مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۰ شماره ۴ صفحه‌های ۴۱۱ تا ۴۲۲ (۱۳۹۸)
مقاله پژوهشی

بررسی هتروزیس و روابط ژنتیکی برخی ویژگی‌های کیفی میوه در پنج رگه مختلف گوجه‌فرنگی[1]

Evaluation of Heterosis and Genetic Relationships of Some Fruit Quality Characteristics in Five Different Tomato Lines

جمیله رهایی*، معظم حسن پور اصیل و حبیب اله سمیع زاده لاهیجی[2]

چکیده

به‌منظور بررسی میزان هتروزیس و روابط ژنتیکی رگه‌های مختلف گوجه‌فرنگی در برخی از ویژگی‌های کیفی میوه، پنج رگه متفاوت گوجه‌فرنگی در یک تلاقی دای‌آلل کامل مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌داری را در بین نژادگان‌ها در سطح احتمال ۱٪ برای ویژگی‌های ماده‌های جامد محلول، اسیدیته کل، شاخص رسیدگی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک اسید، فلاونوئیدها و فنول کل نشان داد. بیشترین میزان هتروزیس براساس والد برتر برای ویژگی‌های فنول کل و فلاونوئید کل مشاهده شد. نتیجه‌های تجزیه و تحلیل هیمن نشان داد که اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل ویژگی‌های مورد مطالعه نقش داشتند. تجزیه ژنتیکی به‌روش هیمن نشان داد که به‌غیر از ویژگی فنول کل، دیگر ویژگی‌ها زیر کنترل اثرهای غالبیت ژن‌ها قرار داشتند و وراثت‌پذیری خصوصی پایین مبین سهم بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل آن‌ها بود. بنابراین، با توجه به وراثت‌پذیری پایین و بالا نبودن پتانسیل انتخاب می‌توان از روش‌های دورگه‌گیری و پدیده هتروزیس در نسل اول برای بهبود این ویژگی‌ها بهره‌مند شد. در مقابل، وراثت‌پذیری خصوصی بالای فنول کل نشان‌دهنده نقش اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل آن بود. از این رو برای فنول کل می‌توان با انتخاب نژادگان‌های برتر برای این ویژگی، به به‌نژادی جمعیت پرداخت. در جمع، می‌توان از روش‌های دورگه‌گیری برای بهبود ویژگی‌های کیفی میوه در گوجه‌فرنگی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اثر افزایشی، دای آلل، غالبیت ژن، وراثت‌پذیری.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای در جهان است که به‌دلیل غنی بودن از نظر ماده‌های معدنی، کاروتنوییدها و ویتامین‌ها ارزش غذایی بالایی دارد. هم‌چنین به‌دلیل داشتن میزان بالایی از ماده‌های آنتی‌اکسیدانی مانند اسکوربیک‌اسید، لیکوپن و کاروتن نقش مؤثری در پیشگیری از بیماری‌های قلبی و عروقی و انواع سرطان‌ها دارد (۳، ۴). به همین دلیل امروزه افزایش کیفیت میوه مانند میزان قند، اسیدیته کل، ماده‌های جامد محلول، ماده‌های آنتی‌اکسیدان و غیره از جمله هدف‌های مهم به‌نژادی در گوجه‌فرنگی محسوب می‌شود (۲۰). اگرچه گوجه فرنگی گیاهی خودسازگار است اما امروزه ثابت شده است که خودگرده افشان نیست و برای آزاد شدن گرده و گرده افشانی نیاز به محرک بیرونی مانند حشرات یا لرزش به وسیله باد، عبور موجودهای زنده و غیره دارد و به‌دلیل قرار گرفتن کلاله در میان بساک‌ها درصد بالایی از بذرهای تولیدی حاصل خود لقاحی می‌باشند (۲۶).

برای افزایش کیفیت میوه گوجه‌فرنگی، استفاده از رقم‌های جدید و به‌نژادی‌شده که حاصل گزینش و یا دورگه‌گیری باشند، ضروری است. برای این منظور، تجزیه ژنتیکی ویژگی‌های موردنظر برای تعیین میزان وراثت‌پذیری و اثر ژن‌ها برای انتخاب بهترین روش به‌نژادی، یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی است. دانستن اثر ژن‌های کنترل‌کننده ویژگی‌ها و

۱- تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۲۳

۲- به‌ترتیب دانشجوی پیشین دکتری و استاد گروه علوم باغبانی و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (rahaii85@gmail.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

وراثت‌پذیری آن‌ها در استفاده مطلوب از جمعیت مورد مطالعه برای اتخاذ روش به‌نژادی حائز اهمیت است. درصورتی‌که اثر ژن‌ها افزایشی باشد و یا سهم واریانس افزایشی بیشتر از واریانس غالبیت باشد و وراثت‌پذیری خصوصی ویژگی‌های موردنظر نیز بالا باشد، روش انتخاب می‌تواند روش مناسبی برای به‌نژادی جمعیت مربوطه باشد، اما اگر اثر غیر افزایشی ژن‌ها یا واریانس غالبیت سهم بیشتری داشته و یا وراثت‌پذیری خصوصی ویژگی‌ها کم باشد، در این صورت انتخاب موفقیت‌آمیز نبوده و باید با انجام دورگه‌گیری، از پدیده هتروزیس و یا تفکیک متجاوز برای به‌نژادی جمعیت استفاده کرد (۲).

اولین گام در برنامه به‌نژادی، یافتن والدینی مناسب برای انجام تلاقی‌های لازم برای تولید دورگه‌های مناسب است. یکی از روش‌های پرکاربرد در این زمینه روش تلاقی‌های دای‌آلل است. با استفاده از این روش می‌توان ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین و نتاج حاصل از آن‌ها و هم‌چنین میزان هتروزیس را برای ویژگی‌های موردنظر بررسی نمود. هتروزیس به معنی افزایش رشد، اندازه یا عملکرد نتاج دورگه حاصل از دورگه‌گیری بین رقم‌های غیرمشابه از نظر ژنتیکی نسبت به میانگین والدین است که در نسل F_1 در بیشترین حد خود ظاهر می‌شود. کاربرد پدیده هتروزیس در به‌نژادی یکی از مهم‌ترین دست آوردهای به‌نژادی گیاهان بوده است (۵). آزمایش‌ها در گوجه‌فرنگی نشان داده‌اند که وقتی دو رگه مناسب با قابلیت ترکیب‌پذیری بالا در تلاقی شرکت کنند، بروز هتروزیس بالا می‌تواند مورد انتظار باشد. برای اسکوربیک‌اسید، اسیدیته کل و ماده‌های جامد محلول گوجه‌فرنگی، پدیده هتروزیس گزارش شده است (۲۲). هم‌چنین گزارش شده است که اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل ماده‌های جامد محلول میوه گوجه‌فرنگی نقش دارند، اما اثرهای غیر افزایشی سهم بیشتری دارند و به‌دلیل سهم بیشتر واریانس غالبیت، روش تولید دورگه پیشنهاد شده است (۱۳، ۲۱، ۲۴). برخی پژوهشگران گزارش کردند اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل اسکوربیک‌اسید میوه نقش دارند، اما نقش اثرهای غیر افزایشی بیشتر است (۶، ۸، ۹، ۱۲) که در تضاد با یافته‌های Zheng و همکاران (۲۹) است که مشاهده کردند اسکوربیک‌اسید بیشتر با اثرهای افزایشی ژن کنترل می‌شد. دلیل این تناقض‌ها می‌تواند در ارتباط با اثرهای محیطی و نوع والدین شرکت‌کننده در تلاقی باشد. در پژوهش‌های دیگری، Kallo و همکاران (۲۱) و Kumar و همکاران (۲۴) گزارش کردند اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل اسیدیته میوه نقش دارند، اما اثرهای غیر افزایشی سهم بیشتری دارند. رهایی و همکاران (۴) نشان دادند که اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی ماده‌های جامد محلول، اسیدیته کل و اسکوربیک‌اسید نقش دارند. هم‌چنین آن‌ها غالبیت نسبی را در کنترل ژنتیکی ویژگی‌های ماده‌های جامد محلول و اسکوربیک‌اسید و اثر فوق غالبیت ژن‌ها را در کنترل ویژگی اسیدیته کل گوجه‌فرنگی گزارش کردند.

