

## آنالیز نیم دای آل صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه در لاین‌های گوجه‌فرنگی

سمیه نظامی<sup>۱</sup>، سید حسین نعمتی<sup>۲\*</sup>، حسین آرویی<sup>۳</sup> و محمد کافی<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳ و ۴. دانشجوی دکتری، استادیار، دانشیار و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۰)

### چکیده

یکی از مهم‌ترین روش‌ها در برنامه‌های اصلاحی سبزی‌ها، گزینش والدین و نتاج برتر با هدف بهبود ژنتیکی صفات کمی و کیفی می‌باشد. به منظور بررسی ژنتیکی صفات کمی و کیفی لاین‌های گوجه‌فرنگی، تلاقی‌های نیم-دای آل بین هشت لاین با اسامی C.JPS3، S.2274، H.1370، K.2274، S.L، C20، Primoga و A13012 انجام شد. هیبریدهای حاصل و والدین، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. صفات شاخص شکل میوه، تعداد حفره میوه، شاخص سفتی میوه، درجه بریکس، اسیدیته قابل تیتراژ، pH آب میوه، تعداد خوشه در بوته، تعداد گل در خوشه، تعداد میوه در هر بوته، متوسط وزن یک میوه و عملکرد اندازه‌گیری شدند. والد K.2274 دارای بالاترین ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) در صفات عملکرد، تعداد میوه در بوته و شاخص سفتی میوه بود. بالاترین ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) برای صفت متوسط وزن میوه به ترتیب در دو تلاقی C.JPS3 × C20 و A13012 × K.2274 مشاهده شد. در میان والدین و هیبریدها، والد H.1370 و هیبرید Primoga × H.1370 بالاترین میزان عملکرد را داشتند. بالاترین درصد هتروزیس نسبی در صفات تعداد میوه در هر بوته، متوسط وزن یک میوه و عملکرد به ترتیب در تلاقی‌های A13012 × Primoga، C.JPS3 × C20 و Primoga × H.1370 مشاهده شد. نقش اثرات فوق غالبیت و غالبیت کامل در کنترل صفات عملکرد، تعداد میوه در بوته، اسیدیته قابل تیتراژ و بریکس بیش تر از اثر افزایشی بود. با این وجود، در کنترل صفت متوسط وزن میوه اثر افزایشی موثر بوده است.

واژه‌های کلیدی: عمل غالبیت زن، والد برتر، هتروزیس، هیبرید.

## Half diallel analysis of related traits to yield and fruit quality in tomato lines

Somayyeh Nezami<sup>1</sup>, Seyed Hossein Nemati<sup>2\*</sup>, Hossein Arouiee<sup>3</sup> and Mohammad Kafi<sup>4</sup>

1, 2, 3, 4. Ph.D. Candidate, Assistant Professor, Associate Professor and Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: Jan. 18, 2020- Accepted: May 30, 2020)

### ABSTRACT

The selection of elite parents and hybrids could be used for the genetic improvement of quantitative and qualitative traits in breeding programs of vegetables. In order to genetic evaluation of quantitative and qualitative traits of tomato lines, half-diallel crosses were performed among eight lines C.JPS3, S.2274, H.1370, K.2274, S.L, C20, Primoga and A13012. The obtained hybrids along with parents were planted in a randomized complete block design with three replications. Traits including fruit shape index, no. of locules, fruit firmness index, brix, titrable acidity, pH of fruit juice, no. of inflorescence per plant, no. of flowers per inflorescence, no. of fruits per plant, average fruit weight and yield were measured. Parent K.2274 had the highest values of general combining ability (GCA) for the yield, number of fruits per plant and fruit firmness. The highest specific combining ability (SCA) was observed in C20×C.JPS3 and A13012×K.2274 cross for the average fruit weight, respectively. Among parents and hybrids, parent H.1370 and Primoga × H.1370 hybrid had the highest yield. The highest relative heterosis percentage for no. of fruits per plant, average fruit weight and yield were observed in A13012 × Primoga, C20 × C.JPS3, and Primoga × H.1370 crosses, respectively. Role of over-dominance and dominance effects were more than the additive effect in controlling of yield, no. of fruit per plant, titrable acidity, and brix. However, the additive effect was effective in the control of average fruit weight.

**Keywords:** Dominance gene action, elite parent, heterosis, hybrid.

\* Corresponding author E-mail: nemati@um.ac.ir

### مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) از جمله مهم‌ترین و محبوب‌ترین سبزی‌های جهان است و غالباً به دلیل تامین سود اقتصادی بالا مورد توجه کشاورزان قرار دارد (Hannan *et al.*, 2007). میوه این گیاه منبعی غنی از ویتامین، لیکوپن و بتاکاروتن است که نقش مهمی در سلامت انسان دارند. با افزایش جمعیت دنیا تولید گوجه‌فرنگی رو به فزونی می‌باشد به طوری که طی ۲۰ سال گذشته تولید آن دو برابر شده است (Bergougnoux, 2014). در ۲۰ سال قبل آمریکا و اروپا مهم‌ترین تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی در دنیا بودند، اما امروزه بیش‌ترین تولید این محصول در آسیا است و ایران نیز از نظر تولید در رتبه ششم دنیا قرار دارد (Garg & Cheema, 2011).

بذر حلقه اصلی تولید محصولات کشاورزی است و کمیت، کیفیت و یکنواختی محصول وابسته به خصوصیات ژنتیکی بذر می‌باشد. بذرها می‌توانند تضمین کننده عملکرد بالا، کیفیت مناسب و یکنواختی محصول باشند. به همین دلیل در دهه‌های اخیر تمایل به تولید هیبریدهای F<sub>1</sub> افزایش یافته‌است، زیرا این هیبریدها به علت قوه نامیه مطلوب، یکنواختی گیاهچه، مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌ها، عملکرد مناسب و صفات مطلوب دیگری از جمله زودرسی و ماندگاری مناسب پس از برداشت مورد توجه کشاورزان بوده‌اند (Tay, 2002). ترکیب خصوصیات مطلوب لاین‌ها با یکدیگر روشی مناسب و سریع می‌باشد و غالباً برای بهبود اندازه میوه و ایجاد رنگ‌های جدید و یا بهبود مقاومت به تنش‌ها کاربرد دارد (Tay, 2002). هیبریدهای گوجه‌فرنگی نیز با وجود قیمت بالای بذر آن‌ها به صورت گسترده‌ای کشت می‌شوند، زیرا عملکرد بالا و خصوصیات کیفی مناسبی دارند. به همین دلیل سعی می‌شود تا از طریق تولید هیبریدهای جدید به تقاضای بازار برای بذر هیبرید پاسخ داده شود (Solieman *et al.*, 2013). تولید جهانی بذر هیبرید F<sub>1</sub> گوجه‌فرنگی از اواخر جنگ جهانی دوم شروع شد و آمریکا و ژاپن اولین کشورهایی بودند که تولید بذر هیبرید را آغاز کردند. در دهه ۱۹۵۰ ژاپن بذر هیبرید گوجه‌فرنگی و بادمجان را تولید و صادر کرد. در طی سال‌های بعد تولید بذر هیبرید F<sub>1</sub> سبزی‌ها در تایوان

افزایش یافت تا جایی که امروزه این کشور موفق‌ترین تولیدکننده بذر هیبرید F<sub>1</sub> در دنیا می‌باشد (Tay, 2002). با وجود داشتن سطح زیرکشتی معادل ۴۵ هزار هکتار گوجه‌فرنگی در کشور، هر ساله بذرها می‌تواند از خارج کشور وارد و به دلیل انحصار تولید و توزیع آن توسط شرکت‌های خارجی، در برخی از سال‌ها به قیمت بسیار زیادی به فروش می‌رسد. گذشته از بار مالی و ارزی، به دلیل حساسیت شدید برخی از گیاهان به عوامل محیطی در برخی از موارد عدم سازگاری هیبریدهای F<sub>1</sub> وارداتی با شرایط تولید داخل سبب بروز مشکلاتی می‌شود (Shah-Mansouri, 2011).

موفقیت در تولید هیبریدهای F<sub>1</sub> بستگی مستقیم به انتخاب صحیح والدین دارد. بعد از تولید و گزینش لاین‌های والدینی، یکی از تلاقی‌ها (ترکیب دولاین متفاوت) که بهترین نتایج را به دنبال داشته و هتروزیس برتری را نسبت به والدین نشان می‌دهد انتخاب می‌گردد. غالباً، والدین با اختلاف ژنتیکی بالا تمایل به تظاهر هتروزیس دارند، در حالی که والدینی که فاصله ژنتیکی کمی داشته باشند نتایجشان هتروزیس کمی از خود نشان می‌دهند. در چنین مواردی باید از روش تلاقی دای آلل استفاده شده تا به انتخاب والدین بر اساس ارزش ژنتیکی کمک شود، به‌ویژه توانایی آن‌ها برای ترکیب و تولید هیبرید با ارزش نیز در نظر گرفته می‌شود. بواسطه این آنالیزها، امکان بررسی نحوه کنترل ژنتیکی صفات نیز فراهم می‌شود (Blank *et al.*, 2012). تلاقی دای آلل معمولاً برای اصلاح گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و هدف از این طرح ارزیابی نتایج، لاین‌های والدینی و بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها است (Shffer & Srivastav, 2009; Griffing, 1956). این روش تلاقی اولین بار توسط Hayman (1954) و Jinks (1954) توسعه یافت. Hayman (1954) بیان کرد که روش تلاقی دای آلل جهت بررسی خصوصیات ژنتیکی لاین‌های هموزایگوت می‌باشد. علاوه بر این Jinks (1954) عنوان داشت که روش تلاقی دای آلل یک روش آماری مناسب است که می‌توان با استفاده از آن آنالیز تنوع پیوسته بین دو اینبرد لاین را بررسی کرد. همچنین روش دای آلل اطلاعات اولیه ژنتیکی، قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی را نیز در نسل اول بیان می‌کند (Chowdhry *et al.*

مزرعه کشت، و صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

### مرحله اول

شامل انجام دو رگ‌گیری بین هشت لاین والدینی بود (این لاین‌ها بر اساس صفات مورفولوژیک و بیولوژیک انتخاب شدند) (جدول ۱) و تولید هیبریدهای  $F_1$  در گلخانه انجام شد. بذر لاین‌های والدینی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی یک دوره ده ساله با انتخاب رقم‌ها و ایجاد جمعیت و ۵ تا ۶ نسل خودباروری همراه با گزینش انتخاب گردیده‌اند. هر چند منشأ اولیه متفاوتی داشته که نام کشور در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. منشأ اولیه و خصوصیات لاین‌های والدینی.

