GreenhouseTomato Genotypes. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing 8, 113-126. URL: http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-2614-en.html [In Persian]

Dong, H., Li, F., Xuan, X., Ahiakpa, J. K., Tao, J., Zhang, X., Ge, P., Wang, Y., Gai, W., & Zhang, Y. (2024). The genetic basis and improvement of photosynthesis in tomato. *Horticultural Plant Journal*. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.06.007

Ghotbzadeh, K. S., Pourseyedi, S., Mohamadi, G. A., Moieni, A., & Baghizadeh, A. (2015). (2015) Regeneration of white top (*Cardaria draba* L.) using tissue culture . [In Persian]

GolCheshmeh, S., Kiani, G., KazemiTabar, S. K., & Navabpour, S. (2022). Investigation of Morphological Diversity and Evaluation of Tomato Lines Yield Using Multivariate Statistical Analysis. *Journal Of Horticultural Science*, *36*(2), 415-427. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70173.1048

Haydar, A., Mandal, M. A., Ahmed, M. B., Hannan, M. M., Karim, R., Razvy, M. A., ... & Salahin, M. (2007). Studies on genetic variability and interrelationship among the different traits in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2(3-4), 139-142.

IPGRI I BAMNET (2000) Descriptors for bambara groundnut (*Vigna subterranea*), International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. The International Bambara Groundnut Network, Germany.

Javed, A., Nawab, N. N., Gohar, S., Akram, A., Javed, K., Sarwar, M., ... & Mallhi, A. R. (2022). Genetic analysis and heterotic studies in tomato (Solanum lycopersicum L.) hybrids for fruit yield and its related traits. http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.3

Kordkatooli, M. H., Mousavizadeh, S. J., & Mashayekhi, K. (2024) The Study of Parents and F1 off Spring from the Crossing of Some Iranian Tomato Accessions. *Journal of Crop Breeding 16*, 67-79. https://doi.org/10.61186/jcb.16.2.67

Mayavel, A., Balakrishnamurthy, G., & Natarajan, S. (2005) Variability and heritability studies in tomato hybrids. South Indian Horticulture 53, 262. CABI Record Number : 19941600206

Nay, M. M., Grieder, C., Frey, L. A., Amdahl, H., Radovic, J., Jaluvka, L., ... & Kölliker, R. (2023). Multi-location trials and population-based genotyping reveal high diversity and

adaptation to breeding environments in a large collection of red clover. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1128823. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1128823

Noori, A., & Safari, H. (2017) Study of correlation and path coefficient analysis of agronomic traits and grain yield for Aegilops cylindrica accessions under non-stress and drought stress conditions in Ilam. *Journal of crop breeding, 9*, 76-84. https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.76

Olaniyi, J. O., Akanbi, W. B., Adejumo, T. A., & Akande, O. G. (2010). Growth, fruit yield and nutritional quality of tomato varieties. *African Journal of Food Science*, *4*(6), 398-402. http://www.academicjournals.org/ajfs

Öztürk, H. İ. (2022). Morphological and molecular characterization of some Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes collected from Erzincan Province of Turkey. *Molecular Biology Reports 49*, 7111-7121. https://doi.org/10.1007/s11033-022-07310-7

Patel, P., & Kumar, U. (2021) Studies on correlation and path coefficient analysis for yield and quality traits in tomato. *The Pharma Innovation Journal*, *10*, 1914-1918. http://www.thepharmajournal.com

Rangaswamy, T. C., Sridhara, S., Ramesh, N., Gopakkali, P., El-Ansary, D. O., Mahmoud, E. A., ... & Abdel-Hamid, A. M. (2021). Assessing the impact of higher levels of CO2 and temperature and their interactions on tomato (Solanum lycopersicum L.). *Plants*, *10*(2), 256. https://doi.org/10.3390/plants10020256

Rasheed, A., Ilyas, M., Khan, T. N., Mahmood, A., Riaz, U., Chattha, M. B., ... & Qari, S. H. (2023). Study of genetic variability, heritability, and genetic advance for yield-related traits in tomato (Solanum lycopersicon MILL.). *Frontiers in Genetics*, *13*, 1030309. https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600060011x

Stoskopf, N., Nathaniel, R., & Reinbergs, E. (1974) Comparison of spring wheat and barley with winter wheat: yield components in Ontario 1. *Agronomy Journal*, *66*, 748-750. https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600060011x