Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 241-252

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/plant.2026.146257.1206

Heritability and genetic diversity of important traits in Tomato (*Solanum lycopersicum*) population derived from Brenta cultivar

Sadegh Rezazadeh[1], Marzieh Etehadpour[*1], Nasibeh Pourghasemian[1]

1. Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

[*]Corresponding Author Email: etehadpour@uk.ac.ir

Received: 01-07-2026 **revised:** 28-07-2026 **Accepted**: 07-08-2026

Abstract

Introduction: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important vegetable crops worldwide. Although the hybrid cultivar Brenta is widely cultivated, limited information is available regarding the inheritance of quantitative traits and the extent of inbreeding depression in its F_2 generation. The objective of this study was to estimate genetic parameters of important quantitative traits, evaluate genetic variability, determine broad-sense heritability and expected genetic advance, quantify inbreeding depression in the F_2 generation of the hybrid tomato cultivar Brenta, and identify effective selection criteria for improving fruit yield.

Materials and Methods: The experiment was conducted under greenhouse conditions using 100 F_1 plants and 1,000 F_2 plants of the commercial hybrid tomato cultivar Brenta. Fruit length, fruit diameter, fruit firmness, fruit uniformity, fruit size, number of fruits per plant, plant height, and fruit yield were evaluated using standard horticultural procedures. Genetic analyses included estimation of genotypic and phenotypic variances, genotypic and phenotypic coefficients of variation (GCV and PCV), broad-sense heritability (H^2), expected genetic advance, and inbreeding depression. Pearson correlation coefficients were calculated to evaluate relationships among the studied traits.

Results: The results showed that the differences in means between the two generations were significant for all traits except fruit size, indicating the occurrence of inbreeding depression in the F_2 generation. The highest broad-sense heritability estimates were obtained for plant height (75%) and the number of fruits per plant (70%), whereas the lowest value was estimated for fruit size (27%). The number of fruits per plant, with the highest genotypic coefficient of variation (33%) and the greatest expected response to selection (24%), was identified as the most important trait for improving fruit yield. Correlation analysis revealed that fruit yield had significant positive correlations with the number of fruits per plant ($r = 0.52$) and fruit size ($r = 0.39$), highlighting the important role of these traits in increasing yield. On the other hand, inbreeding depression was estimated at approximately 10% for fruit yield and 28% for the number of fruits per plant, indicating that the reduction in F_2 yield was mainly attributable to a decrease in the number of fruits per plant. In addition, the reduced fruit uniformity and firmness observed in the F_2 generation indicated that inbreeding negatively affects not only yield but also fruit quality and marketability.

Conclusion: Overall, the results of this study demonstrated that the F_2 population of the Brenta cultivar possesses sufficient genetic variability for effective selection. The number of fruits per plant, owing to its high heritability, substantial genetic variability, and positive association with fruit yield, can be considered the most effective selection criterion in breeding programs. However, yield improvement should be pursued simultaneously with the maintenance of quality traits, particularly fruit firmness and uniformity, to ensure that the resulting lines combine high yield with suitable quality for commercial production. The findings of this study can contribute to the development of superior lines, the design of effective breeding programs, and the reduction of dependence on imported hybrid seeds.

Keywords: Generation mean analysis, Genetic parameters, Hybrid, Plant breeding, Response to selection

Citation: Rezazadeh, S., Etehadpour, M., & Pourghasemian, N. (2026). Heritability and genetic diversity of important traits in Tomato (*Solanum lycopersicum*) population derived from Brenta cultivar. *Plant Production and Genetics*, *7*(2), 241-252. https://doi.org/10.22034/plant.2026.146257.1206

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد ۷، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، صفحات ۲۵۲-۲۴۱

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/plant.2026.146257.1206

بررسی وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی صفات مهم گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در جمعیت حاصل از رقم برنتا

صادق رضازاده[۱]، مرضیه اتحادپور*[۱]، نسیبه پورقاسمیان[۱]

۱. گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: etehadpour@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۵/۰۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۵/۱۶

چکیده

مقدمه: گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات سبزی و صیفی جهان است که همواره مورد توجه برنامه‌های اصلاح نباتات قرار داشته است. رقم هیبرید برنتا یکی از ارقام تجاری موفق گوجه‌فرنگی در جنوب کشور است که سطح زیر کشت قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. با وجود اهمیت اقتصادی این رقم، اطلاعات محدودی درباره رفتار ژنتیکی نسل‌های تفکیک‌شونده آن، به‌ویژه نسلF_2، در دسترس است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی، برآورد پارامترهای ژنتیکی، تعیین وراثت‌پذیری صفات مورفولوژیک و عملکردی، ارزیابی میزان پسروی ناشی از درون‌زادآوری و شناسایی صفات مناسب برای گزینش در جمعیت‌های حاصل از رقم برنتا انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، ۱۰۰ بوته نسل F_1 و ۱۰۰۰ بوته نسل F_2 در شرایط گلخانه‌ای کشت شدند و ۹ صفت شامل طول و عرض میوه، یکنواختی میوه، سفتی میوه، شکل کاسبرگ، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه، اندازه میوه و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی قابلیت انتخاب صفات، پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس‌های ژنتیکی و فنوتیپی، ضرایب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی، وراثت‌پذیری عمومی، پاسخ مورد انتظار به گزینش و میزان پسروی درون‌زادآوری محاسبه شد. همچنین، روابط بین صفات با استفاده از ضرایب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت تا مهم‌ترین اجزای مؤثر بر عملکرد شناسایی شوند.

نتایج: نتایج نشان داد که اختلاف میانگین بین دو نسل در تمامی صفات، به‌جز اندازه میوه، معنی‌دار بود که بیانگر وجود پسروی ناشی از درون‌زادآوری در نسل F_2 است. بیشترین وراثت‌پذیری عمومی به ارتفاع بوته (۷۵ درصد) و تعداد میوه در بوته (۷۰ درصد) اختصاص داشت، در حالی که کمترین مقدار برای اندازه میوه (۲۷ درصد) برآورد شد. تعداد میوه در بوته با بیشترین ضریب تغییرات ژنتیکی (۳۳ درصد) و بالاترین پاسخ مورد انتظار به گزینش (۲۴ درصد)، مهم‌ترین صفت برای بهبود عملکرد شناخته شد. بررسی همبستگی‌ها نشان داد که عملکرد میوه با تعداد میوه در بوته ($r=۰/۵۲$) و اندازه میوه ($r=۰/۳۹$) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، که نشان‌دهنده نقش کلیدی این صفات در افزایش عملکرد است. از سوی دیگر، میزان پسروی درون‌زادآوری برای عملکرد میوه حدود ۱۰ درصد و برای تعداد میوه در بوته ۲۸ درصد برآورد شد که نشان می‌دهد کاهش عملکرد نسل F_2 عمدتاً ناشی از کاهش تعداد میوه در بوته است. علاوه بر این، کاهش یکنواختی و سفتی میوه در نسل F_2 بیانگر آن است که درون‌زادآوری نه تنها بر عملکرد، بلکه بر کیفیت و بازارپسندی محصول نیز تأثیر منفی می‌گذارد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که جمعیت F_2 رقم برنتا از تنوع ژنتیکی کافی برای انجام گزینش برخوردار است و تعداد میوه در بوته، به‌دلیل وراثت‌پذیری بالا، تنوع ژنتیکی مناسب و ارتباط مثبت با عملکرد، مؤثرترین شاخص انتخاب در برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود. با این حال، بهبود عملکرد باید هم‌زمان با حفظ صفات کیفی، به‌ویژه سفتی و یکنواختی میوه، دنبال شود تا لاین‌های حاصل علاوه بر عملکرد بالا، از کیفیت مناسب برای تولید تجاری نیز برخوردار باشند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در توسعه لاین‌های برتر، طراحی برنامه‌های به‌نژادی و کاهش وابستگی به بذرهای هیبرید وارداتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: به‌نژادی، پارامترهای ژنتیکی، پاسخ به گزینش، میانگین نسل‌ها، هیبرید