Table 1. First origin and characterization of the parental lines.

Characterization	Origin	Parents
Determinate- High quality fresh consumption- Early maturing- Dark red fruit with low TSS- Low yield	Italy	C.JPS3 (P1)
Determinate- High quality fresh consumption -Late maturing - Light red fruit with low TSS- Average yield	Italy	S.2274 (P2)
Determinate- High quality fresh consumption -Early maturing - Dark red fruit with average TSS- High yield	Italy	H.1370 (P3)
Determinate- High quality fresh consumption - Early maturing - Dark red fruit with low TSS- High yield	Russia	K.2274 (P4)
Determinate- High quality fresh consumption - Early maturing - Dark red fruit with average TSS- High yield	Russia	S.L. (P5)
Determinate- High quality fresh consumption - Early maturing - Dark red fruit with low TSS- Positional male sterility- Average yield	Russia	C20 (P6)
Determinate- High quality fresh consumption - Early maturing - Dark red fruit with average TSS- Average yield	Russia	Primoga (P7)
Indeterminate- High quality fresh consumption - Very late maturing -Light red fruit with low TSS- Average yield	Russia	A13012 (P8)

تلاقی‌ها به صورت روش نیم-دای‌آل برای کلیه لاین‌های گوجه‌فرنگی انجام شد. به این منظور بذرهای هشت لاین والدینی در سینی‌های کاشت حاوی مخلوط کوکوپیت و پرلایت کشت شدند. پس از جوانه زنی و ظهور دو برگ حقیقی نشاها به گلدان‌های با قطر ۲۰ سانتی‌متر منتقل شدند. گیاهان در گلخانه با دمای ۲۴-۱۸ درجه سانتیگراد نگهداری و پس از چهار هفته به زمین اصلی در گلخانه منتقل شدند. عملیات داشت (آبیاری بوته‌ها، وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی

۱۹۹۲، *al.*). هرچند در برخی محصولات مانند ذرت، بررسی‌های قابلیت ترکیب‌پذیری معمولاً برای تعیین تنوع ژنتیکی، گزینش لاین اینبرد، تقسیم‌بندی الگوی هتروزیگوسیتی، تخمین هتروزیس و بهبود هیبرید نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fan *et al.*, 2008). بررسی تلاقی دای‌آل و هتروزیس در لاین‌های اینبرد اطلسی نشان داد که هتروزیس نسبت به میانگین والدین و والد برتر در کلیه صفات مثبت و معنی‌دار است. علاوه بر این درجه غالبیت بیشتر از یک نشان داد که نقش اثر فوق غالبیت بیشتر از اثر افزایشی در کنترل صفات است (Bayat *et al.*, 2013). در مطالعه تلاقی‌های دای‌آل و وراثت‌پذیری در چند لاین گوجه‌فرنگی مشخص شد که وراثت صفات وزن میوه و عملکرد به صورت افزایشی- غالبیت بوده است (Rahaei *et al.*, 2017). Roff & Emerson (2006) نیز با مطالعه اثر ژن‌ها بر روی صفات مورفولوژیک و عملکرد در گوجه‌فرنگی نشان دادند که ویژگی‌های مذکور تحت اثرهای افزایشی ژن‌ها قرار داشته، درحالی‌که ویژگی‌های مربوط به عملکرد با اثرهای غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شوند. در پژوهشی که بر روی قابلیت ترکیب‌پذیری ۱۳ لاین گوجه‌فرنگی انجام شد، نوع عمل ژن در عملکرد به صورت فوق غالبیت و در صفات کیفی به صورت غیر افزایشی بود (Kumar *et al.*, 2013).

با وجود اینکه چندین مطالعه بر روی تلاقی‌های دای‌آل لاین‌های گوجه‌فرنگی در کشور انجام شده است (Emami *et al.*, 2016)، اما بررسی ترکیب‌پذیری لاین‌های جدید ضروری است. بدین منظور این مطالعه با هدف تولید هیبریدهای  $F_1$  گوجه‌فرنگی و بررسی خصوصیات کمی و کیفی، هتروزیس، درجه غالبیت صفات و خصوصیات ژنتیکی لاین‌های والدینی در تلاقی‌های دای‌آل ناقص انجام شد.

### مواد و روش‌ها

کارهای عملی این مطالعه در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفته است. در مرحله اول لاین‌های والدینی در گلخانه کشت شده و از طریق تلاقی دای‌آل بذر هیبریدهای  $F_1$  به‌دست آمد. در مرحله دوم لاین‌های والدینی و هیبریدهای حاصل از تلاقی بین آنها در

طول به قطر میوه، تعداد حفره در میوه، تعداد خوشه روی بوته و عملکرد کل بوته و همچنین صفات کیفی میوه مانند درصد مواد جامد محلول، میزان اسیدیته قابل تیتر و میزان pH آب میوه اندازه گیری شد.

- درصد مواد جامد محلول: به این منظور ابتدا آب پنج میوه در دو تکرار گرفته شد. سپس دو نمونه آب میوه باهم مخلوط شده و درصد مواد جامد محلول به وسیله قندسنج دستی اندازه‌گیری شد.

- میزان اسیدیته قابل تیتر: پنج سی سی آب میوه با سود ۰/۳ نرمال تیتر شده و در زمان رسیدن اسیدیته محلول به ۸/۱، میزان سود مصرفی ثبت شد، سپس میزان اسیدیته قابل تیتراسیون برحسب اسید غالب (اسیدآسکوربیک) از فرمول ذیل محاسبه گردید (AOAC, 1984).

رابطه (۱)  $\% \text{ سی سی اسید (A)} =$

$$100 \times (\text{سی سی نمونه} \times 1000) / (\text{والانس گرم اسید} \times$$

نرمالیتة سود)

رابطه (۲)  $\text{سی سی سود مصرفی} =$

$$\text{میزان اسید در } 100 \text{ سی سی آب میوه} \times A$$

- به منظور اندازه‌گیری میزان pH آب میوه، ابتدا آب میوه گرفته شده، سپس با pH متر میزان اسیدیته اندازه‌گیری شد.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab (ver.17) برای نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی و همگنی واریانس‌های درون تیماری ارزیابی شدند، سپس تجزیه واریانس (با هفت مشاهده) انجام گردید و برای تجزیه و تحلیل دای آلل از روش دوم (والدین و نتایج حاصل از تلاقی یکطرفه) مدل گریفینگ استفاده شد (Griffing, 1956). تجزیه واریانس برای ترکیب‌پذیری بر اساس مدل ثابت روش دوم با مدل آماری زیر و با استفاده از بسته آماری Agricola موجود در نرم افزار R انجام گردید (Ihika & Gentleman, 1996).

$$X_{ij} = \mu + gca_i + sca_{ij} + e_{ij}$$

که در این رابطه  $X_{ij}$  ارزش مشاهده شده صفت،  $\mu$  میانگین جمعیت،  $gca_i$  ترکیب‌پذیری والد  $\mu$ ،  $sca_{ij}$  ترکیب‌پذیری والد  $\mu$ ،  $e_{ij}$  تلاقی  $\mu$  و  $e_{ij}$  خطای آزمایش مشاهده  $\mu$  است. برای تعیین سهم واریانس افزایشی در کنترل

جهت مبارزه با آفات و بیماری‌ها) انجام شد. به منظور دورگ‌گیری ابتدا گل‌های شکوفا شده لاین‌های پدری انتخاب و جدا شدند. گل‌های لاین‌های والد مادری از یک روز به زمان شکوفایی تا قبل از شکوفایی انتخاب شدند. عمل اخته کردن گل‌های لاین‌های مادری با حذف پرچم‌ها توسط پنس انجام شد. به منظور انتقال گرده گل‌های والد پدری به کلاله گل‌های والد مادری با نوک پنس پرچم‌ها شکاف داده تا مقداری گرده بر روی نوک پنس تجمع یابد. سپس با مالش نوک پنس بر روی کلاله مادگی عمل گرده‌افشانی مصنوعی انجام شد. پس از انجام گرده‌افشانی، گل گرده‌افشانی شده با مقداری پنبه پیچیده و ایزوله شد تا از ورود گرده‌های خارجی جلوگیری شود و همچنین رطوبت سطح کلاله حفظ گردد. در انتها نشانه گذاری گل‌های گرده‌افشانی شده توسط پلاک‌هایی که حاوی مشخصات لاین‌های والدینی بود انجام و سایر گل‌های موجود بر روی خوشه بسته به نیاز برای دورگ‌گیری نگهداری یا حذف شدند.

برداشت میوه‌ها در مرحله قرمز رنگ انجام گرفت. برای بذر گیری مواد ژلاتینی اطراف بذرها همراه بذر از میوه‌ها خارج و در ظروف با درب توری ریخته شدند تا فرآیند تخمیر (۳ روز نگهداری در دمای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شود. پس از طی مدت زمان مذکور بذرها با آب سرد شسته شده و سریع خشک شدند.

## مرحله دوم

در این مرحله بررسی لاین‌های والدینی و هیبریدهای آن‌ها با هدف انتخاب والدین و هیبریدهای  $F_1$  برتر از نظر عملکرد در شرایط مزرعه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ابتدا بذر لاین‌های والدینی و هیبریدها در سینی‌ها کشت شدند. نشاها بعد از ظهور دو برگ حقیقی به گلدان‌های پلاستیکی انتقال یافته و پس از رسیدن به مرحله مناسب در زمین اصلی و روی پشته‌هایی به عرض ۸۰ سانتیمتر و فاصله دو پشته از هم ۵۰ سانتیمتر کشت شدند. فاصله دو بوته از هم نیز ۴۰ سانتیمتر بود. در پایان این مرحله صفات ذیل اندازه‌گیری شد.