نتیجه‌های پژوهش‌های مختلف نقش نوع جمعیت‌ها و زمینه‌های ژنتیکی مورد مطالعه را در کسب نتیجه‌های تجزیه‌های ژنتیکی تأیید می‌کنند، به‌طوری‌که نتیجه‌های حاصل از جمعیت‌های مختلف می‌تواند به‌طورکامل متفاوت باشد. بنابراین، لازم است به‌نژادگر ساختار ژنتیکی جمعیت‌های موردنظر را مطالعه کند تا بتواند روش به‌نژادی مناسبی را برای به‌نژادی جمعیت مورد استفاده قرار دهد. برخلاف بررسی‌های گسترده در زمینه تولید بذر دورگه گوجه‌فرنگی در دیگر کشورها، به‌دلیل نیاز به صرف زمان زیاد و هزینه‌های مربوط به عملیات دورگه‌گیری و به‌نژادی، تاکنون پژوهش‌های اندکی در داخل کشور در این زمینه انجام شده است و بیشتر بذر مورد استفاده کشاورزان از خارج کشور وارد می‌شود. بر این اساس، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی روابط ژنتیکی ویژگی‌های مهم مرتبط با کیفیت میوه گوجه‌فرنگی و جنبه‌های تئوری روابط برای تعمیم انجام گرفت تا بتوان از نتیجه‌های حاصل یک روش مناسب برای به‌نژادی و دستیابی به دورگه‌های برتر تجاری از نظر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی دست یافت.

مواد و روش‌ها

ماده‌های گیاهی استفاده‌شده در این پژوهش، شامل پنج رگه گوجه‌فرنگی بود که از نظر ریخت‌شناسی و ویژگی‌های گیاه (میوه، عادت رشد و غیره) دارای بیشترین تنوع بودند و به‌طور تصادفی از مرکز بین‌المللی تحقیقات سبزی‌ها[1] در تایوان انتخاب و تهیه شدند (جدول ۱).

۱- The World Vegetable Center, previously known as the Asian Vegetable Research and Development Center

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

جدول ۱- مشخصات رگه‌های گوجه‌فرنگی برای انجام آزمایش.

Table 1. Details of tomato lines for testing.

حرف اختصاری	اسم رگه Line name	عادت رشد Plant habit	اندازه میوه Fruit size	شکل میوه Fruit shape	بلوغ Maturity	وزن میوه Fruit weight (g)	رنگ Color	مصرف Consumption
A	AVTO9803 (CLN1621F)A	محدود Determinate	کوچک تا متوسط Small-medium	گرد Globe	زودرس Early	55	قرمز Red	گیلاسی Cherry
B	AVTO1015 (CLN2463E)	نیمه نامحدود Semi-determinate	کوچک Small	کشیده Oblong	به نسبت زودرس Medium Early	16	قرمز Red	گیلاسی Cherry
C	AVTO1020 (CLN2071D)	نامحدود Indeterminate,	کوچک Small	کشیده Oblong	نسبتاً زودرس Medium Early	20	قرمز Red	گیلاسی Cherry
D	AVTO9601 (CLN1462A)	نامحدود Indeterminate,	بزرگ Large	گرد Globe	نسبتاً دیررس Moderately Late	100	قرمز Red	تازه خوری Fresh Market
E	AVTO1130 (CLN3126A-7)	نیمه نامحدود Semi-determinate	کوچک تا متوسط Small-medium	آلبالویی شکل Plum	زودرس Early	65	قرمز Red	فرآوری Processing

در سال اول عملیات تلاقی روی پنج رگه گوجه‌فرنگی به‌صورت تلاقی دای‌آلل کامل (۵×۵) در گلخانه انجام شد. در سال دوم به‌منظور بررسی اثر هتروزیس و ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، بذرهای پنج والد به همراه بذرهای حاصل از تلاقی دای‌آلل (شامل بذرهای حاصل از تلاقی‌های مستقیم F_1 و معکوس RF_1) در مجموع ۲۵ نژادگان در ظرف‌های سینی کاشت، کشت شدند. برای کاشت از محیط کشت کوکوپیت در سینی‌های کاشت استفاده شد و در مرحله ۵ تا ۴ برگی، نشاها به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر و به‌منظور رشد بهتر نشاء منتقل شدند. سپس رگه‌ها و دورگه‌های حاصل از آن‌ها در قالب طرح بلوک‌های به‌طورکامل تصادفی با سه تکرار و سه بوته در هر تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در فصل بهار و در شرایط مناسب دمایی (۲۵ درجه سلسیوس در روز و ۱۸ درجه سلسیوس در شب) و نوری (شدت نور ۱۰۰۰۰ لوکس و طول روز ۱۶ ساعت) در سال ۱۳۹۵ کشت شدند. کوددهی برای تأمین عنصرهای غذایی مورد نیاز انجام شد. در ابتدا از کودهای کامل ۱۰-۵۲-۱۷ به غلظت ۵ گرم در لیتر استفاده شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها از برنامه کودی پیشنهاد شده توسط پیوست و برزگر (۱) استفاده شد. هم‌چنین دیگر مراقبت‌های زراعی لازم مانند آبیاری و وجین علف‌های هرز و غیره در طول دوره پرورش بوته‌ها برای همه نژادگان‌ها به‌طور یکسان انجام شد.

میوه‌ها در مرحله رسیده برداشت شدند و به‌منظور بررسی ویژگی‌های مربوط به کیفیت میوه مانند درصد ماده‌های جامد محلول (با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی مدل Ceti- Belgium ساخت ژاپن)، درصد اسیدیته کل (با روش تیتراسیون)، شاخص رسیدگی به صورت نسبت ماده‌های جامد محلول به اسیدیته کل (۳)، میزان ویتامین C برحسب میلی‌گرم اسکوربیک‌اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (۱۰)، فنول کل برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (۱۰)، فلاونوئید کل برحسب میلی‌گرم کاتچین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (۱۰) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برحسب درصد بازدارندگی DPPH (۱۵) به آزمایشگاه منتقل شدند.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌ها، مشاهده‌های حاصل از ۳ بوته در هر تکرار یادداشت‌برداری شد. برای انجام تجزیه واریانس مقدماتی، میانگین مشاهده‌ها هر تکرار بر اساس مدل طرح بلوک به‌طورکامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا وجود تفاوت معنی‌دار بین نژادگان‌ها آزمون شود. هم‌چنین انجام تجزیه واریانس مقدماتی با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گردید.

میزان هتروزیس برای همه ویژگی‌های موردمطالعه بر اساس هتروزیس بهترین والد[۱](HBP) و بر اساس روش فهر (۱۴) برآورد شد (رابطه ۱) که در آن F1 = میانگین دورگه F1 برای یک ویژگی خاص، BP = میانگین والد برتر است.

۱- Heterosis of Best Parent

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

$$HBP(\%) = \frac{F1 - BP}{BP} \times 100$$ (رابطه ۱)

هم‌چنین برای ویژگی‌هایی کـه پس از تجزیـه واریـانس، تفـاوت بـین نژادگان‌هـا در آن‌ها معنـی‌دار بـود، تجزیـه دای‌آلل بـه روش Hayman (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹) انجام شـد. تجزیه دای‌آلل به روش Hayman به‌وسیله نرم‌افزار Diall 98 (۲۸) انجام شد. بـرای انجـام این کار، ابتـدا آزمـون صـحت مفروضـات ایـن روش انجـام شـد و در صورت برقراری مفروضات مربوطه، پارامترهای ژنتیکی ویژگی‌های مورد مطالعه شامل واریانس‌هـای افزایشی، غالبیت، میانگین درجه غالبیت، نسـبت ژن‌های غالب و مغلـوب، نسـبت ژن‌های دارای آثار مثبت و منفـی در والـدین و وراثت‌پذیری خصوصی برآورد شدند. همه محاسبات آماری و رسم نمودارهای مربوط به این روش بـا فرمـول نویسـی در محـیط نرم‌افزار Excel انجام شد.

