



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 Mohayjei Nasrabadi 

Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email address: mohayjei@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 CO₂ 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, Mohayjeji M (2025) Estimation of Phenotypic Variance Components, Heritability, and Relationships Between Fruit

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

Journal of Genetics and Plant Breeding 2 (2), 47-72. DOI: 10.22103/gpb.2025.24271.1015

Received: March 27, 2025.

Received in revised form: June 13, 2025.

Accepted: June 14, 2025.

Published online: June 30, 2025.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production,

Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and

Iranian Genetics Society.



© the authors



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 افصلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: anikbakht@uk.ac.ir

قاسم محمدی نژاد

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 افصلی‌پور، 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 پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷

چکیده

هدف: این پژوهش به منظور 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 نشان داد که صفاتی مانند تعداد روز تا رسیدگی، سرعت فتوسنتز، عملکرد میوه و تعداد گل در بوته بالاترین وراثت‌پذیری را داشتند، در حالی که صفات هدایت روزنه‌ای و طول دمبرگ کمترین وراثت‌پذیری را نشان 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 فتوسنتز، 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 دنداندار 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، وراثت‌پذیری عمومی.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: نظری مریم، نیک‌بخت اعظم، محمدی‌نژاد قاسم، مهیجی مهدی (۱۴۰۴) برآورد اجزای واریانس فنوتیپی، قابلیت توارث و روابط بین صفات عملکردی میوه و ویژگی‌های فتوسنتزی در گوجه‌فرنگی. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۲(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 کارایی 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 تحت تأثیر 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 ۱۹ هیبرید 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 نمودند و یکی از ارقام را به‌عنوان بهترین رقم برای کشت در منطقه معرفی نمودند. این پژوهش به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و فنوتیپی موجود بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و مقایسه آن‌ها 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 رشد، 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 CO₂ 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 صفات مختلف و همچنین روابط بین این صفات در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر ژنوتیپ یک نشاء در گلدان‌هایی با طول ۳۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر حاوی خاک نرم و کود حیوانی سرنده 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 دمای گلخانه در طول روز برابر ۲۵ درجه و در شب ۱۶ درجه سانتی‌گراد حفظ شد.

آبیاری بر اساس نیاز و به‌صورت قطره‌ای انجام شد و مراحل مراقبت از بوته‌ها مطابق روال معمول صورت گرفت. اندازه‌گیری تعدادی از صفات مرتبط با عملکرد میوه و مورفولوژی گیاه براساس دیسکریپتور (توصیفگر نحوه اندازه‌گیری صفات براساس معیارهای بین‌المللی IPGRI) و خصوصیات مربوط به میوه روی سومین میوه از دومین و یا سومین طبقه در مرحله رسیدگی کامل به‌صورت زیر انجام شد (IPGRI 2000). عملکرد کل میوه: مجموع وزن میوه‌ها در طی ۱۰ برداشت 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. تعداد گل: میانگین تعداد گل در طبقه دوم، سوم 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 فتوسنتزی: میزان کلروفیل، میزان CO₂ زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز با کمک دستگاه 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

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

تجزیه و تحلیل آماری

با استفاده از تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و امید ریاضی (جدول ۲)، پارامترهای ژنتیکی شامل ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی، واریانس ژنتیکی و فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی برآورد شد (جدول ۳). روابط بین صفات با استفاده از تجزیه علیت (Noori & Safari 2017)، همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی بررسی شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Excel و SAS همچنین مقایسه میانگین‌ها به 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)

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

جدول ۳. فرمول‌های محاسباتی واریانس، وراثت‌پذیری و ضرایب تنوع

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

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

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 کواردیو و نارنجی آمریکایی نشان دادند. از نظر عملکرد میوه ژنوتیپ آناناسی با اختلاف قابل توجهی 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 ۴. تجزیه واریانس صفات عملکردی

Table 4. Analysis of variance for yield traits

منابع تغییر	درجه	تعداد میوه در بوته	عملکرد میوه	وزن تک میوه	طول میوه	عرض میوه
S.O.V	آزادی	No. of fruits	Fruit	Single fruit	Fruit	Fruit
	Df	plant	yield	weight	length	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 کپش‌کانی تیره، کواردیو 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 کواردیو به ترتیب 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 کهکشانی تیره و پس از آن مشکی آمریکایی کمترین مقدار و قرمز دندانه‌دار و پس از آن تخم مرغی نارنجی بیشترین مقدار را نشان 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 CO₂ زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز) تفاوت معنی‌داری در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان دادند (جدول ۸). هر کدام از این پارامترها به نوعی کارایی فتوسنتز و وضعیت فیزیولوژیکی گیاه را نشان می‌دهند و به درک عمیق‌تری از سلامت 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 نشان‌دهنده کارایی گیاه در استفاده از منابع (نور، آب و CO₂) و سلامت فیزیولوژیکی آن هستند.