تعداد میوه در بوته، میانگین وزن تر میوه، نسبت

بهترین بود (جدول ۵). در میان والدین مورد بررسی، والد H.1370 بیشترین و والد C.JPS3 کمترین عملکرد را داشتند. در میان هیبریدها، بالاترین عملکرد در هیبرید Primoga × H.1370 مشاهده شد که حدود ۷۰ درصد بیشتر از والد برتر بود. با وجود اینکه کمترین میزان عملکرد در هیبرید C.JPS3 × A13012 به دست آمد، ولی باز نسبت به والد با پایینترین عملکرد ۵۰ درصد بیشتر بود (جدول ۶). در مطالعه Rathod (2016) بر روی قابلیت ترکیبپذیری لاینهای گوجهفرنگی مشخص شد که میان والدین و هیبریدهای F<sub>1</sub> تفاوت معنی داری از نظر عملکرد گیاه وجود دارد، به طوری که صفت مذکور در هیبرید S-22 × Arka Abha حدود ۶۰ درصد بیشتر از برترین والد (DMT-5) بود. ارزیابی تنوع ژنتیکی برخی توده‌های بومی هندوانه از نظر عملکرد نشان داد که بین آنها تفاوت معنی دار وجود دارد، به طوری که بیشترین عملکرد در ژنوتیپ چارلستون گری (۱۳۴۴۴ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (Hajiali *et al.*, 2017). در صفت عملکرد بیش از ۷۵ درصد از هیبریدها هتروزیس مثبت نسبت به میانگین والدین داشتند. مقدار هتروزیس در صفت عملکرد نشان داد هیبرید Primoga × H.1370 دارای بالاترین میزان این صفت بود و سه هیبرید S.L. × H.1370، H.1370 × S.2274 و C20 × A13012 نیز پس از هیبرید مذکور بیشترین مقدار هتروزیس برای عملکرد را نشان دادند. نکته قابل توجه اینکه والد H.1370 در تلاقی با والدین مختلف مقدار هتروزیس متفاوتی را نشان داد، به طوری که در تلاقی با والد A13012 کمترین هتروزیس را داشت ولی در تلاقی با دو والد Primoga و S.L. هتروزیس بالایی را نشان داد (جدول ۸). مطالعه Pujer & Badiger (2017) نشان داد بیشترین میزان هتروزیس در صفت عملکرد در هیبرید L04780 × L00398 بود. در صفت عملکرد بیش از ۵۰ درصد هیبریدها درجه غالبیت بیشتر از یک داشتند و بر این اساس در وراثت صفت عملکرد اثرات غالبیت و فوق غالبیت نقش بیشتری داشت. بیست و یک درصد هیبریدها دارای درجه غالبیت منفی بودند که نشان دهنده نقش اپیستازی در وراثت عملکرد میوه است. بیست و پنج درصد هیبریدها نیز دارای وراثت غالبیت ناقص بودند (جدول ۸).

ژنتیکی صفات در روش دوم گریفینگ، از نسبت بیکر طبق رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{Baker ratio} = (2 \sigma_{\text{gca}}^2) / (\sigma_{\text{gca}}^2 + \sigma_{\text{sca}}^2)$$

هرچه این نسبت به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده آن است که سهم واریانس افزایشی در کنترل این صفت بیشتر است (Backer, 1978).

همچنین از دو فرمول ذیل به منظور محاسبه درصد هتروزیس نسبی و درجه غالبیت (معادله‌های ۳ و ۵) استفاده شد.

$$\text{رابطه ۳} \quad H\% = \frac{F1 - M.P}{M.P} \times 100$$

میانگین ارزش والدین: M.P.

حداقل تفاوت معنی دار برای آزمون معنی دار بودن هتروزیس از معادله (۴) به دست آمد (Roy, 2000).

$$\text{رابطه ۴} \quad t = \frac{F1_{ij} - MP_{ij}}{\sqrt{\frac{3}{8} \text{EMS}}}$$

$$\text{رابطه ۵} \quad P = \frac{F1 - M.P.}{0.5(P2 - P1)}$$

M.P: میانگین ارزش والدین، P1: والد با ارزش پایین تر، P2: والد با ارزش بالاتر.

## نتایج و بحث

### عملکرد

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر ژنوتیپها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بودند (جدول ۲). تجزیه واریانس ترکیبپذیری حاکی از آن بود که GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بودند (جدول ۳). این امر دخالت هر دو عمل افزایشی و غیر افزایشی ژن را در کنترل عملکرد گیاه نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده با مدل افزایشی- غالبیت پیشنهاد شده توسط Chishti *et al.* (2008) و Biswas *et al.* (2011) مطابقت داشت. نسبت واریانس GCA به SCA بیش از یک بود که چیرگی اثرات افزایشی بر اثرات غالبیت را نشان می‌دهد. مقدار نسبتاً بالای هتروزیس (۳۰ درصد) نقش اثرات غیرافزایشی و موفقیت آمیز بودن روش دورگ‌گیری برای بهبود صفت مذکور را نشان می‌دهد (جدول ۳). چهار لاین S.2274، K.2274، C20 و Primoga لاینهای والدینی با GCA مثبت بودند و در میان لاینهای دارای GCA منفی، ژنوتیپ C.JPS3 پایینترین مقدار را داشت (جدول ۴). از نظر SCA، هیبرید Primoga × H.1370

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر لاین‌های والدینی و هیبریدها بر صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی.

Table 2. Results of variance analysis effect of parental lines and hybrids for related traits to yield and fruit quality of tomato.

Source of variation	df	Mean of squares										
		Fruit shape index (length to diameter)	No. of locules/fruit	Fruit firmness index	Brix	Titration acidity	pH of fruit juice	No. of inflorescence	No. of flower per inflorescence	No. fruit/plant	Average fruit weight	Yield/plant
Block	2	0.03**	0.66*	0.22 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	2.64 <sup>ns</sup>	46.54 <sup>ns</sup>	52.30 <sup>ns</sup>	946751.00**
Genotype	7	0.05**	3.10**	2.10**	0.08**	0.04**	0.08**	25.50**	11.50**	1445.37**	158.83*	848416.17**
Error	14	0.01 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	1.12 <sup>ns</sup>	1.02 <sup>ns</sup>	205.38 <sup>ns</sup>	66.94 <sup>ns</sup>	150521.71 <sup>ns</sup>
Sample error	144	0.01	0.59	0.09	0.06	0.01	0.02	15.26	12.90	1650.44	254.13	1213456.00

<sup>ns</sup>, \* and \*\* Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1 % probability level, respectively.

جدول ۳. تجزیه ترکیب‌پذیری، نسبت SCA: GCA و مقادیر درصد هتروزیس صفات در هشت لاین والدین و هیبریدهای F<sub>1</sub>

گوجه‌فرنگی برای صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه.

Table 3. Combining ability analysis, the ratio of GCA: SCA and heterosis percentage values in eight tomato parental lines and F<sub>1</sub> hybrids for related traits to yield and fruit quality.

Source of variation	df	Fruit shape index (length to diameter)	No. of locules/fruit	Fruit firmness index	Brix	Titration acidity	pH of fruit juice	No. of inflorescence	No. of flower per inflorescence	No. fruit/plant	Average fruit weight	Yield/plant
GCA	7	0.02**	3.88**	2.54**	1.31**	0.02**	1.30**	13.30**	2.40**	727.90**	157.10**	694232.14**
SCA	28	0.01**	1.40**	2.23**	0.89**	0.01*	0.95**	13.20**	11.70**	1854.60**	242.20**	928677.16**
Error	70	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	228.60	76.52	112129.91
$\sigma^2_{gca}$		0.01	0.38	0.25	0.13	0.01	0.13	1.31	0.21	65.17	13.20	65685.60
$\sigma^2_{sca}$		0.01	0.66	1.08	0.44	0.01	0.47	6.50	5.66	889.20	108.4	445650.50
$\sigma^2_{g \times s}$		1.00	0.57	0.23	0.29	0.95	0.27	0.20	0.04	0.07	0.12	0.15
Baker ratio		0.70	0.53	0.31	0.37	0.80	0.35	0.30	0.07	0.13	0.20	0.23
H%		0.86	-1.95	-8.68	2.70	6.40	0.38	6.10	14.31	34.60	-9.51	30.00

\* and \*\* Significantly difference at 5 and 1 % probability level, respectively.

$\sigma^2_{gca}$  = General combining ability variance.

$\sigma^2_{sca}$  = Specific combining ability variance.

$\sigma^2_{g \times s}$  = GCA to SCA variance.

واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی

واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی

واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی به خصوصی

جدول ۴. ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی والدین برای صفات اندازه‌گیری شده در هشت لاین گوجه‌فرنگی.

Table 4. Estimation of general combinability of parents for measured characteristics in eight lines of tomato.

Parental lines	Fruit shape index (length to diameter)	No. of locules/fruit	Fruit firmness index	Brix	Titration acidity	pH of fruit juice	No. of inflorescence	No. of flower per inflorescence	No. fruit/plant	Average fruit weight	Yield/plant
P1	0.10**	-0.85**	-0.10 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.08**	0.02 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	-0.97**	-13.78**	-3.50 <sup>ns</sup>	-383.99**
P2	-0.02 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.11**	0.52*	-0.08 <sup>ns</sup>	5.08 <sup>ns</sup>	-4.96*	156.16**
P3	-0.03 <sup>v</sup>	0.42**	-0.50**	0.10**	-0.01 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	-0.72**	0.63**	-5.42 <sup>ns</sup>	-1.76 <sup>ns</sup>	-124.65**
P4	0.04**	0.13 <sup>ns</sup>	0.56**	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.86**	0.76**	9.62**	5.20**	262.91**
P5	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.25*	0.01 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-2.54**	1.08**	-1.79 <sup>ns</sup>	-3.08 <sup>ns</sup>	-18.41 <sup>ns</sup>
P6	0.00 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.71**	-0.66**	-0.90 <sup>ns</sup>	1.89 <sup>ns</sup>	118.56**
P7	-0.05**	0.23 <sup>ns</sup>	-0.20*	0.08 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	0.92**	-0.52 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	6.56**	100.23**
P8	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.10**	1.48**	-0.23 <sup>ns</sup>	6.26*	-0.36 <sup>ns</sup>	-110.80**
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.02	0.15	0.15	0.05	0.02	0.03	0.24	0.33	4.96	1.44	110.0

<sup>ns</sup>, \* and \*\* Non significantly difference and significantly difference at 5 and 1 % probability level, respectively.