منبع: رضازاده، ص.، اتحادپور، م. و پورقاسمیان، ن. (۱۴۰۵). بررسی وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی صفات مهم گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در جمعیت حاصل از رقم برنتا، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۷(۲)، ۲۵۲-۲۴۱. https://doi.org/10.22034/plant.2026.146257.1206

CC BY

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanum lycopersicum* L.)، گیاهی دیپلوئید از خانواده بادمجانیان است که بر اساس گزارش‌های Hatamifard و همکاران (۲۰۲۴)، پس از سیب‌زمینی، دومین محصول سبزی پرمصرف در جهان محسوب می‌شود. این گیاه به‌دلیل تطبیق‌پذیری با شرایط اقلیمی متنوع، از مناطق گرمسیری تا معتدل، نقشی حیاتی در اقتصاد کشاورزی ایفا می‌کند. از منظر سلامت، Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) تأکید می‌کنند که گوجه‌فرنگی یک «غذای محافظ» است که سرشار از ویتامین‌های A و C، آنتی‌اکسیدان‌های فنولیک و به‌ویژه لیکوپن است. Meena و Bahadur (۲۰۱۵) در پژوهش خود اشاره دارد که لیکوپن به‌عنوان قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان کاروتنوئیدی، نقش موثری در پیشگیری از سرطان‌های پروستات و ریه و بیماری‌های قلبی دارد. ایران یکی از قطب‌های اصلی تولید گوجه‌فرنگی در جهان است. بر اساس آمارهای فائو، رتبه تولید ایران در سال ۲۰۲۴ جایگاه دوازدهم جهان را به خود اختصاص داده است و مقدار تولید ۳/۲ میلیون تن می‌باشد (Faostat, 2024). با این حال، Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) به یک چالش بنیادین اشاره می‌کنند: «بیش از ۹۵ درصد از بذور هیبرید سبزی و صیفی مورد نیاز کشور سالانه از طریق واردات تأمین می‌شود». این موضوع نه تنها منجر به خروج مقادیر کلان ارز می‌شود، بلکه به‌دلیل عدم پایداری برخی ارقام وارداتی در برابر تنش‌های بومی، امنیت غذایی را تهدید می‌کند. بنابراین، دستیابی به دانش فنی تولید هیبریدهای داخلی با استفاده از ارقام تجاری مطرح همچون برنتا، متین و ۸۳۲۰، یک ضرورت راهبردی است.

در برنامه‌های به‌نژادی، مرحله بحرانی برای یک اصلاح‌گر، نسل F2 است. Prakoso Mawasid و همکاران (۲۰۲۴) معتقدند انتخاب در این نسل مستلزم درک دقیق از پارامترهای ژنتیکی و نحوه توارث صفات است. گزینش بر اساس عملکرد به تنهایی به‌دلیل پلی‌ژنیک بودن این صفت، بسیار مخاطره‌آمیز است و باید بر روی اجزای عملکرد تمرکز کرد. تنوع ژنتیکی ماده خام اولیه برای هر برنامه اصلاحی موفق است. Ashraf و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی ۱۸ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی نشان دادند که صفاتی نظیر وزن میوه و تعداد میوه در بوته بیشترین سهم را در ایجاد تنوع ژنتیکی دارا هستند. آن‌ها با محاسبه ضریب تغییرات ژنتیکی (GCV) و فنوتیپی (PCV) دریافتند که کوچک بودن اختلاف بین این دو ضریب، نشان‌دهنده تأثیر ناچیز محیط بر بروز صفت است. Hatamifard و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای بر روی ۶۵۰ نتاج نسل ششم (F6)، تنوع بالایی را در صفاتی مانند اسیدیته، ماندگاری و عملکرد تک‌بوته گزارش کردند. آن‌ها با استفاده از آماره‌های توصیفی اثبات نمودند که دامنه تغییرات عملکرد در نسل‌های در حال تفرق بسیار گسترده است، که این امر فرصت طلایی برای گزینش تک‌بوته‌های پرمحصول را فراهم می‌آورد.

وراثت‌پذیری مشخص می‌کند که چه بخشی از تنوع مشاهده شده قابل انتقال به نتاج است. Binu (۲۰۲۲) در ارزیابی جمعیت‌های F2 دریافت که تمام صفات مورد مطالعه (به جز تعداد شاخه در بوته) دارای وراثت‌پذیری عمومی بالایی بودند. با این حال، او تأکید می‌کند که وراثت‌پذیری به تنهایی کافی نیست و باید با «پیشرفت ژنتیکی» همراه باشد. Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی هیبریدهای متین و ۸۳۲۰ گزارش کردند که وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد تک‌بوته در برخی تلاقی‌ها بیش از ۸۰ درصد بود، اما وراثت‌پذیری خصوصی مقادیر کمتری را نشان داد که بیانگر نقش اثرات غیرافزایشی ژن در کنترل این صفات است. Afful و همکاران (۲۰۲۰) نیز در مطالعات خود بر روی خانواده بادمجانیان، مقادیر بالای وراثت‌پذیری را برای صفاتی مانند طول میوه و تعداد بذر گزارش کرده‌اند که نشان‌دهنده پتانسیل بالای گزینش فنوتیپی است.

از آنجا که عملکرد میوه صفتی پیچیده است، انتخاب مستقیم برای آن ممکن است کارایی لازم را نداشته باشد. Çelik و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از تجزیه علیت نشان دادند که وزن میوه و تعداد میوه در بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد کل دارند. آن‌ها دریافتند که صفاتی مانند تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی اثر منفی بر عملکرد داشتند. Prabhu و همکاران (۲۰۲۵) با ترسیم دیاگرام‌های علیت، روابط پیچیده بین اجزای عملکرد را تبیین کردند. همچنین Meena و Bahadur (۲۰۱۵) در ژرم‌پلاسم گوجه‌فرنگی مشاهده کرد که وزن میوه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری (۰/۶۲) با عملکرد داشت. او معتقد است که انتخاب بر اساس وزن تک‌میوه و تعداد گل در گل آذین، به‌دلیل اثر مستقیم بالا، مطمئن‌ترین راه برای بهبود عملکرد است.