این روش بر مبنای برآورد اجزای تغییرها است که پس از معنی‌دار شدن اختلاف بین نژادگان‌ها، موارد زیر در محـیط نرم‌افزار Excel محاسبه شدند: V_p: واریانس والدها، W_r: کوواریانس والدین و نتاج آن‌ها در ردیف r ام، $\overline{W_r}$: میانگین کوواریانس والدین و نتاج آن‌ها در ردیف‌ها، V_r: واریانس ردیف r ام، $\overline{V_r}$: میانگین واریانس ردیف‌ها، V_r^-: واریانس میانگین ردیف‌ها، m_p: میانگین والدها، m_o: میانگین نتاج.

سپس از طریق روابط زیر مقادیر D، H_1، H_2، F و h برآورد شدند (رابطه ۲ الی ۶):

$$\hat{D} = V_P - \hat{E}$$ (رابطه ۲)

$$\hat{F} = 2V_P - 4\overline{W}_r - \frac{2(n-2)\hat{E}}{n}$$ (رابطه ۳)

$$\hat{H}_1 = V_P - 4\overline{W}_r + 4\overline{V}_r - \frac{(3n-2)\hat{E}}{n}$$ (رابطه ۴)

$$\hat{H}_2 = 4\overline{V}_r - 4V_r^- - 2\hat{E}$$ (رابطه ۵)

$$\hat{h}^2 = 4(m_O - m_P)^2 - \frac{4(n-1)\hat{E}}{n^2}$$ (رابطه ۶)

در این روابط، D واریانس افزایشی، H_1 و H_2 فرم‌های واریانس غیر افزایشی (غالبیت)، F کوواریانس اثرهای افزایشی با غالبیت، n تعداد والدین، m_p میانگین والدین، m_o میانگین نتاج و E برآورد واریانس محیطی است. با استفاده از این پارامترها، شاخص‌های آماری زیر محاسبه شدند:

*- نسبت ژن‌های غالب و مغلوب در والدین به‌صورت زیر برآورد شد (رابطه ۷):

$$\frac{\sqrt{4DH_1} + F}{\sqrt{4DH_1} - F}$$ (رابطه ۷)

وقتی این نسبت برابر با یک باشد، ژن‌های غالب و مغلوب در والدین مساوی هستند، وقتی این نسبت کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده فراوانی بیشتر ژن‌های مغلوب در والدین است و اگر این نسبت بیشتر از یک شود بیانگر بیشتر بودن نسبت ژن‌های غالب در والدین است.

- نسبت ژن‌هایی که دارای اثرهای مثبت و منفی در والدین هستند، به‌صورت زیر برآورد شد (رابطه ۸):

$$\frac{H_2}{4H_1}$$ (رابطه ۸)

برای ارزیابی تعداد گروه‌های ژنی کنترل‌کننده ویژگی‌های که دارای اثر غالبیت هستند، از نسبت h_2/H_2 استفاده شد و میانگین درجه غالبیت برای مکان‌های ژنی توسط نسبت $\sqrt{H_1/D}$ برآورد شد. وقتی مقدار این نسبت برابر صفر باشد اثر غالبیت ژن‌ها وجود ندارد، اگر حاصل این عبارت هم بین صفر و یک باشد، بیانگر وجود غالبیت ناقص است. چنانچه حاصل عبارت مساوی یک و یا بزرگ‌تر از یک باشد به ترتیب نشان‌دهنده اثر غالبیت کامل و فوق غالبیت در کنترل ویژگی مورد نظر است.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

ترسیم خط رگرسیون Wr روی Vr، تعیین مختصات محل والدها و رسم سهمی محدودکننده برای تخمین میانگین درجه غالبیت استفاده شد. عبور خط رگرسیون از مرکز محورهای مختصات، نشانه وجود اثر غالبیت کامل ژن‌ها بود، عبور خط رگرسیون از بالای مرکز مختصات، نشانه وجود اثر غالبیت ناقص ژن‌ها بود و عبور خط رگرسیون از پایین مرکز مختصات هم، نشانه وجود اثر فوق غالبیت ژن‌ها بود. وقتی هم خط رگرسیون با حد سهمی مماس بود، نشانه وجود اثر افزایشی ژن‌ها بود.

برای آزمون اثرهای غالبیت ژن‌ها نیز از $Wr+Vr$ استفاده شد، به‌این‌ترتیب که مشابه $Wr-Vr$، $Wr+Vr$ برای هر والد به‌عنوان یک تیمار که در چند تکرار آمده است در قالب طرح به‌طورکامل تصادفی تجزیه می‌شود و درصورتی‌که آزمون F آن را معنی‌دار نشان دهد به مفهوم وجود اثرهای غالبیت خواهد بود. هم‌چنین برای ارزیابی غالبیت ژن‌ها، ضریب همبستگی بین $Wr+Vr$ و $\overline{p_r}$ (میانگین والدین) به‌صورت زیر (رابطه ۹) برآورد گردید:

$$r=\frac{Cov\left(Wr+Vr,\overline{p_r}\right)}{\sqrt{Var\left(Wr+Vr\right)+Var\left(\overline{p_r}\right)}} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

که r منفی نشان‌دهنده غالب بودن آلل‌های افزاینده و r مثبت نشان‌دهنده غالب بودن آلل‌های کاهش‌دهنده بود. ضریب تشخیص (r^2) نیز از مربع r برآورد گردید، که درصورتی‌که r^2 نزدیک واحد (r به تقریب برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۹۵) باشد در آن صورت می‌توان بیشترین والدین غالب، بیشترین والدین مغلوب و نیز حد گزینش را مشخص کرد.

وراثت‌پذیری خصوصی (h_n^2) از روش Hayman (رابطه ۱۰) محاسبه شد:

$$h_n^2=\frac{\frac{1}{2}D+\frac{1}{2}H_1-\frac{1}{2}H_2-\frac{1}{2}F}{\frac{1}{2}D+\frac{1}{2}H_1-\frac{1}{4}H_2-\frac{1}{2}F+E} \qquad \text{(رابطه ۱۰)}$$

نتایج و بحث

نتیجه‌های تجزیه واریانس مقدماتی داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که بین نژادگان‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه وجود دارد که مبین وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار بین نژادگان‌ها بوده و در نتیجه امکان انجام تجزیه دای‌آلل برای بررسی نوع عمل ژن‌های کنترل‌کننده ویژگی‌های فراهم شد و امکان تفکیک واریانس بین نژادگان‌ها به بخش‌های ناشی از اثرهای افزایشی و غیرافزایشی ژن وجود داشت.

نتیجه‌های مقایسه میانگین ویژگی‌ها (جدول ۲) نشان داد که بیشترین میانگین ماده‌های جامد محلول در بین والدین را رگه D (۶/۵۸ °Brix) و در میان تلاقی‌ها، D×C (۷/۳۰ °Brix) به خود اختصاص داد که با تلاقی C×E (۷/۲۳ °Brix) اختلاف معنی‌داری نداشت. دامنه میانگین شاخص رسیدگی در والدین بین ۰/۷۲ (رگه A) تا ۱/۴۵ (رگه D) و در نتاج حاصل از تلاقی‌ها بین ۰/۶۶ (تلاقی B×C) تا ۱/۶۰ (تلاقی D×C) متغیر بود. میانگین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برای والدین بین ۵۴/۳۲ درصد برای والد E تا ۷۹/۰۴ درصد برای والد D متغیر بود و برای نتاج دورگه بین ۴۱/۶۸ درصد برای دورگه E×D تا ۸۲/۸۴ درصد برای دورگه B×D متغیر بود.