LSD<sub>(0.05)</sub>-Least significantly difference at 5% probability level.

حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

P1 (C.JPS3), P2 (S.2274), P3 (H.370), P4 (K.2274), P5 (S.L), P6 (C20), P7 (Primoga), P8 (A13012).

هشت لاین گوجه‌فرنگی که به عنوان والد استفاده شدند:

The eight tomato lines used as parents: P1 (C.JPS3), P2 (S.2274), P3 (H.370), P4 (K.2274), P5 (S.L), P6 (C20), P7 (Primoga), P8 (A13012).

جدول ۵. تخمین ترکیب پذیری خصوصی صفات ارزیابی شده در هشت لاین گوجه فرنگی.

Table 5. Estimation of specific combining abilities of evaluated characters in eight lines of tomato.

Hybrids	Fruit shape index (length to diameter)	No. of locules/fruit	Fruit firmness index	Brix	Titrate acidity	pH of fruit juice	No. of inflorescence	No. of flower per inflorescence	No. fruit/plant	Average fruit weight	Yield/plant
S. 2274 x C.JPS3	0.07	-1.11**	1.13**	0.04	0.01	-0.11	-5.17**	3.61**	23.37	-2.60	478.10
H.1370 x C.JPS3	0.06	-0.25	-1.16**	-0.13	0.04	0.19**	1.08**	-1.80**	-7.12	13.72	415.51
H.1370 x S.2274	-0.01	-0.37	0.94**	0.01	-0.02	-0.15	3.05**	-2.44**	-13.32	-7.38	-1099.94**
K.2274 x C.JPS3	0.06	-0.08	-0.71**	0.32**	0.08*	0.13	-0.78**	0.15	3.83	-13.97	-187.71
K.2274 x S.2274	-0.07	0.93**	-1.08**	0.05	0.04	0.03	0.19	1.11**	20.97	-3.93	553.54*
K.2274 x H.1370	0.09	0.25	-0.57**	-0.20	-0.02	-0.18*	-3.56**	3.09**	25.14	-8.33	-1041.05**
S.L x C.JPS3	-0.17**	1.03**	-0.66**	0.09	-0.05	-0.33**	-3.78**	0.41	-9.67	-12.05	-449.52
S.L x S.2274	0.01	-0.09	0.03	-0.05	-0.04	0.08	-0.35	-1.04**	-10.02	12.23	109.91
S.L x H.1370	-0.02	-0.78**	0.09	-0.25**	-0.05	0.14	-4.89**	9.78**	65.89*	-5.38	1851.13**
S.L x K.2274	-0.01	0.13	0.04	-0.06	0.05	0.09	3.75**	-2.21**	-5.16	-10.09	-90.17
C20 x C.JPS3	0.04	-0.55**	-0.12	-0.14	0.04	-0.01	-3.35**	-0.77*	-24.98	35.02**	513.24
C20 x S.2274	0.05	0.64**	-0.74**	0.12	0.02	0.05	3.12**	-0.29	6.16	4.32	640.19*
C20 x H.1370	-0.04	0.93**	-0.38	0.05	0.07	0.08	0.36	-2.38**	-26.01	0.11	-581.36*
C20 x K.2274	-0.01	-0.63**	1.77**	-0.11	-0.08	-0.14	-1.99**	3.79**	42.28*	-23.06*	-141.06
C20 x S.L	0.04	-0.11	1.10**	0.17	0.01	0.10	4.68**	-2.21**	-7.97	5.12	-482.94
Primoga x Cal JPS 3	-0.03	0.12	0.70**	0.09	0.04	0.03	1.44**	-0.13	4.19	-21.89	-787.13**
Primoga x S.2274	-0.06	0.21	-0.32**	-0.32**	0.02	-0.10	0.91*	-1.19**	-19.68	-3.48	-710.79*
Primoga x H.1370	0.11	0.19	0.06	0.34**	-0.03	0.02	4.15**	-1.64**	3.83	22.10	2165.13**
Primoga x K.2274	-0.05	-0.52**	1.11**	-0.16	-0.05	0.04	-1.71**	-2.47**	-46.22*	31.81**	435.22
Primoga x S.L	0.01	-0.07	-0.63**	0.36**	0.05	-0.15	1.47**	-0.77*	3.53	-13.06	-407.38
Primoga x C20	-0.07	0.10	-0.87**	-0.14	-0.06	0.06	-1.78**	-2.03**	-46.70*	-7.13	-1353.45**
A13012 x C.JPS3	0.02	-0.16	0.41	-0.21	-0.04	0.08	9.38**	-2.11**	-14.80	-10.02	-647.80*
A13012 x S.2274	0.01	-0.12	0.06	0.08	0.01	0.10	-1.23**	0.16	-2.40	-4.11	185.10
A13012 x H.1370	-0.22**	0.45*	0.52*	0.27**	0.01	-0.09	-0.91*	-3.99**	-53.83*	-16.59	-1834.11**
A13012 x K.2274	0.04	0.05	0.01	0.09	-0.08	0.05	3.23**	-2.69**	-31.21	32.77**	734.12**
A13012 x S.L	0.09	-0.28	-0.03	-0.16	0.06	0.01	-5.09**	-2.55**	-49.79*	11.87	-830.81**
A13012 x C20	-0.01	-0.26	-0.75**	0.04	0.01	-0.09	-0.34	3.24**	56.31*	-12.48	1523.91**
A13012 x Primoga	0.04	0.19	-0.25	-0.09	0.04	0.05	-3.55**	7.72**	101.98**	-1.79	758.60**
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.02	0.15	0.15	0.05	0.02	0.03	0.24	0.33	4.96	1.44	110.0

\* و \*\* به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

\*, \*\*: Significantly difference at 5 and 1 % probability level, respectively.

LSD<sub>(0.05)</sub>-Least significantly difference at 5% probability

LSD<sub>(0.05)</sub>: حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد.

هشت لاین گوجه فرنگی که به عنوان والد استفاده شدند: P1 (C.JPS3), P2 (S.2274), P3 (H.370), P4 (K.2274), P5 (S.L), P6 (C20), P7 (Primoga), P8 (A13012).  
The eight tomato lines used as parents: P1 (C.JPS3), P2 (S.2274), P3 (H.370), P4 (K.2274), P5 (S.L), P6 (C20), P7 (Primoga), P8 (A13012).

و (2014) El-Gabry *et al* نیز گزارش شده است. درصد هتروزیس نسبی بالا در تعداد میوه (۳۴/۶ درصد) نشان از برتری اثرات غالبیت و واکنش مناسب گیاه به دورگ گیری است. از نظر GCA در صفت تعداد میوه برترین والدین، K.2274 و A13012 بودند (جدول ۴). تلاقی های A13012×Primoga و S.L×H.1370 بالاترین میزان SCA را در تعداد میوه در بوته به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در صفت میانگین وزن میوه اثر ژنوتیپها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). تجزیه واریانس ترکیب پذیری نشان داد که GCA و SCA در سطح ۱ درصد معنی دار بودند، بنابراین وزن میوه به صورت افزایشی- غالبیت کنترل می شود (جدول ۳).

#### تعداد میوه در بوته و متوسط وزن میوه

براساس نتایج تجزیه واریانس تعداد میوه در بوته، ژنوتیپها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بودند (جدول ۲). تجزیه ترکیب پذیری مشخص نمود که GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود، بنابراین هر دو عمل افزایشی و غیرافزایشی ژن در کنترل تعداد میوه نقش دارند (جدول ۳). در مطالعه Hannan *et al.* (2007) نیز هر دو پارامتر ژنتیکی مذکور برای تعداد میوه در گیاه معنی دار گزارش شدند. نسبت GCA به SCA کمتر از یک بود که بیانگر نقش تعیین کننده اثرات غیر افزایشی است. سهم بالاتر اثرات غیر افزایشی بر وراثت تعداد میوه در مطالعات پیشین توسط Chattopadhyay *et al* (2011)

جدول ۶. میانگین صفات مختلف برای هشت لاین والدینی، هیبریدهای  $F_1$  و دو هیبرید تجاری گوجه‌فرنگی.

Table 6. Mean performances of the different traits for eight parents,  $F_1$  hybrids and two commercial hybrids of tomato.