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات عملکردی

Table 6. Mean comparison of yield traits

عرض میوه (mm)	طول میوه (mm)	وزن تک میوه (g) Single fruit weight	عملکرد میوه در بوته (g/plant)	میانگین تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	ژنوتیپ Genotype
------------------	------------------	---	----------------------------------	---	--------------------

Fruit width	Fruit length	Fruit yield per plant			
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	کپکشان تیره Dark Gaaxy
28.31	29.86	12.40	210.33	17.00	قرمز دنداندار 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	اللماس 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 کوین 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	توندینو Tondino giallo
29.73	35.84	31.37	413.33	13.33	کواردیو 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	کپکشانای تیره Dark Gaaxy
16.67	26.58	5.41	33.49	7.00	21.33	136.67	قرمز دنداندار 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	الماس 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 کوین 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	توندینو Tondino giallo
12.33	22.91	3.41	28.41	8.33	14.00	184.00	کواردیو 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

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

مقایسه میانگین (جدول ۹) نشان داد که گوجه‌فرنگی محلی کرمان، الماس روشن و آریا بیشترین مقدار کلروفیل و ژنوتیپ کواردیو کمترین مقدار کلروفیل را دارا بودند. بیشترین CO₂ زیر روزنه‌ای در ژنوتیپ ارغوانی آمریکایی و پس از آن در ژنوتیپ سوپر کریستان مشاهده شد در حالی که کمترین مقدار این صفت را ژنوتیپ قرمز دنداندار نشان داد. بیشترین میزان تعرق را ژنوتیپ‌های راک، محلی کرمان و سوپر استین نشان دادند در حالی که ژنوتیپ یاس بنفش کمترین مقدار این صفت را دارا بود. بیشترین هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ محلی کرمان و سپس کهکشانی تیره و راک مشاهده شد و کمترین مقدار این صفت نیز به ژنوتیپ یاس بنفش تعلق داشت. ژنوتیپ قرمز دنداندار بیشترین سرعت فتوسنتز و ژنوتیپ‌های آناناسی و سپس ارغوانی آمریکایی کمترین مقدار را نشان دادند.

به‌طور کلی ژنوتیپ آناناسی از نظر صفات عملکردی و ژنوتیپ قرمز دنداندار از نظر صفات مورفولوژی بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. از نظر صفات فتوسنتزی ژنوتیپی که از نظر کلیه صفات برتر باشد تشخیص داده نشد اما ژنوتیپ آریا از نظر دو صفت فتوسنتزی برتر از سایرین بود. ژنوتیپ آناناسی که بروز صفات عملکردی برتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت از سرعت کمتر فتوسنتز و CO₂ زیر روزنه‌ای بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود. احتمالاً 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 دنداندار انتخاب بهتری است. این نتایج می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای

برای برنامه‌های به‌زادی 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 می‌شوند. 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

ژنوتیپ Genotype	میزان کلروفیل (mg/gFW)	میزان CO ₂ زیر روزنه‌ای ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	میزان تعرق ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	سرعت فتوسنتز ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
--------------------	---------------------------	---	---	--	---

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	کهنکشان تیره Dark Gaaxy
3.89	0.06	1.27	286.00	33.57	قرمز دنداندار 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	الماس 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 کوین 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	توندینو Tondino giallo
2.28	0.05	1.38	335.33	29.67	کواردیو 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 بعد است و

امکان انتخاب موفق در اصلاح ژنتیکی را فراهم می‌سازد. در عین حال، صفات طول دم‌برگ و هدایت روزنه‌ای با وراثت‌پذیری