میانگین فنول کل برای والدین بین ۶۰/۴۲ (mg Gallic acid / 100g FW) برای والد D تا ۱۶۹/۸۶ (mg Gallic acid / 100g FW) برای والد A متغیر بود (جدول ۳). هم‌چنین نتاج حاصل از تلاقی بین رگه‌های D و E با میانگین فنول ۶۱/۲۰ (mg Gallic acid / 100g FW) کمترین و نتاج حاصل از تلاقی بین رگه‌های E و A با میانگین فنول ۱۵۰/۷۱ (mg Gallic acid / 100g FW) بیشترین میزان فنول کل را در بین دیگر نتاج حاصل از تلاقی‌ها دارا بودند. میانگین فلاونوئید کل والدین بین ۱۵/۵۷ تا ۳۴/۲۰ (mg Catechin / 100g FW) و میانگین نتاج حاصل از تلاقی‌ها بین ۱۳/۹۵ تا ۳۹/۴۳ (mg Catechin / 100g FW) متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار فلاونوئید کل در میان والدین به‌ترتیب مربوط به رگه‌های E و A بود (جدول ۲). هم‌چنین دورگه‌های E×D کمترین و A×B بیشترین فلاونوئید کل را دارا بود.

میانگین اسکوربیک‌اسید برای والدین از ۱۲/۵۳ تا ۲۰/۰۲ (mg AsA / 100g FW) و برای نتاج حاصل از تلاقی‌ها از ۱۳/۸۹ تا ۲۳/۴۳ (mg AsA / 100g FW) متغیر بود (جدول ۳). رگه‌های E و A به ترتیب کمترین و بیشترین میزان اسکوربیک‌اسید را در بین والدین دارا بودند. نتاج حاصل از تلاقی بین رقم‌های B و C کمترین و D و B بیشترین اسکوربیک‌اسید را دارا بود. دامنه

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

تغییرات میانگین اسیدیته کل میوه برای والدین بین ۴/۵۵ (رگه D) تا ۶/۹۸ (رگه B) درصد و برای نتاج حاصل از تلاقی‌ها بین ۴/۵۵ تا ۸/۳۴ درصد متغیر بود. نتاج حاصل از تلاقی بین رقم‌های D و C کمترین و B و C بیشترین مقدار اسیدیته کل میوه را داشتند (جدول ۲).

بررسی میزان هتروزیس بیانگر آن بود که بیشترین میزان هتروزیس مثبت و منفی نسبت به والد برتر برای ماده‌های جامد محلول، ۱۳/۲۰ و ۲۳/۳۷- درصد به‌ترتیب مربوط به تلاقی C×E و E×A بود (جـدول ۳). دامنه هتروزیس برای شاخص رسیدگی بین ۴۸/۹۹- تا ۳۸/۲۵ متغیر بود که تلاقی C×E بیشترین میزان هتروزیس مثبت را داشت. شاید بتوان در نسل‌های پیشرفته این تلاقی، رگه‌های با شاخص رسیدگی بیشتر را گزینش کرد. درصد هتروزیس محاسبه‌شده برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بین ۴۷/۲۷- تا ۱۴/۴۰ درصد متغیر بود که تلاقی B×E بیشترین درصد هتروزیس مثبت را در بین تلاقی‌ها دارا بود، بنابراین از این تلاقی می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی بهره برد. دامنه هتروزیس محاسبه‌شده برای فنول کل بین ۴۴/۵۲- تا ۷۷/۸۶ درصد متغیر بود و تلاقی D×A بیشترین درصد هتروزیس مثبت را در بین تلاقی‌ها دارا بود. دامنه هتروزیس برای ویژگی فلاونوئید کل بین ۳۳/۸۱- تا ۵۰/۷۲ درصد متغیر بود و بیشترین درصد هتروزیس مثبت برای این ویژگی را تلاقی‌های A×D دارا بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین نژادگان‌ها برای ویژگی‌های زیست‌شیمیایی میوه گوجه‌فرنگی.

Table 2. Mean comparison of genotypes for biochemical traits of tomato fruit.

نژادگان Genotype	ماده‌های جامد محلول Total soluble solids (%)	شاخص رسیدگی Maturity index	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity (%Inhibition of DPPH)	فنول کل Total Phenol (mg Gallic acid /100gFW)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg Catechin /100gFW)	اسکوربیک‌اسید Ascorbic acid (mg As A /100gFW)	اسیدیته کل Total acidity (%)
A×A	4.75 cd	0.72 gh	63.32 a-d	169.86 a	34.20 ab	20.02 a-e	6.58 b-h
A×B	5.74 a-d	0.75 f-h	58.28 b-d	101.45 b-e	39.43 a	19.75 a-e	7.70 a-d
A×C	6.90 ab	0.86 c-h	45.48 cd	96.27 c-e	34.99 ab	14.81 g-i	8.06 ab
A×D	5.42 a-d	0.76 f-h	66.28 a-c	107.46 b-d	31.77 a-c	20.28 a-e	7.15 a-f
A×E	5.13 f-h	0.90 b-h	60.00 b-d	145.64 ab	33.62 ab	22.74 ab	5.73 e-j
B×A	5.73 a-d	0.78 f-h	50.28 cd	105.13 b-e	38.05 ab	21.87 a-c	7.36 a-e
B×B	6.06 a-d	0.88 c-h	56.40 cd	95.97 c-f	29.93 a-d	17.28 d-h	6.98 a-g
B×C	5.50 a-d	0.66 h	59.24 b-d	80.52 c-i	22.08 b-d	13.89 hi	8.34 a
B×D	5.65 a-d	1.14 a-f	82.84 a	88.39 c-h	32.00 a-c	23.43 a	4.99 h-j
B×E	5.62 a-d	0.79 e-h	64.52 a-c	90.22 c-h	24.38 a-d	14.95 g-i	7.18 a-f
C×A	6.79 ab	0.86 c-h	46.08 cd	94.23 c-f	33.55 ab	15.77 e-i	7.89 a-c
C×B	5.70 a-d	0.69 c-h	62.04 a-d	79.27 c-i	21.49 b-d	14.36 g-i	8.22 ab
C×C	6.39 a-d	0.97 b-h	54.84 cd	83.20 c-i	24.62 a-d	16.05 e-i	6.56 b-h
C×D	6.42 a-d	1.33 a-d	58.68 b-d	83.80 c-i	29.54 a-d	14.85 g-i	4.89 ij
C×E	7.23 a	1.35 a-c	54.44 cd	72.16 d-i	23.50 a-d	17.20 d-h	5.38 g-j
D×A	5.19 b-d	0.74 gh	64.68 a-c	108.35	31.96 a-c	21.46 a-d	7.06 a-f
D×B	6.09 a-d	1.29 a-d	56.80 b-d	90.45 c-g	32.32 a-c	15.09 f-i	4.71 ij
D×C	7.30 a	1.60 a	61.44 a-d	83.36 c-i	29.50 a-d	23.02 a	4.55 j
D×D	6.58 a-c	1.45 ab	79.04 ab	60.42 i	21.08 b-d	19.55 a-f	4.55 j
D×E	6.21 a-d	1.02 c-g	56.52 cd	61.20 hi	22.61 a-d	22.58 ab	6.13 d-j
E×A	4.51 d	0.76 f-h	62.36 a-d	150.71 ab	34.40 ab	18.45 b-g	5.95 e-j
E×B	5.43 a-d	0.76 f-h	60.72 a-d	87.68 c-h	24.19 a-d	18.35 b-h	7.20 a-f
E×C	6.79 ab	1.23 a-e	53.32 cd	71.62 e-i	22.85 a-d	17.81 c-h	5.58 f-j
E×D	5.99 a-d	0.98 b-h	41.68 d	64.11 f-i	13.95 d	16.08 e-i	6.26 c-i
E×E	5.89 a-d	0.87 d-h	54.32 cd	63.32 g-i	15.57 cd	12.53 i	6.97 a-g

Means in each column followed by same letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

میانگین‌های با حرف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

دامنه تغییرات هتروزیس برای اسکوربیک‌اسید بین ۲۶/۰۰- تا ۱۹/۸۶ درصد متغیر بود. تلاقی‌های B×D بیشترین درصد هتروزیس مثبت را برای اسکوربیک‌اسید در بین تلاقی‌های دیگر دارا بود. درصد هتروزیس محاسبه‌شده بر مبنای والد برتر برای

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

اسیدیته کل میوه بین ۳۲/۴۹- تا ۵۶/۹۷ متغیر بود و تلاقی‌های A×C و D×B به ترتیب بیشترین درصد هتروزیس مثبت و منفی را برای اسیدیته کل میوه در بین تلاقی‌های دیگر دارا بودند.