Genotype	Fruit shape index (length to diameter)	No. of locules/fruit	Fruit firmness index (g/cm <sup>3</sup> )	Brix	Tituble acidity	pH of fruit juice	No. of inflorescence	No. of flower per inflorescence	No. fruit/plant	Average fruit weight (g)	Yield/plant (g)
C.JPS3 (P1)	1.0	3.2	6.0	3.9	0.6	4.1	15.5	10.3	69.5	16.4	1134.1
S.2274 (P2)	1.0	4.2	5.4	3.8	0.5	4.2	19.0	10.2	44.7	40.2	1824.4
H.1370 (P3)	0.9	6.3	5.8	4.5	0.4	4.5	17.0	8.7	48.0	60.1	2853.2
K.2274 (P4)	0.9	5.3	6.9	3.7	0.5	4.3	12.5	8.7	49.0	52.8	2576.2
S.L. (P5)	0.9	4.6	6.0	4.0	0.4	4.0	14.5	8.9	45.0	66.5	2687.7
C20 (P6)	0.7	4.9	5.4	3.9	0.5	4.3	20.0	10.1	85.4	22.8	1950.0
Primoga (P7)	0.7	6.1	5.6	4.5	0.5	4.3	12.5	10.4	57.3	39.2	2194.7
A13012 (P8)	0.9	4.3	5.9	3.9	0.5	4.3	14.5	13.8	114.0	26.8	2214.4
P2 x P1	1.0	2.9	6.4	4.1	0.6	4.1	12.5	14.0	101.0	30.5	3082.7
P3 x P1	1.0	4.1	3.6	4.1	0.6	4.5	17.5	9.3	60.0	50.0	2739.3
P3 x P2	0.8	4.9	5.8	4.2	0.5	4.0	19.5	9.6	72.7	27.5	1764.0
P4 x P1	1.1	4.0	5.1	4.4	0.6	4.5	15.5	11.4	86.0	29.3	2523.6
P4 x P2	0.8	5.9	4.8	4.1	0.5	4.2	16.5	13.2	122.0	37.9	3805.0
P4 x P3	1.0	5.6	4.8	4.0	0.4	4.1	14.4	15.9	115.7	36.7	1929.6
P5 x P1	0.8	5.1	5.2	4.1	0.5	4.0	12.5	11.6	72.5	31.2	2261.8
P5 x P2	0.8	4.7	5.7	4.0	0.5	4.2	14.3	11.4	79.6	45.8	3080.1
P5 x P3	0.8	4.4	5.2	4.0	0.4	4.4	8.5	22.9	145.0	31.4	4540.5
P5 x P4	0.9	5.0	6.2	4.0	0.5	4.4	17.0	11.1	89.0	33.6	2986.8
P6 x P1	1.0	3.5	5.1	4.0	0.6	4.3	14.5	9.1	46.7	75.0	3080.2
P6 x P2	0.9	5.6	4.7	4.2	0.6	4.3	21.0	10.4	96.7	42.8	3747.3
P6 x P3	0.8	6.2	4.5	4.3	0.6	4.4	17.0	9.0	54.0	41.8	2245.0
P6 x P4	0.9	4.4	7.7	4.0	0.4	4.2	14.4	15.3	137.3	25.6	3072.8
P6 x P5	0.9	4.8	6.7	4.3	0.5	4.4	19.6	9.7	75.7	45.5	2449.6
P7 x P1	0.9	4.3	5.8	4.3	0.7	4.3	19.5	9.8	77.7	22.8	1761.5
P7 x P2	0.7	5.3	4.9	3.8	0.6	4.0	19.0	9.7	72.7	39.7	2378.0
P7 x P3	0.9	5.6	4.7	4.7	0.5	4.3	21.0	9.9	85.7	68.5	4973.1
P7 x P4	0.8	4.6	6.8	4.0	0.4	4.3	15.0	9.2	50.7	85.2	3630.8
P7 x P5	0.8	4.9	4.8	4.6	0.6	4.1	16.3	11.2	89.0	32.0	2506.9
P7 x P6	0.8	5.2	4.3	4.1	0.5	4.3	16.4	8.2	39.7	42.9	1697.8
P8 x P1	1.0	3.6	5.6	3.9	0.6	4.5	28.0	8.1	64.0	27.7	1689.8
P8 x P2	0.8	4.6	5.4	4.2	0.6	4.4	17.4	11.3	95.3	32.2	3062.9
P8 x P3	0.6	5.5	5.3	4.5	0.5	4.3	16.1	7.9	33.3	22.9	1762.9
P8 x P4	0.9	4.8	5.9	4.2	0.4	4.5	20.5	9.3	71.0	79.2	3718.7
P8 x P5	0.9	4.3	5.5	4.0	0.6	4.4	10.5	9.7	41.0	50.0	1872.5
P8 x P6	0.8	4.5	4.6	4.2	0.5	4.3	18.7	13.8	148.0	30.6	4364.1
P8 x P7	0.8	5.1	4.9	4.2	0.6	4.4	15.4	18.4	195.5	46.0	3580.5
Commercial hybrid (2971)	1.2	2.8	4.4	4.1	0.6	4.6	15.7	9.4	142.0	24.6	4284.0
Commercial hybrid (Super)	1.0	4.4	4.0	4.0	0.6	4.3	14.3	15.7	72.0	23.8	1944.6
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	5.0	2.9	190.4

LSD<sub>(0.05)</sub>—Least significantly difference at 5% probability levels.

LSD<sub>(0.05)</sub>: کم‌ترین تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

داشتند که وزن میوه تحت کنترل عمل افزایشی ژن است. بهترین والدین در متوسط وزن میوه بر اساس GCA، دو لاین Primoga و K.2274 بودند (جدول ۴). از نظر SCA هیبرید Primoga×K.2274 برتر بود (جدول ۵). Farzaneh *et al.* (2012) نیز طی مطالعه قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های گوجه‌فرنگی اظهار داشتند که لاین Primoga لاینی با

نسبت GCA به SCA کوچک‌تر از یک بود، در نتیجه اثرات غیر افزایشی در بروز این صفت نقش تعیین‌کننده دارند. Garg *et al.* (2008) و Shalaby (2013) بیان داشتند که کنترل وزن میوه به هر دو اثر افزایشی و غالبیت ژن با اهمیت بالاتر اثر افزایشی وابسته است. Biswas *et al.* (2011) با بررسی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی در دو شرایط اقلیمی اظهار



درصد هتروزیس شده است. در صفت متوسط وزن یک میوه نیز بیش از ۵۰ درصد هیبریدها مقدار هتروزیس مثبتی داشتند و سه هیبرید C20×C.JPS3، A13012×K.2274 و Primoga×K.2274 به ترتیب ۵۵/۴، ۳۹/۴ و ۳۹/۲ درصد بیشترین هتروزیس برای این صفت را نشان دادند (جدول ۸). مطالعه Kumar & Gowda (2016) بر روی آنالیز ژنتیکی لاین‌های گوجه‌فرنگی نشان داد مقدار هتروزیس کلیه هیبریدها در دو صفت تعداد میوه در بوته و متوسط وزن میوه مثبت بود و بیشترین مقدار هتروزیس در تلاقی Vaibhav با Pusa Ruby مشاهده شده است. در صفت تعداد میوه در بوته ۶۰ درصد هیبریدها درجه غالبیت بیش تر از یک را نشان دادند که نقش وراثت فوق غالبیت را در کنترل ژنتیکی این صفت تایید می‌کند، در حالی که در صفت متوسط وزن میوه بیش از ۵۰ درصد هیبریدها درجه غالبیت منفی نشان دادند نشان‌دهنده اثرات اپیستازی در کنترل این صفت می‌باشد (جدول ۸).

قابلیت تلاقی بالا با دیگر لاین‌ها بوده که در صفاتی نظیر متوسط وزن میوه دارای بالاترین GCA و SCA بوده است. در صفات تعداد میوه در بوته و متوسط وزن میوه، والد A13012 و والد S.L. به ترتیب دارای بالاترین میزان این صفات بودند. هیبرید A13012×Primoga بیشترین تعداد میوه در بوته را در میان سایر هیبریدها داشت و هیبرید A13012×K.2274 نیز با ۷۹/۲ گرم متوسط وزن یک میوه، دارای بیشترین میزان این صفت بود (جدول ۶). بیش از ۷۰ درصد هیبریدها در صفت تعداد میوه در بوته درصد هتروزیس مثبتی داشتند که نشان‌دهنده برتری هیبریدها نسبت به والدین می‌باشد. در بین هیبریدها، مقادیر هتروزیس نسبت به میانگین والدین از تنوع بالایی برخوردار بود، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار هتروزیس در صفت مذکور به ترتیب در هیبریدهای A13012×H.1370 و A13012×Primoga مشاهده شد. نقش والد A13012 در تلاقی با دو والد H.1370 و Primoga سبب بروز نتایج متفاوت در

جدول ۷. میانگین هتروزیس بر اساس میانگین والدین و درجه غالبیت برای صفات ارزیابی شده در هیبریدهای F<sub>1</sub> گوجه‌فرنگی.

Table 7. The average heterosis based on the average parent and potence ratio for evaluated traits in F<sub>1</sub> hybrids of tomato.

Hybrids	Fruit shape index (length to diameter)		No. of locules/fruit		Fruit firmness index (g/cm <sup>3</sup> )		Brix		Titrable acidity	
	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio
P2 x P1	0.3**	-1.1	-0.8**	-1.7	0.7**	2.1	0.2**	3.6	0.1*	1.7
P3 x P1	0.6**	0.7	-0.7**	0.4	-2.3**	-17.4	-0.1*	-0.5	0.1*	1.4
P3 x P2	-0.1*	-2.2	-0.3**	-0.3	0.2*	1.2	0.2**	0.1	0.6**	1.3
P4 x P1	0.3**	1.5	-0.3**	-0.3	-1.4**	-3.2	0.5**	5.0	0.7**	1.4
P4 x P2	-0.9**	-1.6	1.2**	2.2	-1.3**	-1.7	0.3**	5.4	0.2**	2.2
P4 x P3	0.1*	-12.6	-0.2**	-0.4	-1.5**	-2.6	-0.1*	-0.4	-0.2**	-0.5
P5 x P1	-0.2*	-1.6	1.2**	1.8	-0.9**	-52.0	0.2**	3.6	-0.3**	-0.4
P5 x P2	-0.9**	-2.0	0.4**	2.1	-0.1*	-0.1	0.1*	1.0	0.1*	0.4
P5 x P3	-0.7**	-10.8	-1.0**	-1.2	-0.7**	-5.9	-0.3**	-1.1	0.3**	1.9
P5 x P4	0.2*	-1.2	0.1**	0.3	-0.3*	-0.6	0.2**	1.0	0.1*	0.5
P6 x P1	0.4**	0.9	-0.6**	-0.7	-0.6**	-1.7	0.1*	-1.7	0.1*	1.4
P6 x P2	0.6**	0.5	1.1**	3.2	-0.7**	-81.0	0.3**	20.0	0.7**	2.5
P6 x P3	0.1*	0.4	0.7**	1.0	-1.1**	-5.5	0.1*	0.3	0.1*	6.5
P6 x P4	0.1*	1.7	-0.7**	-3.6	1.6**	2.1	0.2**	2.4	-0.1*	-5.9
P6 x P5	0.2*	1.3	0.1**	0.2	1.4**	3.3	0.4**	4.4	0.4**	4.9
P7 x P1	-0.1*	0.1	-0.4**	-0.3	-0.1*	-0.2	0.1*	0.2	0.1*	3.0
P7 x P2	0.1*	-0.9	0.1**	0.1	-0.6**	-5.7	-0.4**	-1.0	0.1*	2.9
P7 x P3	0.1*	1.5	-0.6**	-7.2	-1.0**	-9.6	0.2**	-9.0	0.2**	0.4
P7 x P4	0.1*	0.2	-1.1**	-2.6	0.6**	0.9	-0.1*	0.3	-0.1*	-4.2
P7 x P5	0.3**	0.2	-0.4**	-0.6	-1.0**	-4.7	0.3**	1.3	0.7**	1.4
P7 x P6	0.3**	704.1	-0.3**	-0.5	-1.2**	-11.8	-0.1*	-0.4	-0.5**	-1.0
P8 x P1	0.7**	0.3	-0.2**	-0.3	-0.4*	-5.3	-0.1*	1.0	0.2**	0.4
P8 x P2	-0.3**	-1.2	0.3**	5.2	-0.3*	-0.9	0.3**	5.7	0.1*	34.6
P8 x P3	0.7**	-28.4	0.2**	0.2	-0.5*	-7.5	0.3**	1.1	0.1*	1.4
P8 x P4	0.5**	55.6	0.1**	0.3	-0.5*	-1.1	0.4**	3.5	-0.1*	-17.4
P8 x P5	0.5**	2.9	-0.1**	-1.0	-0.4*	-8.4	0.3**	0.6	0.1*	2.7
P8 x P6	0.5**	0.8	-0.1**	-0.4	-1.1**	-4.0	0.3**	-8.9	0.4**	0.2
P8 x P7	0.4**	0.6	-0.2**	-0.2	-0.9**	-5.2	-0.8**	-0.3	0.5**	2.7
The average Table Diallel	0.03		0.60		0.60		0.11		0.01	
The critical difference 0.05	0.09		0.76		0.58		0.19		0.09	
The critical difference 0.01	0.12		1.00		0.76		0.25		0.12	