پایین تر، 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

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

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 CO₂ زیر روزنه‌ای (μmolCO₂.mol)، X11: میزان تعرق (mmol.m⁻².s⁻¹)، X12: هدایت روزنه‌ای (mol.m⁻².s⁻¹)، X13: سرعت فتوسنتز (μmolCO₂.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 CO₂ زیر روزه‌های 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 CO₂ زیر روزه‌های همبستگی منفی و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز، عرض برگ مرکب و تعداد برگچه داشت و میزان تعرق همبستگی مثبت و بالایی با هدایت روزه‌های دارا بود. هدایت روزه‌های همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز نشان داد. مقدار CO₂ زیر روزه‌های نشان‌دهنده مقدار CO₂ موجود در فضای زیر روزه‌های برگ است که برای فتوسنتز استفاده می‌شود. میزان پایین این شاخص به معنی جذب موثر CO₂ و استفاده سریع آن در فرایند فتوسنتز است، در حالی که میزان بالاتر می‌تواند نشان‌دهنده کاهش جذب یا استفاده ناکارآمد CO₂ باشد (Rangaswamy et al. 2021).

ضرایب همبستگی ژنتیکی نشان دادند که تعداد میوه با تعداد گل همبستگی نسبتاً 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 روزه‌های نشان داد. عرض برگ مرکب همبستگی مثبت با طول برگ مرکب و همبستگی منفی با تعداد روز تا رسیدگی و میزان CO₂ زیر روزه‌های نشان داد. 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 CO₂ زیر روزه‌های دارا بود. میزان CO₂ زیر روزه‌های 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 روزه‌های 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 CO₂ زیر روزنه‌ای (μmolCO₂.mol⁻¹), X11: میزان تعرق (mmol.m⁻².s⁻¹), X12: هدایت روزنه‌ای (mol.m⁻².s⁻¹), X13: سرعت فتوسنتز (μmolCO₂.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 نشانه‌های 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 به دلیل 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 تأثیر مثبتی بر عملکرد میوه ندارند و احتمالاً 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. به نظر 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 دنداندار 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 احتمالاً به دلیل 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 فتوسنتز، 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 می‌شود 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 تأثیر 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 فتوسنتز بر عملکرد میوه تأثیر دارد. هدایت روزنه‌ای که اثر منفی بیشتری نسبت به اثر مستقیم مثبت بر عملکرد میوه دارد از طریق سرعت فتوسنتز به طور غیر مستقیم بر عملکرد میوه تأثیر 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، تأثیر منفی غیر مستقیم بیشتری از طریق صفات عرض برگ مرکب و وزن تک میوه بر عملکرد میوه دارد. تعداد برگچه بالغ از طریق تأثیر منفی بر وزن تک میوه اثر غیر مستقیم بالا و منفی بر عملکرد میوه دارد.

نتایج مطالعه ضرایب همستگی جزء در گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده تأثیر پیچیده و متنوع صفات مختلف بر عملکرد میوه است. این بررسی، با تأکید بر تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات، نمایانگر رابطه‌های جالبی است که میان صفات مورفولوژی، فیزیولوژیکی و عملکردی وجود دارد. به طور 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 ظاهری‌شان، تأثیر کمی بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی داشتند. 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 مستقیم‌شان 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 تأثیری 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 به دلیل 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، تأثیر منفی سرعت فتوسنتز بر عملکرد میوه، بیشتر از تأثیر 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 CO₂ زیر روزنه‌ای

(μmolCO₂.mol⁻¹)، X11: میزان تعرق (mmol.m⁻².s⁻¹)، X12: هدایت روزنه‌ای (mol.m⁻².s⁻¹)، X13: سرعت فتوسنتز (μmolCO₂.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 نشان داد که عملکرد میوه در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر روابط پیچیده صفات مختلف از جمله وزن تک‌میوه، طول و عرض میوه، تعداد میوه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نظیر هدایت روزنه‌ای و میزان دی‌اکسیدکربن 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 به دلیل عملکرد بالای میوه و وزن تک‌میوه برتر و ژنوتیپ قرمز دندانه‌دار به دلیل 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 است. از سوی دیگر، صفاتی نظیر طول دمبرگ و هدایت روزنه‌ای که وراثت‌پذیری پایین‌تری داشتند، بیشتر 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 بیشترین اثر مثبت مستقیم و غیرمستقیم را بر عملکرد دارند، در حالی که صفاتی 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 Greenhouse Tomato 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>