جدول ۳- برآورد هتروزیس نسبت به والد برتر (٪) برای ویژگی‌های مورد مطالعه در دورگه‌های گوجه‌فرنگی در آزمایش دای‌آلل کامل ۵×۵.

Table 3. Estimation of heterobeltiosis (%) for studied traits of tomato hybrids in a 5×5 complete diallel experiment.

نژادگان Genotype	مادههای جامد محلول Total soluble solids	شاخص رسیدگی Maturity index	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	فنول کل Total phenol	فلاونوئید کل Total flavonoid	اسکوربیک‌اسید Ascorbic acid	اسیدیته کل Total acidity
A×B	-5.17 c-e	-14.82 de	-7.96 f	-40.27 ij	15.30 bc	-1.33 b-e	10.42 d
A×C	7.98 ab	-11.43 d-f	-28.17 i	-43.32 j	2.31 d-f	-26.00 f	22.38 b
A×D	-17.54 f-h	-47.23 i	-16.14 g	77.86 a	50.72 a	3.73 a-d	56.97 a
A×E	-12.85 d-g	3.35 c	-5.24 ef	-14.25 gh	-1.70 ef	13.59 ab	-17.78 gh
B×A	-5.34 d-f	-11.42 d	-20.59 gh	-38.11 i	11.27 b-d	9.24 a-c	5.54 e
B×C	-13.93 e-h	-32.09 h	8.02 a-c	-16.10 gh	-26.22 gh	-19.63 ef	19.59 bc
B×D	-14.04 e-h	-21.54 e-g	4.81 cd	-7.90 de	6.89 c-e	19.86 a	-28.43 kl
B×E	-7.15 d-f	-9.95 d	14.40 a	-6.00 d	-18.54 g	-13.48 d-f	2.87 e
C×A	6.26 ab	-11.41 de	-27.23 hi	-44.52 g	-1.89 ef	-21.22 f	19.90 bc
C×B	-10.80 e-g	-28.64 f-h	13.13 ab	-17.40 h	-28.21 gh	-16.93 ef	17.82 c
C×D	-2.33 b-d	-8.14 d	-25.76hi	0.73 c	19.98 b	-24.06 f	-25.55 jk
C×E	13.20 a	38.25 a	-0.73 de	-13.27 f-h	-4.54 f	7.19 a-c	-22.80 ij
D×A	-21.08 gh	-48.99 i	-18.17 g	-36.21 i	-6.53 f	7.23 a-c	7.24 de
D×B	-7.45 d-f	-10.83 d	-28.14 i	-5.75 d	7.96 c-e	-22.83 f	-32.49 l
D×C	11.00 a	10.64 c	-22.27g-i	0.19 c	19.81 b	17.73 a	-30.62 l
D×E	-5.52 de	-29.81 gh	-28.49 i	1.30 c	7.29 c-e	15.50 ab	-12.1 f
E×A	-23.37 h	-12.44 d	-1.52 d-f	-11.27 e-g	0.59 d-f	-7.83 c-f	-14.67 fg
E×B	-10.29 d-g	-12.84 de	7.66 bc	-8.64 d-f	-19.18 g	6.17 a-c	3.25 e
E×C	6.26 a-c	26.33 b	-2.77 ef	-13.91 gh	-7.19 f	10.97 a-c	-19.93 hi
E×D	-8.97 d-f	-32.66 h	-47.27 j	6.11 b	-33.81 h	-17.73 ef	-10.18 f

Means in each column followed by same letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

میانگین‌های با حرف مشابه در هر ستون ازنظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

در این مطالعه نتیجه‌ها نشان داد که هتروزیس مثبت و منفی بر اساس والد برتر برای تمام ویژگی‌های مطالعه شده وجود داشت. نتیجه‌های مشابهی توسط Bhatt و همکاران (۷) و Kumar و همکاران (۲۲) مبنی بر مثبت و منفی بودن هتروزیس در ویژگی‌های بالا گزارش شده است.

برای ویژگی‌های شاخص رسیدگی، فنول و فلاونویید کل خط رگرسیون *Wr* روی *Vr*، محور *Wr* را در قسمت مثبت قطع کرد (شکل ۱). بنابراین، این ویژگی‌ها زیر تأثیر اثر غالبیت ناقص ژن‌ها بودند. معنی‌دار نبودن میانگین مربعات *Wr+Vr* نیز برای این ویژگی‌ها به معنی وجود آثار غالبیت ناقص در کنترل این ویژگی‌ها بود (جدول ۴). معنی‌دار بودن میانگین مربعات *Wr+Vr* نیز برای ویژگی‌های مادههای جامد محلول، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک‌اسید و اسیدیته کل (جدول ۴) به معنی وجود آثار غالبیت در کنترل این ویژگی‌ها بود. برای ویژگی‌های مادههای جامد محلول، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک‌اسید و اسیدیته کل، خط رگرسیون Wr روی *Vr*، محور *Wr* را در قسمت منفی قطع کرد و معنی‌دار بود که وجود اثرهای فوق غالبیت را در کنترل این ویژگی‌ها نشان می‌داد (شکل ۱). برخی پژوهشگران از جمله Kalloo و همکاران (۲۱)، Dhaliwal (۱۳) و Kumar و همکاران (۲۳) گزارش کردند اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل مادههای جامد محلول و اسیدیته میوه نقش دارند، اما اثرهای غیر افزایشی سهم بیشتری دارند. هم‌چنین Bhutani (۸)، Das و همکاران (۱۲)، Biswas و همکاران (۹)، Akhtar و Hazra (۶) گزارش کردند که اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل اسکوربیک‌اسید میوه نقش دارند، اما نقش اثرهای غیر افزایشی بیشتر است. بنابراین، با توجه به سهم زیاد اثرهای غیر افزایشی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

ژن‌ها، پتانسیل انتخاب برای این ویژگی‌ها بالا نخواهد بود و می‌توان از روش دورگه‌گیری و پدیده هتروزیس برای بهبود این ویژگی‌ها بهره‌مند شد.

جدول ۴- نتیجه‌های آزمون مقدماتی Hayman، آزمون t (H_0:B=1) برای ضریب رگرسیون *Wr* روی *Vr* و آزمون اثر اپیستازی (*Wr-Vr*) و اثر غالبیت ژن‌ها (*Wr+Vr*) در ویژگی‌های مورد مطالعه در گوجه‌فرنگی.

Table 4. Results of preliminary test of Hayman, *t* test (H_0: B=1) for regression coefficients of *Wr* to *Vr* and test of epistasis effects (*Wr-Vr*) and effect of genes dominance (*Wr+Vr*) in studied traits of tomato.

ویژگی موردمطالعه Studied traits	ضریب رگرسیون (b) Regression coefficients (b)	*t* برای آزمون فرض اثرهای اپیستازی $H_0: \widehat{B} = 1$ *t* for the hypothesis test of epistatic effects $H_0: \widehat{B} = 1$	میانگین مربعات-*Wr* *Vr* Mean Square of *Wr-Vr*	میانگین مربعات *Wr+Vr* Mean Square of *Wr+Vr*
مادههای جامد محلول Total soluble solids	0.94	0.27^{ns}	0.05^{ns}	1.48^{**}
شاخص رسیدگی Maturity index	0.57	3.05^{ns}	0.005^{ns}	0.04^{ns}
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	0.87	0.27^{ns}	7211.54^{ns}	40824.10^{*}
فنول کل Total phenol	0.99	0.01^{ns}	0.0006^{ns}	0.03^{ns}
فلاونوئید کل Total flavonoid	0.76	2.10^{ns}	257.45^{ns}	3603.19^{ns}
اسکوربیک‌اسید Ascorbic acid	0.65	1.14^{ns}	86.45^{ns}	363.94^{**}
اسیدیته کل Total acidity	0.58	2.31^{ns}	0.51^{ns}	3.45^{*}

^{ns}, * and ** indicate non-significant, significance at 5% and 1% levels respectively.