درک نوع عمل ژن برای انتخاب روش اصلاحی ضروری است. Damor و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه

میانگین نسل‌ها، نقش اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی را در کنترل صفات بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که در برخی خانواده‌ها، اثرات متقابل ژنی (اپیستازی) مانند مدل‌های شش پارامتری، نقش کلیدی در توارث ضخامت پریکارپ و مواد جامد محلول (TSS) ایفا می‌کند. Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) با برآورد پارامترهای ژنتیکی در نسل‌های F1، F2 و F3 دریافتند که در اکثر صفات، واریانس غالبیت بزرگتر از واریانس افزایشی بود، که منجر به درجه غالبیت بزرگتر از یک (فوق غالبیت) شد. این یافته نشان می‌دهد که برای بهبود این صفات، استفاده از پدیده هتروزیس و تولید بذر هیبرید نسبت به روش‌های مبتنی بر خالص‌سازی (الین‌های اینبرد) ارجحیت دارد.

Prakoso Mawasid و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که پاسخ به گزینش در نسل‌های اولیه (F2 و F3) مثبت بوده اما در نسل‌های پیشرفته به‌دلیل تثبیت ژن‌ها و کاهش واریانس، سرعت پیشرفت کمتر می‌شود. آن‌ها هشدار دادند که در شرایط تنش محیطی، اثرات اپیستازی غالب شده و برتری ژنوتیپ‌ها در نسل‌های اولیه ممکن است در نسل‌های پیشرفته (به‌دلیل از دست رفتن ترکیبات ژنی غیرافزایشی) ناپدید شود.

بنابراین، بررسی همزمان تنوع ژنتیکی، پارامترهای ژنتیکی، نوع عمل ژن و روابط بین صفات در نسل‌های در حال تفرق، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و طراحی راهبردهای مؤثر اصلاحی فراهم سازد. با توجه به اهمیت شناخت تنوع ژنتیکی و نحوه توارث صفات مؤثر بر عملکرد در برنامه‌های اصلاحی گوجه‌فرنگی، این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی، برآورد پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مهم مورفولوژیک و عملکردی در جمعیت‌های F1 و F2 حاصل از رقم برنتا انجام شد. همچنین، شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد و تعیین روابط بین اجزای عملکرد از دیگر اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پارامترهای ژنتیکی صفات مهم زراعی گوجه فرنگی رقم برنتا، نسل F_1 این رقم خودگشن گردید تا نسل F_2 حاصل گردد. برای این منظور یک بوته انتخاب شد و فقط از میوه‌های همان بوته بذرگیری شد. بذرهای نسل‌های F_1 و F_2 در تاریخ ۲۹ فروردین ۱۴۰۴ در گلخانه پژوهشگاه افضلی‌پور دانشگاه شهید باهنر کرمان در سینی کشت و در بستر کوکوپیت و پرلیت مورد کشت قرار گرفتند و با آبیاری روزانه و تغذیه منظم پس از یک ماه نشاء حاصل شد. نشاءکاری در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۴ در گلخانه پژوهشگاه افضلی پور در بستر کوکوپیت و پرلیت انجام شد. از نسل‌های F_1 و F_2 به‌ترتیب ۱۲۰ و ۱۰۰۰ نشاء کشت گردید. ۱۰۰ بوته F_1 مورد اندازه‌گیری قرار گرفت ولی به‌دلیل از بین رفتن برخی از بوته‌ها و همچنین حذف داده-های پرت تعداد نتاج نسل F_2 کمتر از ۱۰۰۰ بود. برای حذف داده‌های پرت، داده‌های نسل F_1 و F_2 به‌طور جداگانه استاندارد شدند و در صورتی که در نسل‌های F_1 و F_2 داده استاندارد به‌ترتیب بیش از ۲/۵ و ۳ بود داده پرت حذف شد. تعداد بوته باقی‌مانده پس از حذف داده پرت در جدول ۱ آورده شده است. از آنجا که ماده آزمایشی در گلخانه یکنواخت بود، تجزیه واریانس بر اساس طرح کاملا تصادفی انجام شد و بوته‌ها در هر نسل به عنوان تکرار در نظر گرفته شدند.

صفات مورد ارزیابی: در این پژوهش صفات عرض میوه، طول میوه، یکنواختی میوه، سفتی میوه، شکل کاسبرگ، تعداد میوه، عملکرد میوه، اندازه میوه و ارتفاع بوته اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری یکنواختی میوه از مقیاس نمره-دهی یک تا پنج استفاده شد. به‌طوری که اگر میوه‌های درون یک بوته هم‌اندازه باشند نمره پنج و در صورتی که تفاوت سایز میوه‌های روی یک بوته بسیار زیاد باشد نمره یک را دریافت کردند. هر چه یکنواختی میوه‌های روی یک بوته بیشتر بود نمره به پنج و در غیراین صورت به یک نزدیک می‌شد. برای اندازه‌گیری سفتی میوه نیز از مقیاس نمره‌دهی یک تا پنج استفاده شد به‌طوری که میوه‌های سفت نمره پنج دریافت کردند. برای شکل کاسبرگ نیز از مقیاس یک تا پنج استفاده گردید. در این مقیاس اگر کاسبرگ کاملا به سمت پایین متمایل بود نمره یک، در صورتی که کمی به سمت پایین متمایل بود نمره دو، در صورتی که افقی قرار می‌گرفت نمره سه، در صورتی که کمی به سمت بالا بود نمره چهار و در صورتی که کاملا به سمت بالا می‌چرخید نمره پنج دریافت می‌کرد. بهترین شکل کاسبرگ از لحاظ بازارپسندی نمره سه است. تعداد میوه در بوته در هر برداشت مشخص شد و با جمع تعداد میوه در تمام چین‌ها، تعداد میوه در بوته تعیین گردید. با جمع وزن میوه در تمام چین‌ها، عملکرد میوه در بوته اندازه‌گیری شد. اندازه میوه نیز با استفاده از معیار یک تا پنج تعیین شد و به ریزترین میوه نمره یک و به درشت‌ترین میوه نمره پنج

داده شد. ارتفاع بوته در تاریخ ۲۰ مرداد ۱۴۰۴ با استفاده از متر اندازه‌گیری شد.