\* و \*\*: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

\*, \*\*: Significantly difference at 5 and 1 % probability level, respectively.

جدول ۸. میانگین هتروزیس بر اساس میانگین والدین و درجه غالبیت برای صفات ارزیابی شده در هیبریدهای F<sub>1</sub> گوجه‌فرنگی.  
Table 8. The average heterosis based on the average parent and potence ratio for evaluated traits in F<sub>1</sub> hybrids of tomato.

Hybrids	pH of fruit juice		No. of inflorescence		No. of flower per inflorescence		No. fruit/plant		Average fruit weight (g)		Yield/plant (g)	
	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio	Heterosis	Potence ratio
P2 x P1	-0.1**	-1.7	-4.8**	-2.7	4.7**	4.4	43.9**	3.5	2.2*	0.2	1603.4**	4.7
P3 x P1	0.1**	1.0	1.3**	1.7	-0.2*	-0.2	1.3*	0.4	11.8**	0.4	745.6**	0.9
P3 x P2	-0.3**	-2.5	1.5**	1.5	1.1*	4.9	26.3**	15.8	-22.7**	-2.6	-574.8**	-1.1
P4 x P1	0.2**	2.3	1.5**	1.0	1.4*	4.6	26.8**	2.6	-5.2**	-0.3	668.4**	0.9
P4 x P2	-0.1**	-1.0	0.8*	0.2	4.3**	5.5	75.2**	34.7	-8.6**	-2.4	1604.6**	4.3
P4 x P3	-0.3**	-3.4	-3.8**	-1.4	6.7**	12.3	67.2**	134.3	-19.7**	-10.9	-785.2**	-5.7
P5 x P1	-0.1**	-1.7	-2.5**	-5.0	2.0**	2.9	15.3**	1.2	-10.2**	-0.4	350.9**	0.5
P5 x P2	0.1**	-1.0	-2.5**	-1.1	2.9**	7.9	34.8**	208.6	-7.6**	-1.1	824.0**	1.9
P5 x P3	0.1**	-0.6	-7.3**	-5.8	14.1**	109.4	98.5**	65.7	-31.9**	-10.0	1770.0**	21.4
P5 x P4	0.1**	-1.2	3.5**	3.5	1.7*	4.2	42.0**	21.0	-26.0**	-3.8	354.7**	6.4
P6 x P1	0.1**	1.1	-3.3**	-1.4	-1.2*	-10.3	-30.8**	-3.9	55.4**	14.3	1538.2**	3.8
P6 x P2	-0.1**	-0.3	1.5**	3.0	1.3*	1.3	31.6**	1.6	11.3**	0.9	1860.1**	29.6
P6 x P3	-0.1**	0.1	-1.5**	-1.0	-0.3*	-0.5	-12.7**	-0.7	0.4	0.2	-156.6**	-0.4
P6 x P4	-0.1**	27.0	-1.8**	-0.5	5.4**	30.4	70.1**	3.9	-12.2**	-1.0	809.6**	2.6
P6 x P5	0.2**	-1.5	2.3**	0.8	0.2*	0.3	10.5**	0.5	0.9	-0.4	130.8*	0.4
P7 x P1	0.1**	1.0	5.5**	3.7	-0.6*	-10.0	14.3**	2.3	-5.0**	-0.4	97.1*	0.2
P7 x P2	-0.2**	-7.0	3.3**	1.0	0.3*	0.3	21.7**	3.4	0.1	-13.5	368.5**	2.0
P7 x P3	0.1**	-1.3	6.3**	2.8	0.4*	0.4	33.0**	7.1	18.8**	0.9	2449.2**	7.4
P7 x P4	-0.2**	-1.0	2.5**	2.5	-0.9*	-2.5	-2.5*	-0.6	39.2**	4.3	1245.2**	6.5
P7 x P5	-0.1**	0.8	3.0**	3.0	1.6*	2.0	37.8**	6.1	-20.8**	-1.8	65.6*	0.3
P7 x P6	0.2**	1.8	0.3*	0.1	-2.0**	-12.0	-31.7**	-2.3	11.9**	1.5	-374.6**	-3.1
P8 x P1	0.3**	2.7	13.0**	26.0	-3.9**	-3.9**	-27.8**	-1.3	6.2**	2.7	15.6*	0.1
P8 x P2	0.1**	-2.1	0.7*	0.3	0.3*	0.1	15.9**	0.5	-1.3	0.1	1043.5**	5.4
P8 x P3	-0.1**	-1.4	0.8*	0.6	-3.4**	-1.3	-47.7**	-1.4	-20.5**	-0.9	-1770.9**	-5.5
P8 x P4	0.1**	0.1	7.0**	7.0	-2.5**	-1.2	-10.5**	-0.3	39.4**	1.2	1323.3**	7.3
P8 x P5	0.1**	-1.2	-4.0**	-4.0	-1.6*	-0.7	-38.5**	-1.1	3.4*	0.1	-578.6**	-2.4
P8 x P6	0.1**	-1.0	1.3**	0.5	1.9*	1.0	48.3**	3.4	5.8**	15.5	2281.9**	17.3
P8 x P7	0.1**	-5.0	2.0**	2.0	6.3**	3.8	109.8**	3.9	13.0**	-1.3	1375.9**	140.0
The average Table Diallel	0.1		4.2		-1.1		149.8		12.7		22.0	
The critical difference 0.05	0.1		1.0		1.5		65.9		12.4		460.0	
The critical difference 0.01	0.2		1.4		2.0		86.7		16.3		605.1	

\*, \*\*: Significantly difference 5 and 1 % probability level, respectively.

\* و \*\* به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

### تعداد خوشه و تعداد گل در خوشه

افزایشی را در بروز تعداد گل در خوشه نشان می‌دهد. هتروزیس کل در حد متوسط (۱۴/۵) بود، در نتیجه اصلاح به روش دورگ‌گیری در این ژنوتیپ‌ها قابل اجرا می‌باشد. بهترین والد از نظر GCA لاین S.L. بود (جدول ۴). از نظر SCA هیبرید S.L×H.1370 بهترین بود (جدول ۵). دو والد S.L. و A13012 به ترتیب دارای بیش‌ترین تعداد خوشه و تعداد گل در خوشه بودند. نکته مهم این بود که بیش‌ترین تعداد خوشه و کم‌ترین تعداد گل در خوشه در هیبرید A13012×C.JPS3 مشاهده شد، اما بیش‌ترین تعداد گل در خوشه و کم‌ترین تعداد خوشه در هیبرید S.L. × H.1370 به‌دست آمد (جدول ۶). Soleiman (2009) طی مطالعه صفات کمی و کیفی در تلاقی‌های دای آلل لاین‌های گوجه‌فرنگی بیان کرد میزان این صفت در هیبرید C×P حدود ۱۱ درصد بیش‌تر از والد برتر بوده است. هیبرید S.L. × H.1370 در صفت تعداد

در صفت تعداد خوشه معنی‌دار شدن GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد و بالاتر بودن واریانس SCA نسبت به GCA نشان‌دهنده مدل افزایشی- غالبیت با اهمیت بالاتر عمل غالبیت ژن است (جدول ۲). Saeed *et al* (2014) نیز تأثیر توأم اثرات افزایشی و غالبیت را با چیرگی اثرات غالبیت گزارش کردند. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تعداد خوشه در لاین A13012 از سایر والدین بالاتر بود (جدول ۴). بالاترین SCA در هیبریدهای A13012×C.JPS3 و C20×S.L. مشاهده شد (جدول ۵). بررسی پارامترهای ژنتیکی در صفت تعداد گل در خوشه نشان داد که GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند که نقش هر دو عمل افزایشی و غالبیت ژن را در کنترل این صفت نشان می‌دهد (جدول ۳). نسبت GCA به SCA کوچکتر از یک بود که چیرگی اثرات غیر افزایشی بر