* و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

پراکنش والدین در امتداد خط رگرسیون نشان داد که رگه D برای ویژگی مادههای جامد محلول و فنول کل و رگه A برای شاخص رسیدگی و فلاونوئید کل، رگه C برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و اسکوربیک‌اسید و رگه E برای اسیدیته کل نزدیک‌ترین فاصله را به محل برخورد خط مذکور با محور *Wr* داشتند و بنابراین بیشترین تعداد ژن‌های غالب را داشتند. در مقابل، رگه A برای ویژگی مادههای جامد محلول و رگه B برای شاخص رسیدگی، رگه D برای اسکوربیک‌اسید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رگه E برای ویژگی‌های فنول کل و فلاونوئید کل و رگه C برای اسیدیته کل بیشترین فاصله را با محل یاد شده داشتند و بنابراین دارای بیشترین تعداد ژن‌های مغلوب هستند (شکل‌های ۳).

اجزای ژنتیکی کنترل‌گر ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. نسبت $H_2/4H_1$ برای همه ویژگی‌ها به‌جز فنول کل نشان داد که فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در مکان‌های ژنی مختلف مساوی نیست، اما برای ویژگی فنول کل این فراوانی به‌تقریب یکسان بود. میانگین درجه غالبیت $(H_1/D)^{1/2}$ نیز همانند تجزیه گرافیکی Hayman، وجود اثر غالبیت کامل ژن‌ها را در کنترل همه ویژگی‌ها به‌جز فنول کل که با غالبیت ناقص کنترل می‌شود، نشان داد. علامت منفی ضریب همبستگی (جدول ۶) برای ویژگی‌های مادههای جامد محلول، فنول کل، فلاونوئید کل، اسکوربیک‌اسید و اسیدیته کل نشان داد که آلل‌های افزاینده غالب هستند. در مقابل برای ویژگی‌های شاخص رسیدگی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علامت ضریب همبستگی مثبت بود که مبین غالب بودن آلل‌های کاهنده است. برآورد نسبت h^2/H_2 نیز نشان داد که برای ویژگی‌های مادههای جامد محلول، شاخص رسیدگی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و اسیدیته کل هیچ گروه ژنی دارای آثار غالبیت وجود ندارد، درحالی‌که برای ویژگی‌های فلاونوئید کل و اسکوربیک‌اسید یک گروه ژنی دارای آثار غالبیت وجود دارد. محاسبه نسبت $(4DH_1)^{1/2}$-F)/((4DH_1)^{1/2}+F) نشان داد که فراوانی ژن‌های غالب نسبت به مغلوب در والدین در ویژگی‌های ظرفیت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و اسکوربیک‌اسید بیشتر بود که برای بسیاری از ویژگی‌های فوق با نتیجه‌های نسبت $H^2/4H_1$ مشابه بود. هم‌چنین برای ویژگی‌های ماده‌های جامد محلول، شاخص رسیدگی، فلاونوئید کل و اسیدیته کل نشان داد کـه فراوانی ژن‌های مغلوب نسبت به ژن‌های غالب در والدین بیشتر است (جدول ۵).

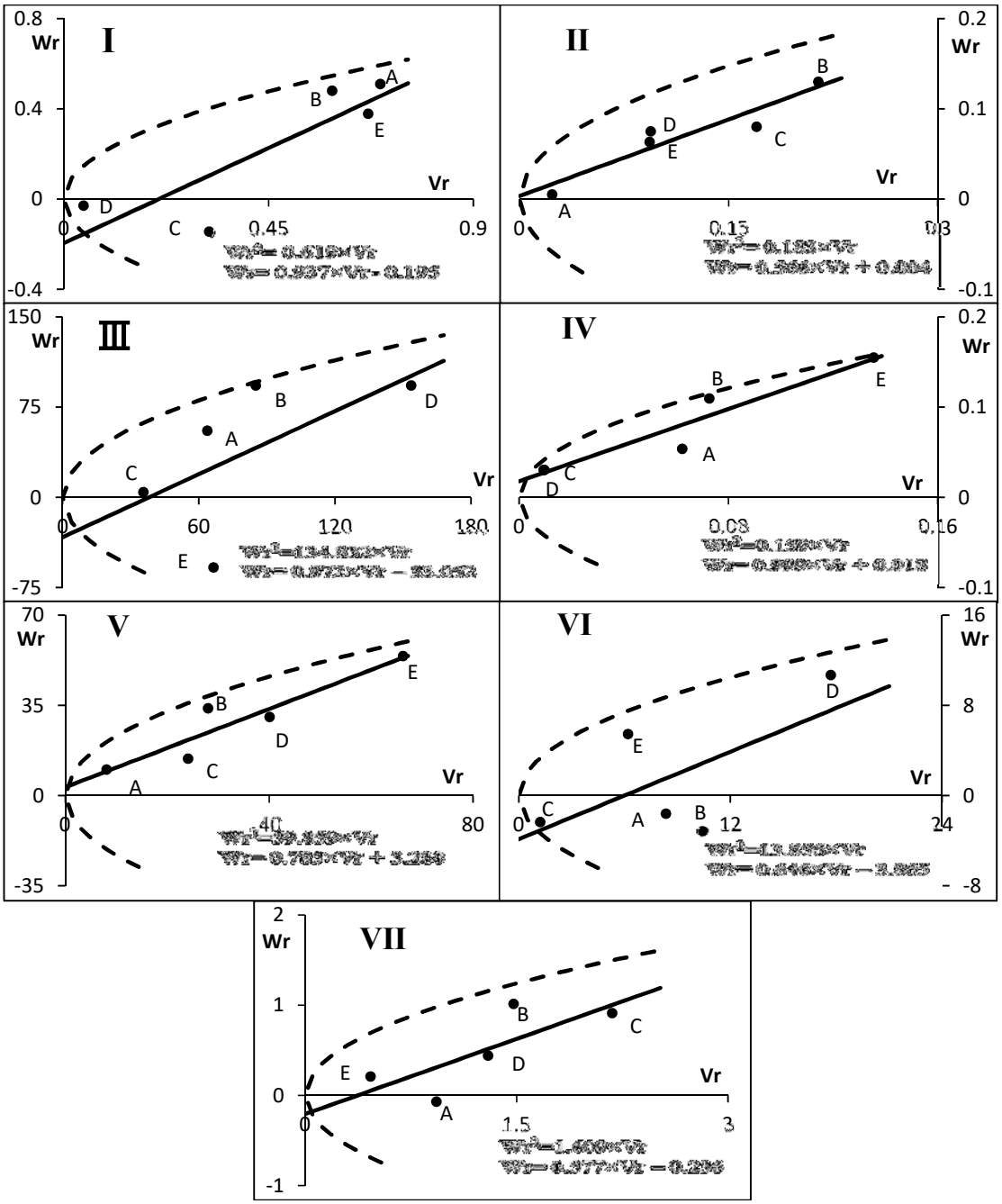

Fig. 1. Vr-Wr graph for TSS (Ⅰ), Maturity index (Ⅱ), Antioxidant capacity (Ⅲ), Total phenol (Ⅳ), Total flavonoid (Ⅴ), Ascorbic acid (Ⅵ) and Total acidity (Ⅶ) of tomato. Letters in figures are related to A, B, C, D and E parents.