پارامترهای ژنتیکی: برای هر صفت واریانس درون نسل‌های F1 و F2 محاسبه گردید. از آنجایی که نسل F1 از تلاقی دو لاین خالص ایجاد شده است (رقم برنتا یک هیبرید سینگل کراس است) تمام بوته‌های F1 از لحاظ ژنتیکی مشابه هم هستند و تنوع درون این نسل نشان‌دهنده تنوع محیطی (V_E) است. در نسل F2 تفرق ژنتیکی داریم و محیط نیز تاثیرگذار است. بنابراین واریانس درون نسل F2 شامل بخش ژنتیکی و محیطی است که به آن واریانس فنوتیپی (V_P) می‌گویند. از تفاضل واریانس نسل‌های F1 و F2، واریانس ژنتیکی (V_G) حاصل می‌شود. از تقسیم واریانس ژنتیکی (V_G) به واریانس فنوتیپی (V_P) وراثت‌پذیری عمومی (h^2_{bs}) حاصل گردید (معادله ۱).

$$h^2_{bs} = \frac{V_G}{V_P}$$ معادله (۱)

ضریب تغییرات ژنتیکی (CV_G) از تقسیم ریشه دوم V_G به میانگین صفت حاصل گردید و ضریب تغییرات فنوتیپی (CV_P) از تقسیم ریشه دوم V_P به میانگین صفت محاسبه گردید. میزان پاسخ به گزینش (R) با استفاده از رابطه $ih^2_b\sigma_p$ برآورد گردید (معادله ۲) (Falconer & Mackay, 1996).

$$R = ih^2\sigma_P$$ معادله (۲)

در این رابطه i، h^2 و σ_p به‌ترتیب شدت گزینش، وراثت‌پذیری و انحراف معیار فنوتیپی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن گزینش ۱۰٪ افراد برتر برای هر صفت، i برابر با ۱/۶۹۴ است. با تقسیم پاسخ به گزینش به میانگین هر صفت، درصد پاسخ به گزینش محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان پسروی درون زادآوری (ID) تفاضل میانگین دو نسل F1 و F2 در هر صفت (F1-F2) به میانگین نسل F1 تقسیم گردید. تمام محاسبات مربوط به این بخش با فرمول نویسی در R (4.5.3, R Core Team, 2026) انجام شد.

آنالیزهای آماری: تمام آزمون‌های آماری و رسم شکل با استفاده از R (4.5.3, R Core Team, 2026) انجام شد. برای بررسی معنی‌داری میانگین دو نسل F1 و F2 از پکیج agricolae (1.3-7, de Mendiburu, 2023)، برای رسم شکل توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 از پکیج ggplot2 (Wickham, 2016)، برای نمایش چند شکل توزیع فراوانی در یک قاب از پکیج cowplot (1.2.0, Wilke, 2025)، برای محاسبه همبستگی صفات از پکیج Hmisc (5.2-6, Harrell, 2026) و برای نمایش همبستگی صفات به صورت گرافیکی از پکیج ggcorrplot (0.1.4.1, Kassambara, 2023) استفاده شد.

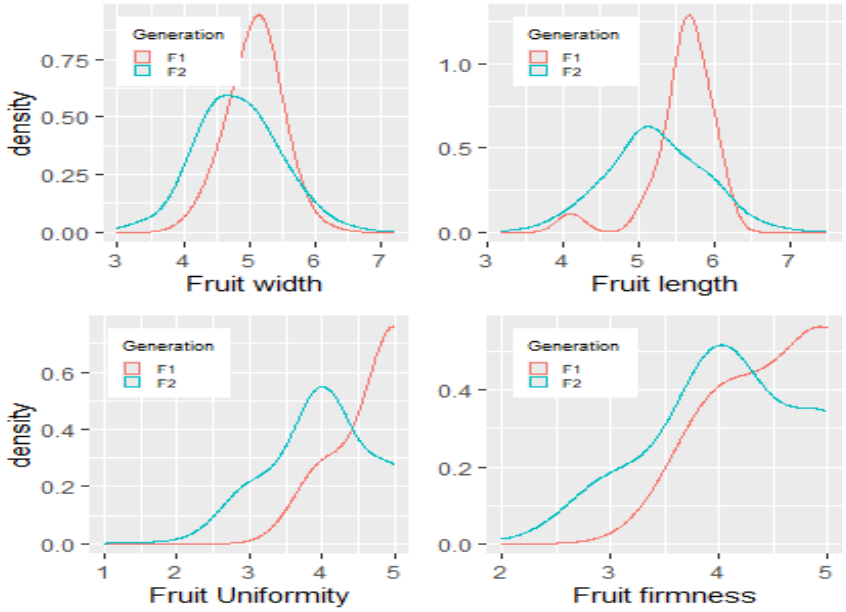
نتایج و بحث

نتایج نشان داد اختلاف میانگین نسل‌های F1 و F2 در تمام صفات به جز اندازه میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهد در رابطه با تمام صفات به جز اندازه میوه درجه‌ای از غالبیت وجود دارد که منجر به پس‌روی درون‌زادآوری در نسل F2 شده است. در تمام صفاتی که اختلاف میانگین نسل‌های F1 و F2 معنی‌دار بود، به جز شکل کاسبرگ، میانگین F1 بیشتر از F2 بود. در پژوهش Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) نیز نقش ژن‌های غیرافزایشی و درنهایت هتروزیس به خوبی اثبات شده است.

جدول ۱- اندازه نمونه، حداقل، حداکثر و میانگین صفات مورد بررسی در نسل‌های F_1 و F_2

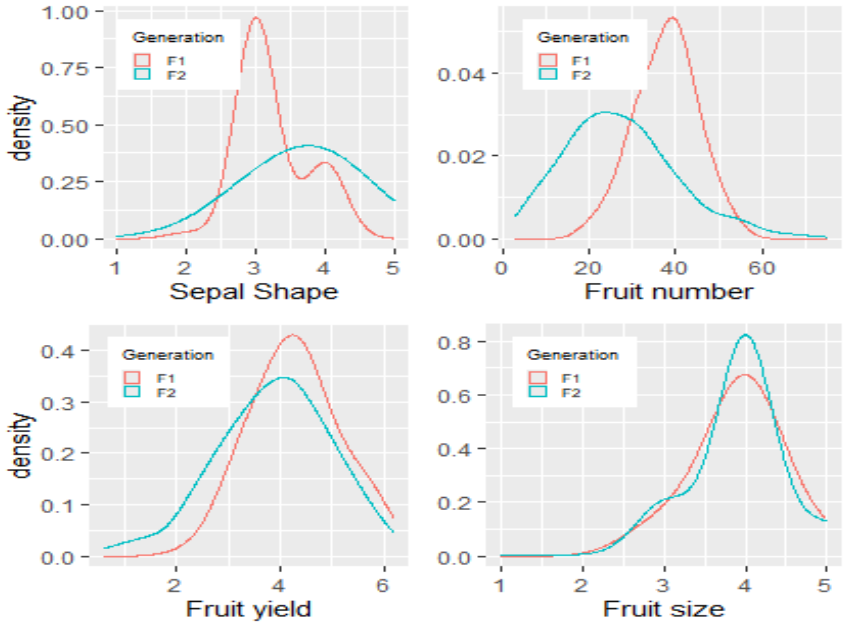
صفت	نسل	اندازه نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین ± انحراف معیار	معنی‌داری میانگین F_1 و F_2
عرض میوه (cm)	F_1	۱۰۰	۴/۰	۶/۲	۵/۰۷۵ ± ۰/۳۸۵	***
	F_2	۹۷۴	۳/۰	۷/۲	۴/۸۲۴ ± ۰/۶۳۰	
طول میوه (cm)	F_1	۱۰۰	۴/۰	۶/۲	۵/۵۸۹ ± ۰/۴۳۰	***
	F_2	۹۷۴	۳/۲	۷/۵	۵/۲۲۲ ± ۰/۶۴۴	
یکنواختی میوه	F_1	۱۰۰	۴/۰	۵/۰	۴/۷۴۰ ± ۰/۴۴۱	***
	F_2	۹۷۴	۱/۰	۵/۰	۴/۰۴۳ ± ۰/۶۹۹	
سفتی میوه	F_1	۱۰۰	۴/۰	۵/۰	۴/۵۹۰ ± ۰/۴۹۴	***
	F_2	۹۷۴	۲/۰	۵/۰	۴/۱۵۰ ± ۰/۶۹۸	
شکل کاسبرگ	F_1	۱۰۰	۲/۰	۴/۰	۳/۲۳۰ ± ۰/۴۶۸	***
	F_2	۹۷۴	۱/۰	۵/۰	۳/۶۷۸ ± ۰/۶۸۱	
تعداد میوه در بوته	F_1	۱۰۰	۲۰	۵۴	۳۷/۸۰ ± ۷/۱۴	***
	F_2	۹۷۴	۳	۷۵	۲۷/۳۴ ± ۱۳/۰۱	
عملکرد میوه (kg/plant)	F_1	۱۰۰	۲/۲	۶/۲	۴/۲۹۸ ± ۰/۸۴۰	***
	F_2	۹۷۴	۰/۶	۶/۰	۳/۸۷۲ ± ۱/۱۰۲	
اندازه میوه	F_1	۱۰۰	۳/۰	۵/۰	۳/۹۳۰ ± ۰/۴۷۷	ns
	F_2	۹۷۴	۱/۰	۵/۰	۳/۹۱۰ ± ۰/۵۵۹	
ارتفاع بوته (cm)	F_1	۱۰۰	۱۶۲	۲۴۷	۲۰۰/۳۲ ± ۱۳/۲۴	***
	F_2	۹۷۴	۴۰	۲۰۰	۱۸۴/۱۱ ± ۲۶/۶۹	