(جدول ۴). هیبرید H.1370×C.JPS3 از نظر SCA برتر بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین pH آب میوه به ترتیب در دو والد H.1370 و S.L. مشاهده شد، این در حالی است که در صفت اسیدیته قابل تیتر والد H.1370 و C.JPS3 دارای بالاترین میزان و دو والد H.1370 و S.L. دارای کمترین میزان این صفت بودند. بین هیبریدها از نظر اسیدیته قابل تیتر تفاوت قابل توجهی مشاهده نشد، اما در صفت pH آب میوه چهار هیبرید H.1370×C.JPS3، K.2274×C.JPS3، A13012×C.JPS3 و A13012×K.2274 بیشترین pH آب میوه را داشتند (جدول ۶). در مطالعه مقایسه صفات کمی و کیفی لاین‌های والدینی و هیبریدهای F1 گوجه‌فرنگی، pH آب میوه در والد TB-1 کمترین (۴/۰۳) و در والد Vaibhav بیشترین (۴/۸۶) میزان بود، اما هیبرید Arka Alok × DMT-5 از تمام والدین و هیبریدهای F1 نیز بالاتر (۵/۲۱) بوده است (Rathod, 2016). بیشترین مقدار هتروزیس نسبت به میانگین والدین در صفت اسیدیته قابل تیتر در تلاقی های K.2274×C.JPS3، C20×S.2274 و Primoga×S.L. مشاهده شد (جدول ۷). در صفت اسیدیته قابل تیتر بیش از ۷۵ درصد از هیبریدها مقدار هتروزیس مثبت داشته (جدول ۷)، اما در صفت pH آب میوه ۵۷ درصد از هیبریدها دارای هتروزیس مثبت بودند (جدول ۸). در کنترل صفت اسیدیته قابل تیتر در هیبریدها ۶۱ درصد فوق‌غالبیت، ۲۱ درصد اپیستازی و ۱۸ درصد غالبیت ناقص بودند (جدول ۷) و در صفت pH آب میوه بیش از ۶۰ درصد هیبریدها دارای وراثت اپیستازی، ۱۸ درصد فوق‌غالبیت و ۷ درصد غالبیت کامل بودند (جدول ۸).

**شاخص سفتی میوه و مواد جامد محلول در میوه (Brix)**  
نتایج آنالیز واریانس نشان داد تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند، بنابراین هم عمل افزایشی و هم عمل غالبیت ژن در کنترل سفتی میوه سهمیم بوده‌اند (جدول ۳). با توجه به این که نسبت GCA به SCA کمتر از یک بود، این امر اثر هر دو عمل

خوشه دارای کمترین مقدار هتروزیس بود، در حالی که در صفت تعداد گل در خوشه دارای بیشترین مقدار هتروزیس بوده است. بیش از ۶۰ درصد هیبریدها در دو صفت ذکر شده هتروزیس مثبت و معنی‌داری را نشان دادند و بالاترین مقدار هتروزیس در هیبریدهای H.1370×C.JPS3 و S.L. × H.1370 به ترتیب در تعداد خوشه و تعداد گل در خوشه مشاهده شد. بررسی نوع عمل ژن در صفت تعداد خوشه و تعداد گل در خوشه نشان داد که به ترتیب ۳۹ و ۴۶ درصد وراثت فوق‌غالبیت، ۳۲ و ۳۶ درصد اپیستازی و ۲۱ و ۱۸ درصد غالبیت ناقص بوده است (جدول ۸). بررسی آنالیز تلاقی های دای آل در لاین‌های گوجه‌فرنگی نشان داد ۶۰ درصد هیبریدهای F1 هتروزیس مثبتی داشت و وراثت ۴۰ درصد آنها نیز به صورت فوق‌غالبیت بوده است (Soleiman, 2009).

#### اسیدیته قابل تیتر و pH آب میوه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد از نظر اسیدیته قابل تیتر در میوه بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری نشان داد SCA و GCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند، از این رو کنترل این صفت توسط اثرات افزایشی و غیر افزایشی بود (جدول ۳). میزان هتروزیس کل بالا و مثبت (۶/۴۰ درصد) بود بنابراین لاین‌ها به دورگ‌گیری واکنش مناسبی نشان دادند. نتایج ترکیب‌پذیری عمومی نشان داد لاین C.JPS3 با بالاترین GCA برترین والد بود (جدول ۴). بالاترین SCA در هیبرید H.1370×C.JPS3 مشاهده شد (جدول ۵). با توجه به نتایج آنالیز واریانس، اثر ژنوتیپ بر pH آب میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند که نقش هر دو عمل افزایشی و غالبیت ژن را در کنترل این صفت نشان می‌دهد (جدول ۳). از آنجایی که نسبت GCA به SCA کوچکتر از یک بود، اثرات غیر افزایشی در بروز این صفت نقش تعیین‌کننده را ایفا می‌کنند. هتروزیس کل پایین، اما مثبت (۰/۳۸) بود، لاین A13012 بالاترین GCA را در pH آب میوه داشت

شاخص طول به قطر میوه و تعداد حفره در میوه نتایج حاصل آنالیز واریانس نشان داد اثر ژنوتیپ‌ها بر شاخص طول به عرض میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری حاکی از آن بود که GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند، از این رو کنترل این صفت توسط اثرات افزایشی و غیر افزایشی صورت گرفته است (جدول ۳). نسبت GCA به SCA مساوی یک بود، بنابراین نقش اثرات افزایشی و غیرافزایشی در بیان این صفت یکسان بوده است. هر چند برخی مطالعات اثرات غیر افزایشی را در وراثت این صفات مؤثرتر دانسته‌اند (El-Gebry *et al.*, 2014). میزان هتروزیس کل بسیار کم، ولی مثبت (۰/۸۶) بود، میزان پایین هتروزیس نقش قابل توجه اثرات افزایشی را تأیید می‌کند. لاین‌های K.2274 و C.JPS3 لاین‌های والدینی با GCA مثبت بودند (جدول ۴). هیبریدهای Primoga×H.1370 و K.2274×H.1370 بالاترین میزان SCA را داشتند (جدول ۵). نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن بود که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد حفره میوه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری نشان داد GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند که بیان‌گر نقش توأم عمل افزایشی و غالبیت ژن در کنترل این صفت است (جدول ۳). از آنجایی که نسبت GCA از SCA کوچکتر از یک بود، بنابراین اثرات غیرافزایشی نقش برجسته‌تری در بیان ژنتیکی این صفت دارند. Garg *et al.* (2008) نیز دخالت توأم اثرات افزایشی و غیر افزایشی در بروز این صفت را بیان کردند، هر چند نقش اثرات غیر افزایشی مهم‌تر ارزیابی شد. هتروزیس کل برای صفت تعداد حفره میوه بسیار کم و منفی (۱/۹۵-) بوده که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اثرات افزایشی نسبت به اثرات غیرافزایشی می‌باشد. مطالعه صفات مختلف در لاین‌های گوجه‌فرنگی نیز نشان داد که هتروزیس کل بسیار پایین و منفی (۰/۹۴-) بود و اهمیت اثرات افزایشی به مراتب بیشتر از اثرات غیر افزایشی بوده است (Emami, 2018). نتایج ترکیب‌پذیری عمومی

افزایشی و غیر افزایشی ژن را در کنترل سفتی میوه نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های Garg *et al.* (2008) و Shankar *et al.* (2013) همسو بود. میزان هتروزیس کل در هیبریدها منفی و ۸/۶۸- بود (جدول ۳). بالاترین میزان GCA در لاین والدینی K.2274 مشاهده شد (جدول ۴). در میان هیبریدهای تولید شده C20×K.2274 بالاترین میزان SCA را دارا بود (جدول ۵). نتایج آنالیز واریانس برای مواد جامد محلول در میوه (بریکس) نشان داد اثر ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری نیز حاکی از آن بود که GCA و SCA در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). این امر دخالت هر دو عمل افزایشی و غیر افزایشی ژن را در کنترل مواد جامد محلول در میوه نشان می‌دهد. نسبت GCA به SCA کم‌تر از یک بود که چیرگی اثرات غیر افزایشی بر اثرات افزایشی را نشان می‌دهد. میزان هتروزیس کم (۲/۷۰ درصد) بود. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی برای بریکس میوه در لاین H.1370 از سایر والدین بالاتر بود (جدول ۴). از نظر SCA، هیبریدهای Primoga×S.L. و Primoga×H.1370 برترین بودند (جدول ۵). در صفت شاخص سفتی میوه بالاترین مقدار هتروزیس در هیبرید C20×K.2274 و در صفت بریکس در هیبرید K.2274×C.JPS3 مشاهده شد. مقدار هتروزیس نسبت به میانگین والدین در بیش از ۵۰ درصد هیبریدها برای صفت بریکس مثبت بود (جدول ۷). درجه غالبیت بیش از یک در ۳۹ درصد هیبریدها برای صفت بریکس میوه و ۱۴ درصد هیبریدهای شاخص سفتی میوه نشان‌دهنده کنترل این صفات به صورت فوق غالبیت است (جدول ۷). در مطالعه Andrade *et al.* (2014) مشخص شد که وراثت صفت بریکس به صورت افزایشی است. Soleiman (2009) طی پژوهش تلاقی دای آلل که بر روی لاین‌های گوجه‌فرنگی نشان داد که ۷۰ درصد هیبریدها هتروزیس مثبتی در صفت بریکس میوه داشتند و وراثت ۵۰ درصد آن‌ها نیز به صورت فوق غالبیت بوده است.

لاین‌های گوجه‌فرنگی مقدار هتروزیس دو صفت شاخص طول به قطر میوه و تعداد حفره در میوه به ترتیب در ۶۰ و ۵۰ درصد هیبریدها منفی بود. در این بررسی همچنین درجه غالبیت بیش از ۵۰ درصد هیبریدها به صورت اپیستازی بود و درصد کمی درجه غالبیت ناقص را نشان دادند (Soleiman, 2009).