شکل ۱- نمودار Vr-Wr برای ماده‌های جامد محلول (I)، شاخص رسیدگی (II)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (III)، فنول کل (IV)، فلاونوئید کل (V)، اسکوربیک‌اسید (VI) و اسیدیته کل میوه (VII) در گوجه‌فرنگی. حرف‌ها در شکل‌ها مربوط به والدین A، B، C، D و E می‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

برآورد وراثت‌پذیری خصوصی ویژگی‌های مورد نظر (جدول ۵) نشان داد که وراثت‌پذیری خصوصی به‌نسبت بالای ویژگی فنول کل مبین سهم زیاد آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل این ویژگی بود، بنابراین پتانسیل انتخاب برای این ویژگی در جمعیت مورد مطالعه بالا بوده و می‌توان با انتخاب نژادگان‌های برتر از نظر این ویژگی‌ها به به‌نژادی جمعیت پرداخت و میانگین جمعیت را بهبود بخشید. درحالی‌که وراثت‌پذیری پایین ویژگی‌ها نشان‌دهنده نقش آثار غیر افزایشی در کنترل ویژگی‌های ماده‌های جامد محلول، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک‌اسید، فلاونوئیدها و اسیدیته کل بود، بنابراین با وجود بالا نبودن پتانسیل انتخاب برای این ویژگی‌ها می‌توان از روش‌های دورگه‌گیری استفاده کرد و از پدیده هتروزیس برای بهبود ویژگی‌ها بهره‌مند شد. گزارش شده است که هر دو اثرهای افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ویژگی ماده‌های جامد محلول مؤثر می‌باشند (۱۱ و ۲۵). هم‌چنین، Singh و همکاران (۲۵) و Thakur و Kohli (۲۷) عنوان کردند که ماده‌های جامد محلول زیر کنترل اثرهای فوق غالبیت ژن‌ها قرار دارد و وراثت‌پذیری پایینی را برای آن محاسبه نمودند که نتیجه‌های پژوهش حاضر با نتیجه‌های پژوهشگران پیشین همسو است.

جدول ۵- اجزای واریانس و پارامترهای ژنتیکی برای ویژگی‌های مورد مطالعه در گوجه‌فرنگی به روش Hayman.

Table 5. Components of variance and genetic parameters for studied traits in tomato by Hayman method.

اجزا Components	ویژگی‌ها Traits						
	ماده‌های جامد محلول Total soluble solids	شاخص رسیدگی Maturity index	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	فنول کل Total phenol	فلاونوئید کل Total flavonoid	اسکوربیک‌اسید Ascorbic acid	اسیدیته کل Total acidity
D	0.39 **	0.13 **	91.69 **	0.19 **	43.59 **	8.47 *	0.91 **
S.E.D	0.12	0.03	40.52	0.01	6.24	3.93	0.31
F	-0.09 ns	-0.01 ns	46.21 ns	0.06 ns	-19.33 ns	10.25 ns	-0.05 ns
S.E.F	0.30	0.07	99.48	0.03	15.33	9.65	0.76
H_1	1.08 **	0.29 **	238.84 *	0.10 **	47.11 **	35.26 **	3.79 **
S.E.H1	0.33	0.07	109.44	0.03	16.86	10.62	0.84
H_2	0.88 **	0.26 **	225.05 **	0.09 **	47.03 **	28.93 **	3.43 **
S.E.H2	0.30	0.07	99.26	0.03	15.29	9.62	0.76
h^2	-0.08 ns	-0.009 ns	17.31 ns	0.0009 ns	29.37 **	3.58 ns	0.01 ns
S.E.h^2	0.20	0.05	67.02	0.02	10.32	6.50	0.51
H_1-H_2	0.20	0.03	13.80	0.01	0.08	6.33	0.36
$(H_1/D)^{1/2}$	1.68	1.51	1.61	0.74	1.04	2.04	2.04
$H_2/4H_1$	0.20	0.22	0.24	0.22	0.25	0.21	0.23
$((4DH_1)^{1/2}+F)/((4DH_1)^{1/2}-F)$	0.87	0.94	1.37	1.55	0.65	1.84	0.98
R	-0.32	, 0.96	0.42	-0.47	-0.79	-0.07	-0.03
r^2	10.52	92.46	17.60	22.46	63.91	0.43	0.08
h^2/H_2	-0.08	-0.03	0.08	0.01	0.62	0.12	0.004
h^2_b	0.74	0.86	0.79	0.91	0.71	0.92	0.91
h^2_n	0.19	0.26	0.26	0.74	0.29	0.22	0.17

D: Additive effects, F: The covariance of dominance and additive effects, H_1: Dominance effects due to dominant genes, H_2: Dominance effects due to positive and negative genes, h^2: Dominance effects due to heterozygous loci, $((4DH_1)^{1/2}+F)/((4DH_1)^{1/2}-F)$: The ratio of the total number of dominant to recessive genes in all the parents, $H_2/4H_1$: Measures the proportion of genes with positive and negative effects in the parents, $(H_1/D)^{1/2}$: Average of degree dominance, r^2: Prediction for measurement of completely dominant and recessive parents, (h^2/H_2): The number of gene groups with dominance effects, h^2_b : Broad-sense heritability و h^2_n : Narrow-sense heritability.

D: اثرات افزایشی، F: کوواریانس اثرهای افزایشی و غالبیت، H_1: اثرات غالبیت به دلیل ژن‌های غالب، H_2: اثرات غالبیت به دلیل ژن‌های مثبت و منفی، h^2: اثرات غالبیت به دلیل جایگاه‌های هتروزیگوتی، $((4DH_1)^{1/2}+F)/((4DH_1)^{1/2}-F)$: نسبت تعداد کل ژن‌های غالب به مغلوب در همه والدین، $H_2/4H_1$: اندازه‌گیری نسبت ژن‌های با اثرهای مثبت و منفی در والدین، $(H_1/D)^{1/2}$: میانگین درجه غالبیت، r: پیش بینی برای سنجش والدین کاملاً غالب و مغلوب، h^2/H_2: تعداد گروه‌های ژنی دارای اثرهای غالبیت، h^2_b: وراثت‌پذیری عمومی، h^2_n: وراثت‌پذیری خصوصی.

برخی پژوهشگران از جمله بوتانی (۸)، Das و همکاران (۱۲)، Biswas و همکاران (۹)، Akhtar و Hazra (۶) گزارش کردند اثرهای افزایشی و غیر افزایشی در کنترل اسکوربیک‌اسید میوه نقش دارند، اما نقش اثرهای غیر افزایشی بیشتر است که نتیجه‌های

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

پژوهش حاضر با نتیجه‌های این پژوهشگران همسو است. اما Bhatt و همکاران (۷)، Kumar و همکاران (۲۲) و Dagade و همکاران (۱۱)، اهمیت واریانس ژنتیکی افزایشی را در وراثت‌پذیری مقدار اسکوربیک‌اسید در گوجه‌فرنگی گزارش نمودند.

نتیجه گیری

در میوه گوجه فرنگی، شاخص بلوغ یا طعم و ظرفیت آنتی اکسیدانی به دلیل مصرف بالای این میوه از اهمیت بالایی برخوردار است. ماده‌های جامد محلول و اسیدیته در شاخص بلوغ یا طعم میوه گوجه فرنگی و اسکوربیک‌اسید، ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدها در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه فرنگی اثر بسزایی دارند. در مجموع، نتیجه‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که شاخص رسیدگی، ماده‌های جامد محلول، اسیدیته کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک‌اسید و فلاونوئیدها در جمعیت مورد مطالعه بیشتر زیر کنترل اثرهای غالبیت ژن‌ها بودند، به‌طوری‌که سهم اثرهای غیر افزایشی در کنترل بیشتر ویژگی‌های مورد نظر بیشتر از اثرهای افزایشی بود و بنابراین با توجه به وراثت‌پذیری پایین این ویژگی‌ها و در نتیجه بالا نبودن پتانسیل انتخاب برای اغلب ویژگی‌ها می‌توان از روش‌های دورگه‌گیری و پدیده هتروزیس در نسل اول برای بهبود ویژگی‌های یادشده در بالا بهره‌مند شد و کیفیت میوه را تا حد زیادی در جمعیت مورد مطالعه افزایش داد. هم‌چنین با توجه به سهم زیاد آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل فنول کل و در نتیجه بالا بودن پتانسیل انتخاب برای این ویژگی در جمعیت مورد مطالعه، می‌توان با انتخاب نژادگان‌های برتر از نظر این ویژگی‌ها به به‌نژادی جمعیت پرداخت و میانگین فنول کل در جمعیت را بهبود بخشید. با توجه به نتیجه‌های حاصل، در مجموع روش‌های دورگه‌گیری و استفاده از پدیده هتروزیس برای بهبود ویژگی‌های کیفی در گوجه‌فرنگی پیشنهاد می‌گردد.