نمودار توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 برای صفات عرض میوه، طول میوه، یکنواختی میوه و سفتی میوه در شکل ۱ آورده شده است. نتایج آزمون شاپیرو نشان داد برای این صفات در نسل F2 توزیع نرمال است ولی در نسل F1 برای صفات طول و عرض میوه نرمال و برای سفتی و یکنواختی میوه نرمال نیست. دلیل این امر این است که دامنه تغییر هر دو صفت از ۴ تا ۵ است و اکثر بوته‌ها نمره ۵ دریافت کرده بودند. سفتی و یکنواختی میوه اهمیت تجاری بسیار زیادی دارند و این رقم از لحاظ هر دو صفت عالی است. این نتایج نشان می‌دهد در به‌نژادی این صفت ژن‌های مطلوب در این رقم هرمی شده است و به‌همین دلیل توزیع نسل F1 به سمت بالا متمایل است. در این شکل نیز به خوبی مشخص است که میانگین نسل F1 در همه صفات از F2 بیشتر است و پسروی درون‌زادآوری را تایید می‌نماید. نتایج شکل ۱ کاملا با نتایج جدول ۱ مطابقت دارد.



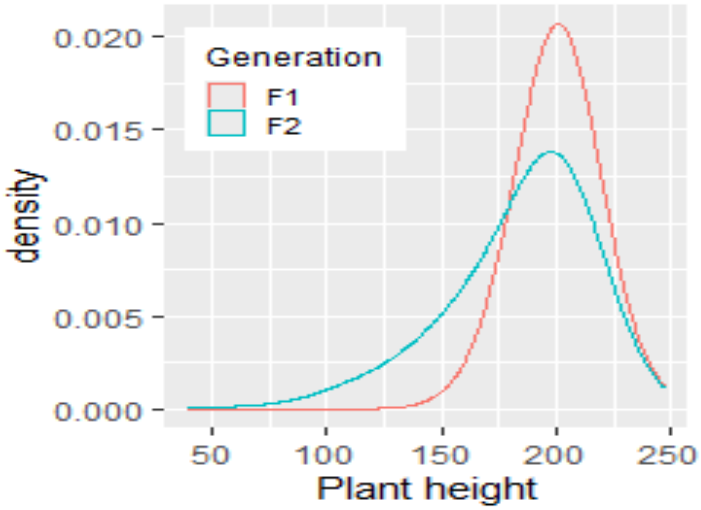
شکل ۱- نمودار توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 حاصل از رقم برنتا در صفات عرض، طول، یکنواختی و سفتی میوه

نمودار توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 برای صفات شکل کاسبرگ، تعداد میوه، عملکرد میوه و اندازه میوه در شکل ۲ آورده شده است. نتایج آزمون شاپیرو نشان داد برای این صفات در نسل‌های F1 و F2 توزیع نرمال است. در این شکل میانگین نسل F1 برای صفات تعداد میوه و عملکرد میوه از F2 بیشتر است و پسروی درون‌زادآوری در این صفات را تایید می‌نماید. میانگین نسل F1 برای صفت شکل کاسبرگ از F2 کمتر است منطبق بودن الگوی توزیع نسل‌های F1 و F2 در صفت اندازه میوه نشان دهنده تنوع ژنتیکی پایین و عدم وجود پسروی درون‌زادآوری در این صفت است. نتایج شکل ۲ تایید کننده نتایج جدول ۱ است.



شکل ۲- نمودار توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 حاصل از رقم برنتا در صفات شکل کاسبرگ و تعداد، عملکرد و اندازه میوه

آزمون شاپیرو نشان داد توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 برای ارتفاع بوته نرمال است. در رابطه با این صفت هتروزیس مثبت مشاهده کردید (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های جدول ۱ مطابقت دارد.



شکل ۳- نمودار توزیع فراوانی نسل‌های F1 و F2 حاصل از رقم برنتا در صفت ارتفاع بوته

بررسی وراثت‌پذیری صفات مورد بررسی نشان داد اندازه میوه کمترین (۰/۲۷) و ارتفاع بوته بیشترین (۰/۷۵) وراثت-پذیری عمومی را دارند. به جز صفات اندازه میوه (۰/۲۷) و عملکرد میوه (۰/۴۲)، سایر صفات وراثت‌پذیری قابل توجهی داشتند (جدول ۲). Hatamifard و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان دادند عملکرد میوه وراثت‌پذیری پایین ولی تعداد میوه در گل آذین وراثت‌پذیری بالایی دارد. پایین بودن وراثت-پذیری عملکرد میوه نشان می‌دهد گزینش برای این صفت کارایی بالایی ندارد. برای بهبود عملکرد میوه می‌توان تعداد میوه در بوته و یا اندازه میوه را افزایش داد. به عبارت دیگر اجزای عملکرد میوه گوجه فرنگی، تعداد میوه در بوته و وزن میوه است. در این مطالعه اندازه میوه وراثت‌پذیری پایینی داشت و برای بهبود عملکرد میوه صفت مناسبی نیست. از طرف دیگر بازارپسندی میوه‌های درشت در گوجه فرنگی بسیار پایین است و بازار میوه‌های سایز متوسط را ترجیح می‌دهد. با در نظر گرفتن این موارد، اندازه میوه صفت مهم و تاثیرگذاری برای بهبود عملکرد میوه در گوجه فرنگی نیست. صفت تعداد میوه در بوته با وراثت‌پذیری بالا (۰/۷۰) صفت بسیار مهم و تاثیرگذاری برای بهبود عملکرد گوجه فرنگی است (جدول ۲). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد تعداد میوه در بوته وراثت‌پذیری بالائی دارد و همبستگی آن با عملکرد نیز بالا است (Meena &Bahadour, 2014).

درصد پاسخ به گزینش از ٪۶/۵۷ برای اندازه میوه تا ٪۲۳/۶۴ برای تعداد میوه در بوته متغیر است. صفت تعداد میوه در بوته با وراثت‌پذیری و پاسخ به گزینش بالا صفت مناسبی برای بهبود عملکرد در واحد سطح محسوب می-گردد و توجه به این صفت می‌تواند باعث افزایش تولید مویوه گوجه‌فرنگی در واحد سطح شود. همه صفات، به جز اندازه میوه، از پاسخ به گزینش خوبی برخوردار بودند (جدول ۲).

جدول ۲- پارامترهای ژنتیکی صفات مورد بررسی حاصل از نسل‌های F1 و F2 حاصل از رقم گوجه فرنگی برنتا

صفت	واریانس ژنتیکی (V_G)	واریانس محیطی (V_E)	واریانس فنوتیپی (V_P)	ضریب تغییرات ژنتیکی (CV_G)	ضریب تغییرات فنوتیپی (CV_P)	درصد پاسخ به گزینش (R%)	پسروی درون-زادآوری (ID%)
عرض میوه	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۴۰	۱۰/۰۶	۱۲/۷۳	۱۳/۴۸	۴/۹۵
طول میوه	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۴۱	۸/۸۵	۹۰/۱۱	۱۴/۱۱	۶/۵۹
یکنواختی میوه	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۴۹	۱۲/۳۷	۱۵/۹۳	۱۶/۲۶	۱۴/۷۰
سفتی میوه	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۹	۱۱/۲۸	۱۵/۹۸	۱۳/۵۰	۹/۵۹
شکل کاسبرگ	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۴۶	۱۴/۳۱	۱۹/۷۱	۱۷/۶۰	۱۲/۱۷
تعداد میوه	۱۱۸/۲۳	۵۰/۹۵	۱۶۹/۱۷	۳۳/۳۸	۳۹/۹۳	۲۳/۶۴	۲۷/۶۷
عملکرد میوه	۰/۵۱	۰/۷۱	۱/۲۱	۱۷/۴۳	۲۶/۹۷	۱۹/۱۰	۹/۹۱
اندازه میوه	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۳۱	۷/۴۳	۱۴/۲۵	۶/۵۷	۰/۵۱
ارتفاع بوته	۵۳۷/۲۰	۱۷۵/۲۱	۷۱۲/۴۱	۱۲/۰۶	۱۳/۸۹	۱۷/۷۳	۸/۰۹

شرط اساسی برای پاسخ به گزینش در برنامه‌های به‌نژادی وجود تنوع ژنتیکی مناسب در مواد ژنتیکی است. صفات اندازه میوه (۷/۴۳٪) و طول میوه (۸/۵۸٪) با داشتن حداقل ضریب تغییرات ژنتیکی کم‌ترین تنوع ژنتیکی را داشتند. سایر صفات از تنوع ژنتیکی قابل قبولی برخوردار بودند و بیشترین تنوع ژنتیکی مربوط به تعداد میوه در بوته (۳۳/۳۸٪) بود. اختلاف کم ضریب تغییرات ژنتیکی (۳۳٪) و ضریب تغییرات فنوتیپی (۴۰٪) نشان دهنده تاثیر کم محیط بر این صفت است. وراثت‌پذیری بالای این صفت (۷۰٪) نیز این موضوع را تأیید می‌نماید (جدول ۲).

یافته‌های این پژوهش با نتایج Binu (2022)، Afful و همکاران (۲۰۲۰) و Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) همسو است که گزارش کردند صفات دارای وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی زیاد، عمدتاً تحت کنترل اثرات افزایشی ژن‌ها قرار دارند و برای انتخاب مستقیم مناسب‌تر هستند.

برخی از کشاورزان از نسل F1 رقم برنتا بذرگیری می‌نمایند و از بذر نسل F2 در سال بعد استفاده می‌نمایند. در این موارد میزان پسروی درون‌زادآوری از اهمیت بسیاری برخوردار خواهد بود. در این حالت عملکرد میوه ۹/۹۱ درصد افت خواهد داشت که میزان قابل توجهی است. اندازه میوه و تعداد میوه در بوته اجزای عملکرد میوه هستند وضریب درون‌زادآوری آنها به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۲۷/۶۷ درصد است (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد درون زادآوری تاثیر کمی بر روی اندازه میوه دارد و با کاهش تعداد میوه در بوته عملکرد نسل F2 را کاهش می‌دهد.

درون زادآوری بیش از عملکرد میوه (۹/۹۱ درصد) بر روی یکنواختی میوه (۱۴/۷۰ درصد) تاثیر دارد. تاثیر درون-زادآوری بر سفتی میوه (۹/۵۹ درصد) نیز میزان قابل توجهی است (جدول ۲). یکنواختی و سفتی میوه تاثیر بسیار زیادی بر بازارپسندی گوجه فرنگی دارد. بنابراین، استفاده از نسل F2 نه تنها باعث کاهش عملکرد بلکه باعث کاهش یکنواختی، سفتی و ارزش میوه نیز می‌گردد. این کاهش ارزش باعث شده است که کشاورزان تولید کننده عمده گوجه فرنگی از بذر F1 استفاده نمایند. این نتایج بیانگر آن است که بخش مهمی از برتری هیبرید برنتا ناشی از هتروزیس و اثرات غیرافزایشی ژن است که در اثر خودگشنی کاهش یافته‌اند. یافته‌های حاضر با گزارش Rahimi و همکاران (۲۰۲۳) درباره نقش غالبیت و فوق‌غالبیت در کنترل صفات کمی و همچنین نتایج Damor و همکاران (۲۰۲۱) درباره اهمیت برهم‌کنش‌های ژنی در توارث صفات عملکردی همخوانی دارد.

بنابراین، استفاده مجدد از بذرهای F_2 برای تولید تجاری توصیه نمی‌شود، زیرا کاهش عملکرد و کیفیت می‌تواند سودآوری تولید را به‌طور محسوسی کاهش دهد.