منابع References

۱. پیوست، غ. ع. و ر. برزگر. ۱۳۸۵. پرورش سبزی‌های گلخانه‌ای در کشت خاکی و بدون خاک. انتشارات دانش‌پذیر. رشت. ۲۶۲ ص.

۲. رحیمی، م.، ب. ربیعی، ح. سمیع‌زاده‌لاهیجی و ع. کافی قاسمی. ۱۳۸۴. ارزیابی ترکیب پذیری رقم‌های برنج از طریق روش های دوم و چهارم گریفینگ. مجله علوم آب و خاک، ۱۴۱- ۱۲۹: (۴۳) ۱۲.

۳. رهایی، ج.، حسن‌پور اصیل، م.، سمیع‌زاده لاهیجی، ح.ا. و انسی‌نژاد، ر. ۱۳۹۵.بررسی روابط بین ویژگی‌های ریخت شناختی میوه و کیفیت آن در رگه‌های گوجه‌فرنگی از طریق ضریب‌های همبستگی و تجزیهٔ علیت. علوم باغبانی ایران، ۲۴۳- ۲۳۳: (۲) ۴۷.

۴. رهایی، ج.، حمیداوغلی، ی. و ربیعی، ب. ۱۳۹۵. برآورد اثرهای ژن‌ها و وراثت‌پذیری برخی ویژگی‌های مرفولوژیک در گوجه‌فرنگی از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها. مجله علوم و فنون باغبانی. ۴۲۸-۴۲۳: ۱۷.

۵. فرشادفر، ع .۱۳۷۷. کاربرد ژنتیک کمی در اصلاح نباتات، انتشارات طاق‌بستان. کرمانشاه. ۵۲۸ ص.

6. Akhtar, S. and P. Hazra. 2013. Nature of gene action for fruit quality characters of tomato (*Solanum lycopersicum*). Afr. J. Biotechnol. 12(20): 2829-2875.
7. Bhatt, R., V. Biswas and N. Kumar. 2001. Combining ability study in tomato under midhill conditions of central Himalaya. Indian J. Genet. Plant Breed. 61 (1): 74- 75.
8. Bhutani, R. D. 1981. Screening and diallel study for yield and quality characters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Thesis Abstracts. 7(2): 170-171.
9. Biswas, V. R., R. P. Bhatt and N. Kumar. 2011. Gene action in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under open and protected environments. Vegetable Sci.. 38(2): 206-208.
10. Boor, J. Y., H. Y. Chen and G. C. Yen. 2006. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. J. Agr. Food. Chem. 54: 1680-1686.
11. Dagade, S. B., L. K. Dhaduk, K. Hariprasanna, D. R. Mehata, V. M. Bhatt and A. V. Barad. 2015. Parent Offspring Relations of Nutritional Quality Traits in 8 X 8 Partial Diallel Cross of Fresh Tomatoes. Int. J. Appl. Biol. 6(2): 45-55.
12. Das, N. D., T. K. Chattopadhyay and S. S. Pal. 1984. Genetic studies for uptake of NPK in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). Indian J. Genet. Plant Breed. 44(3): 452-459.
13. Dhaliwal, M. S., S. Singh, D. S. Cheema and P. Singh. 2004. Genetic analysis for important fruit characters of tomato by involving lines possessing male sterility genes. Acta Hort. 637: 123-131.
14. Fehr, W. R. 1987. In: Principles of Cultivar Development: Theory and Technique. Vol. I. MacMillan.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

15. Ghasemnezhad, M., M. Sherafati and Gh. A. Peyvast. 2012. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. J. Funct. Foods. 3: 44-49
16. Hayman, B. I. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. Biometrics, 10: 235-244.
17. Hayman, B. I. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses I. Genetics, 39: 789-809.
18. Hayman, B. I. 1957. Interaction, heterosis and diallel crosses. Genetics, 42: 336-355.
19. Jinks, J. E. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. Genetics, 39: 767-788.
20. Kallo, G. and B. O. Bepgh. 1985. Genetic improvement of vegetable crops. AVI publishing company, 135-169.
21. Kalloo, G., R. K. Singh and R. D. Bhutani. 1974. Combining ability studies in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Theor. Appl. Genet. 44: 358-63.
22. Kumar, R., K. Srivastava, R. K. Singh and V. Kumar. 2013. Heterosis for Quality Attributes in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Vegetos, 26(1): 101-106
23. Kumar, V., M. C. Thakur and N. K. Hedau. 2003. Correlation and path coefficient analysis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Ann. Agr. Res. 24(1): 170-177.
24. Kumar, V., S. K. Jindal and M. S. Dhaliwal. 2015. Combining ability studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Agr. Res. J. 52(2): 121-125.
25. Singh, S., M. S. Dhaliwal, D. S. Cheema and G.S. Brar. 1998. Diallel analysis of some processing attributes in tomato. J. Genet. Breed. 52(3): 265-269.
26. Slaa, E. J., L. A. S. Chaves, K. S. Malagodi-Braga and F. E. Hofstede. 2006. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. Apidologie, 37 (2): 293-315.
27. Thakur, A.K. and Kohli, U.K. 2005. Studies on genetics of shelf-life in tomato. Indian J. Hort. 62: 163-167.
28. Ukai, Y. 2006. DIAL98. A package of progams for the analyses of a full and half diallel table with the methods by Hayman 1954. Griffing (1956) and others. Available from: http://lbm.ab.a.u-tokyo.ac.jp/~ukai/dial98 .html.
29. Zheng, Y. Y., G. H. Hui and L. Yan. 2007. Studies on combining ability and genetic effects of main quality characters in cherry tomato. J. Northeast. Univ. Nat. Sci. 35(5): 179-183.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 20 (4): 411 - 422 (2019)
Research article

Evaluation of Heterosis and Genetic Relationships of Some Fruit Quality Characteristics on Five Different Tomato Lines

J. Rahaii*, M. Hassanpour Asil, and H. Samizadeh Lahiji[1]

In order to investigate the heterosis and genetic relationships of different tomato lines for some qualitative characteristics, five diverse tomato lines were evaluated in a complete diallel cross design. Analysis of variance showed significant differences (P<0.01) among the genotypes for total soluble solids, total acidity, maturity index, antioxidant capacity, ascorbic acid, total flavonoids, and total phenols. The highest heterobeltiosis was observed for total phenol and total flavonoid. Results of Hayman's analysis showed that contributions of additive and non-additive effects were involved in the control of the studied traits. The genetic analysis by Hayman method showed that the attributes except the total phenol, were under the control of the dominance type of the gene action, and their low inheritance indicated the more involvement of non-additive type of gene action. Therefore, due to low heritability and lack of high selection potential, hybridization methods and heterosis phenomenon could be used in the first generation to improve these traits. In contrast, the high specific heritability of total phenol indicated that this trait is controlled by the additive gene effect. Therefore, due to the high selection potential for total phenol, it is possible to modify the population by selection the best genotypes for this trait. Overall, hybridization methods can be used to improve fruit quality traits in tomatoes.

Keywords: Additive effects, Diallel, Gene dominance, Heritability.

1. Former Ph.D. Student, Professor of Horticultural Science and Professor of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
* Corresponding author, Email: (rahaii85@gmail.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.4.2.5]