بررسی همبستگی صفات نشان داد عملکرد میوه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تعداد میوه در بوته ($r = 0/52^{**}$)،

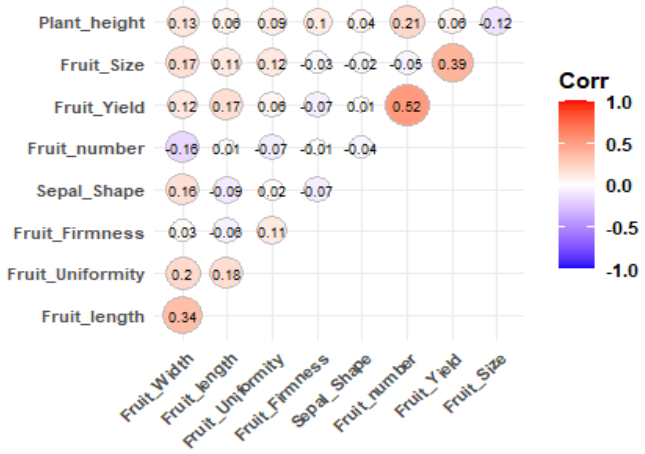
اندازه میوه ($r = 0/39^{**}$)، طول میوه ($r = 0/17^{**}$)، عرض میوه ($r = 0/12^{**}$)، سفتی میوه ($r = -0/07^{*}$) و ارتفاع بوته ($r = 0/06^{*}$) قرار می‌گیرد (جدول ۳ و شکل ۴). علی رغم معنی‌دار بودن، همبستگی عملکرد میوه با طول میوه، عرض میوه، سفتی میوه و ارتفاع بوته کوچک است و از لحاظ کاربردی احتمالا کارایی لازم را نخواهد داشت. ارتباط بین عملکرد و ابعاد، اندازه و تعداد میوه در پژوهش‌های متعددی به اثبات رسیده است (Meena & Bahadour, 2014; ÇELİK *et al*,. 2023; Ashraf *et al*., 2025). این نتایج تاثیر معنی‌دار دو جزء عملکرد، تعداد میوه در بوته و اندازه میوه، بر عملکرد میوه را به خوبی نشان می‌دهد. با افزایش این دو صفت عملکرد افزایش می‌یابد. از آنجا که وراثت پذیری اندازه میوه کم (۰/۲۷) است (جدول ۲)، این صفت در عمل نمی‌تواند اهمیت برجسته‌ای داشته باشد. از طرف دیگر تعداد میوه در بوته با وراثت‌پذیری بالا (۰/۷۰) (جدول ۲) و همبستگی بالا با عملکرد میوه، می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود عملکرد میوه داشته باشد. همچنین نتایج همبستگی نشان داد با افزایش طول و عرض میوه و ارتفاع بوته می‌توان عملکرد میوه را افزایش داد. افزایش طول و عرض میوه از لحاظ بازارپسندی مطلوب نیست و بازار، میوه‌های سایز متوسط (مانند رقم برنتا) را به میوه‌های سایز درشت (مانند رقم ۸۳۲۰) ترجیح می‌دهد. ارتفاع بوته نیز همبستگی ضعیفی با عملکرد دارد. بنابراین، برای بهبود عملکرد به‌نژادگران گوجه‌فرنگی بایستی توجه ویژه‌ای به تعداد میوه در بوته داشته باشند. همبستگی ضعیف و منفی بین عملکرد و سفتی میوه نشان می‌دهد افزایش عملکرد باعث از دست رفتن سفتی میوه می‌گردد. در پایان، به‌نژادگر بایستی تعادل مناسبی بین تعداد میوه، اندازه میوه و سفتی میوه برقرار نماید و افزایش عملکرد میوه به قیمت از دست رفتن کیفیت سایر اجزای مهم که باعث بازارپسندی گوجه فرنگی می‌شوند نگردد.

جدول ۳- همبستگی صفات مورد بررسی در جمعیت F2 رقم گوجه فرنگی برنتا

	عرض میوه	طول میوه	یکنواختی میوه	سفتی میوه	شکل کاسبرگ	عملکرد میوه	اندازه میوه	ارتفاع بوته
عرض میوه	۱/۰۰							
طول میوه	۰/۳۴**	۱/۰۰						
یکنواختی میوه	۰/۲۰**	۰/۱۸**	۱/۰۰					
سفتی میوه	۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۱۱**	۱/۰۰				
شکل کاسبرگ	۰/۱۶**	-۰/۰۹*	۰/۰۲^{ns}	-۰/۰۷*	۱/۰۰			
تعداد میوه	-۰/۱۶**	۰/۰۱^{ns}	-۰/۰۷*	-۰/۰۱^{ns}	-۰/۰۴^{ns}			
عملکرد میوه	۰/۱۲**	۰/۱۷**	۰/۰۶^{ns}	-۰/۰۷*	۰/۰۱^{ns}	۱/۰۰		
اندازه میوه	۰/۱۷**	۰/۱۱**	۰/۱۲**	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۲^{ns}	۰/۳۹**	۱/۰۰	
ارتفاع بوته	۰/۱۳**	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۹*	۰/۱۰**	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۶*	-۰/۱۲**	۱/۰۰

اندازه میوه همبستگی معنی‌داری با عرض میوه ($r = 0/17^{**}$)، طول میوه ($r = 0/11^{**}$)، یکنواختی میوه ($r = 0/12^{**}$)، و ارتفاع بوته ($r = 0/06^{*}$) داشت. علی رغم معنی‌دار بودن، این همبستگی‌ها ضعیف است و از لحاظ کاربردی احتمالا کارایی لازم را نخواهد داشت. همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول و عرض میوه ($r = 0/34^{**}$) وجود داشت (جدول ۳ و شکل ۴)، که نشان دهنده تغییر هم‌زمان این دو صفت است و با تغییر هر کدام از این صفات، صفت دیگر نیز در همان جهت تغییر می‌نماید. ارتفاع بوته همبستگی معنی‌داری با عرض میوه ($r = 0/13^{**}$)، یکنواختی میوه ($r = 0/09^{*}$)، سفتی میوه ($r = 0/10^{**}$)، تعداد میوه ($r = 0/21^{**}$)، عملکرد میوه ($r = 0/06^{*}$) و اندازه میوه ($r = -0/12^{**}$) داشت (جدول ۳ و شکل ۴). علی رغم معنی‌دار بودن، این همبستگی‌ها ضعیف است و از لحاظ کاربردی احتمالا کارایی لازم را نخواهد

داشت. ارتباط مثبت بین ارتفاع بوته و عملکرد و ابعاد میوه در پژوهش Ashraf و همکاران (۲۰۲۵) نیز به اثبات رسید. این نتایج نشان می‌دهند به‌نژادی برای بهبود ارتفاع بوته منجر به افزایش عرض میوه، یکنواختی میوه، سفتی میوه، تعداد میوه و عملکرد میوه و کاهش اندازه میوه می‌گردد. از آنجائی که اندازه متوسط میوه مطلوب است، گزینش بوته-های با ارتفاع بیشتر در خلال نسل‌های خودگشنی، به‌منظور ایجاد لاین از رقم برنتا، می‌تواند به لاین‌های ارزشمندی منتهی گردد. صفات سفتی میوه، یکنواختی میوه، شکل کاسبرگ و اندازه میوه با استفاده از مقیاس امتیازی یک تا پنج ارزیابی شدند که از نظر آماری در زمره داده‌های ترتیبی قرار می‌گیرند. با این حال، مطابق با رویه رایج در بسیاری از مطالعات اصلاح نباتات و ارزیابی ژرم‌پلاسم، این امتیازها به‌عنوان متغیرهای شبه‌پیوسته در نظر گرفته شده و با استفاده از روش‌های پارامتری تجزیه و تحلیل شدند. این رویکرد بر این فرض استوار است که فاصله بین سطوح امتیاز تقریباً یکنواخت بوده و تعداد مشاهدات برای برآورد میانگین و مقایسه تیمارها کافی است.



شکل ۴- همبستگی صفات مورد بررسی در جمعیت F2 رقم گوجه فرنگی برنتا

با وجود کاربرد گسترده این روش، باید توجه داشت که تحلیل پارامتری ممکن است تمام ویژگی‌های ذاتی داده‌های ترتیبی را به‌طور کامل منعکس نکند؛ بنابراین، نتایج مربوط به این صفات باید با در نظر گرفتن این محدودیت تفسیر شوند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، جمعیت F2 حاصل از رقم برنتا از تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی برای اکثر صفات مورد بررسی برخوردار بود و این تنوع می‌تواند بستر مناسبی برای گزینش لاین‌های مناسب حاصل از این رقم، در برنامه‌های به‌نژادی فراهم آورد. وجود اختلاف معنی‌دار میانگین نسل‌ها در هشت صفت از نه صفت، نشان‌دهنده اثر غالبیت و پسروی درون‌زادآوری قابل‌ملاحظه در این رقم است. وراثت‌پذیری بالای صفات کمی مانند تعداد میوه در بوته و ارتفاع بوته، گزینش فنوتیپی را در نسل‌های اولیه مؤثر نشان می‌دهد، در حالی که وراثت‌پذیری پایین عملکرد میوه (۰/۴۲) و اندازه میوه (۰/۲۷) بیانگر آن است که انتخاب مستقیم برای این صفات در خلال نسل‌های تفکیک کارایی چندانی ندارد. تحلیل همبستگی نشان داد که تعداد میوه در بوته با همبستگی بالا با عملکرد میوه ($r = 0/52^{**}$) و وراثت‌پذیری بالا (۰/۷۰)، مهم‌ترین و مطمئن‌ترین معیار برای بهبود عملکرد میوه است. همچنین، همبستگی ضعیف منفی بین عملکرد و سفتی میوه ($r = -0/07^{*}$) هشداری برای به‌نژادگران است که افزایش عملکرد نباید با کاهش کیفیت و بازارپسندی همراه باشد. پسروی شدید درون‌زادآوری برای تعداد میوه (۲۸٪) و یکنواختی میوه (۱۵٪) نشان می‌دهد که استفاده از بذرهای F2 توسط کشاورزان نه تنها عملکرد را کاهش می‌دهد، بلکه کیفیت محصول را نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو، تأمین بذرهای هیبرید استاندارد (F1) برای کشت تجاری ضروری است. با وجود نتایج ارزشمند حاصل از این پژوهش، برخی محدودیت‌ها باید مدنظر قرار گیرند. این مطالعه بر پایه یک خانواده F_2 و در یک محیط آزمایشی انجام شد؛ ازاین‌رو، تعمیم نتایج به سایر جمعیت‌های ژنتیکی و شرایط محیطی نیازمند بررسی‌های تکمیلی است. همچنین، اگرچه الگوهای تفکیک مشاهده‌شده اطلاعات مفیدی درباره نحوه

توارث صفات ارائه کردند، نوع عمل ژن (مانند اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی) به‌طور مستقیم برآورد نشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، خانواده‌ها و جمعیت‌های بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرند، آزمون‌های ترکیب‌پذیری برای بررسی ارزش اصلاحی والدین انجام شود و پایداری نتایج در محیط‌ها و سال‌های مختلف از طریق آزمایش‌های چندمحیطی اعتبارسنجی شود. این مطالعات می‌توانند درک دقیق‌تری از کنترل ژنتیکی صفات و کاربرد مؤثرتر نتایج در برنامه‌های اصلاحی فراهم کنند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای صادق رضازاده در دانشگاه شهید باهنر کرمان است. نگارندگان مقاله از پژوهشگاه افضلی پور دانشگاه شهید باهنر کرمان به خاطر در اختیار گذاشتن گلخانه پژوهشی و حمایت مالی این پروژه سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Afful, N., Nyadanu, D., Akromah, R., Amoatey, H., Oduro, V., & Annor, C. (2020). Gene effect and heritability of yield and its components in eggplant. African Crop Science Journal, *28* (2). https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v28i2.8.

Ashraf, L., Saher, L., Rashid, S., Shakeel, A., Ghous, H. F., & Asghar, A. (2025). Assessment of genetic variability in *Solanum lycopersicum* L. genotypes for yield and yield attributing traits. T*rends in biotechnology and plant sciences*, 301-308. https://doi.org/10.62460/TBPS/2025.069.

Binu, S. M. (2022). Evaluation of F_2 populations of tomato through assessment of heritability and character associations. M.S. Thesis Dhaka, Bangladesh: Sher-e-Bangla Agricultural University.

Çelik, İ., Aydın, S., Kayıkçi, H. C., Ünlü, A., Gümrükçü, E., Çelik, N., Doğan, Y., & Sülü, S. M. (2023). Evaluation of the relations between yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids by correlation and path analysis. *Horticultural Studies*, *40*(2), 49-54. http://doi.org/10.16882/HortiS.1283084.

Damor, H. I., Acharya, R., & Patel, A. A. (2021). Genetic analysis for fruit yield and its component traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) population. *Journal of Plant Development Sciences*, *13*(1), 1-9.

De Mendiburu, F (2023). agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. https://doi.org/:10.32614/CRAN.package.agricolae

Falconer, D. S. & Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Noida, India: Pearson Education India. 464p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *FAOSTAT*.

Harrell Jr., F. E. (2026). Hmisc: Harrell Miscellaneous (Version 5.3-0) [Computer software]. Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://doi.org/10.32614/CRAN.package.Hmisc

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

Kassambara, A (2023). ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggcorrplot

Meena, O. P., & Bahadur, V. (2014). Assessment of correlation and path coefficient analysis for yield and yield contributing traits among tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Germplasm. *Agricultural Science Digest*, *34*(4), 245 - 250. https://doi.org/ 10.5958/0976-0547.2014.01013.1

Meena, O. P., & Bahadur, V. (2015). Genetic associations analysis for fruit yield and its contributing traits of indeterminate tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm under open field condition. *Journal of Agricultural Science*, *7*(3), 148. https://doi.org/10.5539/jas.v7n3p148

Prabhu, K. R., Panigrahi, C. K., Rani, S., Patyal, D., Paul, M., Sharma, K., Tutlani, A., Lone, A. A., Dar, Z., & Delvadiya, I. (2025). Trait association and path analysis in maize (*Zea mays* L.) varieties for growth and yield traits. *Plant Archives*, *25*(2), 2625-2632. https://doi.org/10.51470/Plantarchives.2025.v25.supplement-2.334

Prakoso Mawasid, F., Syukur, M., Trikoesoemaningtyas, T., & Wibisono, K. (2024). Yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum*) selected through pedigree method in the lowlands, Bogor-Indonesia. *Agronomía Mesoamericana*, *35*(1). http://dx.doi.org/10.15517/am.2024.52476

Rahimi, J., Amini, F., Ramshini, H., Abedi, M., & Lotfi, M. (2023). Estimation of gene action and genetic parameters for morphological traits in F1, F2 and F3 generations of tomato (*Lycopersicum esculantum* L.). *Plant Genetic Research*, *9*(2), 71-82. http://dx.doi.org/10.22034/pgr.9.2.6

R Core Team. (2026). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

Wilke, C (2025). _cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'ggplot2'. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.cowplot