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، تعداد ۲۸ هیبرید  $F_1$  از هشت لاین والدینی گوجه‌فرنگی به‌دست آمد که هیبریدهای  $Primoga \times H.1370$ ،  $A13012 \times Primoga$ ،  $A13012 \times C.JPS3$ ،  $S.L. \times H.1370$ ،  $C20 \times K.2274$  و  $K.2274 \times C.JPS3$  به ترتیب از نظر صفات عملکرد، تعداد میوه در بوته، متوسط وزن میوه، تعداد خوشه، تعداد گل در خوشه و صفات کیفی نظیر سفتی میوه و بریکس میوه مطلوب بودند. در صفت عملکرد چهار لاین  $S.2274$ ،  $K.2274$ ،  $C20$  و  $Primoga$  لاینهای والدینی با GCA مثبت بودند، بنابراین می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی با هدف عملکرد بیشتر، از آن‌ها بهره گرفت. در میان هیبریدها، هیبرید  $Primoga \times H.1370$  بهترین ترکیب‌پذیری خصوصی را از نظر عملکرد نشان داد. نتایج درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین، نشان‌دهنده بروز هتروزیس در تمام صفات مورد بررسی است و در مجموع این هیبریدها هتروزیس خوبی را نشان دادند. بررسی درجه غالبیت به‌عنوان پارامتری از نحوه وراثت و نوع عمل ژن نشان داد در صفات عملکرد، اجزا عملکرد، اسیدیته قابل تیتر و بریکس میوه وراثت به صورت غالبیت کامل و فوق غالبیت کنترل می‌شود. به طور کلی، با توجه به نقش موثر اثرات غالبیت و فوق غالبیت ژن‌ها در کنترل ژنتیکی عملکرد و اجزا عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی و در نتیجه بروز هتروزیس بالا، بهتر است انجام‌گزینش به منظور بهبود ژنتیکی این صفات از نسل‌های پیشرفته اصلاحی آغاز شود. نتایج حاصل از این مطالعه همچنین می‌تواند به اجرای فعالیت‌های به‌نژادی مدون و کارا تر در گیاه گوجه‌فرنگی کمک کند.

نشان داد که لاین H.1370 دارای بالاترین GCA بود (جدول ۴). هیبرید  $S.L. \times C.JPS3$  دارای بیش‌ترین SCA بود (جدول ۵). بیش‌ترین تعداد حفره در میوه در والد H.1370 مشاهده شد و شاخص طول به قطر میوه در دو والد  $C.JPS3$  و  $S.2274$  بیش‌ترین بود. در میان نتایج، هیبرید  $A13012 \times H.1370$  گردترین و  $K.2274 \times C.JPS3$  کشیده‌ترین میوه‌ها را دارا بودند. تعداد حفره در میوه در هیبرید  $C20 \times H.1370$  بیش‌ترین بود (جدول ۶). بر خلاف نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، مطالعه بررسی شاخص‌های کمی و کیفی میان هیبریدهای  $F_1$  و والدین در گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد بین نتایج و لاین‌های والدینی تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص طول به قطر میوه و تعداد حفره در میوه وجود داشت (Andrade *et al.*, 2014). در پژوهش آنالیز دای آلل لاین‌های  $F_1$  گوجه‌فرنگی مشخص شد که از نظر صفت تعداد حفره در میوه تفاوت معنی‌داری بین والدین و ژنوتیپ‌ها وجود داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین (۵۵/۵۵) و کم‌ترین (۲/۳۰) میزان این صفت به ترتیب در هیبرید  $K-3 \times Arka Alok$  و والد HUB-18 مشاهده شد (Rathod, 2016). در مطالعه Soleiman (2009) بر روی آنالیز دای آلل تلاقی لاین‌های گوجه‌فرنگی مشخص شد که بالاترین و پایین‌ترین شاخص طول به قطر میوه به ترتیب در والدین Superstrain-B (۱/۲۵) و در والد Edwaky (۰/۶۹) بود، اما بالاترین میزان این شاخص در هیبرید حاصل از تلاقی  $CastelRock \times Peto-86$  وجود داشت. بالاترین مقدار هتروزیس نسبت به میانگین والدین در شاخص طول به قطر میوه در تلاقی  $A13012 \times C.JPS3$  و در صفت تعداد حفره در میوه در تلاقی  $S.L. \times C.JPS3$  مشاهده شد. والد  $C.JPS3$  اثر مثبتی بر هتروزیس هر دو صفت داشت. مقدار هتروزیس صفت شاخص طول به قطر میوه نسبت به میانگین والدین در بیش از ۵۰ درصد هیبریدها مثبت بود. کنترل صفات شاخص طول به قطر میوه و تعداد حفره در میوه به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درصد به صورت فوق غالبیت و ۳۹ و ۵۷ درصد اپیستازی بوده است (جدول ۷). در پژوهش تلاقی‌های دای آلل

## REFERENCES

1. Andrade, M.C., Da Silva, A. A., Conrado, T. V., Maluf, W. R., Andrade, T. M. & De Oliveira, C. M. (2014). Combining ability of tomato lines in saladette-type hybrids. *Bragantia, Campinas*, 73 (3), 237-245.
2. AOAC. (2000). *Official method of analysis*. (17th Ed.). Gaithersburg, MD, USA.
3. Arshi, Y. (2000). *Genetic improvement of vegetable crops*. Jahad-e Daneshgahi Mashhad Publications, Iran. (In Farsi).
4. Backer, J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science*, 18, 533-536.
5. Bayat, H., Neamati, S. H., Bagheri, A., Tehranifar, A. & Saei, M. (2013). Heterosis and combining ability for ornamental traits in petunia (*Petunia hybrida* Hort.) inbred lines. *Seed and Plant Improvement Journal*, 29 (1), 159- 177. (In Farsi).
6. Bergounoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32 (1), 89-170.
7. Birchler, J. A. (2014). Heterosis in plants. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 3, 539-543.
8. Blank, A. F., Santa Rosa, Y. R., de Carvalho Filho, J. L. S., dos Santos, C. A., Arrigoni-Blank, M. F., Niculau, E. S. & Alves, P. B. (2012). A diallel study of yield components and essential oil constituents in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops & Products*, 38, 93– 98.
9. Biswas, V. R., Bhatt, R. P. & Kumar, N. (2011). Gene action in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under open and protected environments. *Vegetable Science*, 38(2), 206-208.
10. Chattopadhyay, A., Dutta, S., Dutta, P. & Hazra, P. (2011). Studies on heterobeltiosis, combining ability and gene action in tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Journal of Plant Breeding*, 5(2), 88-93.
11. Chishti, S. A. S., Khan, A. A., Sadia, B. & Khan, I. A. (2008). Analysis of combining ability for yield, yield components and quality characters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Agricultural Research*, 46(4), 325-332.
12. Chowdhry, M.A., Rafiq, M. & Alam, K. (1992). Genetic architecture of grain yield and certain other traits in bread wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 13, 216–220.
13. Diez, M.J. & Nuez, F. (2008). Tomato. In: Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), *Handbook of Plant Breeding, Vegetables II*. (pp. 249–323) Springer.
14. El-Gabry, M. A. H., Solieman, T. I. H., & Abido, A. I. A. (2014). Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 167, 153-157.
15. Ememi, S. (2018). *Development and evaluation of F1 tomato hybrids for quantitative traits, qualitative traits and tolerance to thermal stresses*. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Farsi).
16. Ememi, S., Nemati, S. H., Azizi, M. & Mobli, M. (2016). Combining ability and gene action of some tomato genotypes under low light condition. *Advances in Horticultural Science*, 32 (4), 459-470.
17. Fan, M.X., Chen, M.H., Tan, J., Xu, X.C., Zhang, D.Y., Luo, M.L., Huang, X.Y. & Kang, S.M. (2008). Combing abilities for yield and yield components in maize. *A Journal Devoted to Maize and Allied Species*, 53, 39-46.
18. Farzane, A., Nemati, S.H., Arouiee, H., Mirshamsi Kakhki, A. & Vahdati, N. (2012). The estimate of combining ability and heterosis for yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Biological and Environmental Science*, 6 (17), 129-134.
19. Garg, N. & Cheema, D. S. (2011). Assessment of fruit quality attributes of tomato hybrids involving ripening mutants under high temperature conditions. *Scientia Horticulturae*, 131, 29–38.
20. Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science*, 9, 463-493.
21. Hajiali, A., Darvishzadeh, R., Zahedi, B. & Abbaskohpayegani, J. (2017). Exploring genetic diversity of some Iranian watermelon (*Citrullus vulgaris*) accessions in Urmia climatic conditions. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40 (1), 29-41. (In Farsi).
22. Hannan, M.M., Ahmed, M.B., Razvy, M.A., Karim, R., Khatun, M., Haydar, A., Hossain, M. & Roy, U.K. (2007). Heterosis and correlation of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *American Eurasian Journal of Science and Research*, 2 (2), 146-150.
23. Hayman, B. I. (1954). The theory and analysis of diallel cross-I. *Genetics*, 32, 789-809.
24. Ihaka, R. & Gentleman, R. (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299-314.
25. Jinks, J. L. (1954). The analysis of continuous variation in a diallel crosses of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics*, 39, 767-788.

26. Kumar, S. & Gowda, P. H. (2016). Estimation of heterosis and combining ability in tomato for fruit shelf life and yield component traits using line x tester method. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9 (3), 10-19.
27. Martinez-Vazquez, E. D. I. A., Hernandez-Bautista, A., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J. & Reyes-Lopez, D. (2017). Exploring the breeding potential of Mexican tomato landraces. *Scientia Horticulturae*, 220, 317-325.
28. Nadeem, K., Munawar, M. & Chishti, S.A.S. (2013). Genetic architecture and association of fruit yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Universal Journal of Agricultural Research*, 1(4), 155-159.
29. Pujer, P. & Badiger, M. (2017). Heterosis and potence ratios for growth, earliness, yield and quality traits in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *Cerasiforme* Mill). *International Journal of Chemical Studies*, 5 (4), 1000-1006.
30. Rahaei, J., Hamidoghli, Y. & Rabiei, B. (2017). Evaluation of gene effects and heritability of quantitative traits in tomato through generation mean analysis. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17 (4), 423-438. (In Farsi).
31. Rathod, V. (2016). Combining ability studies in tomato. *Green Farming*, 7 (1), 26-30.
32. Roff, D.A. & Emerson, K. (2006). Epistasis and dominance: evidence for differential effects in life-history versus morphological traits. *Journal of Evolution*, 60, 1981-1990.
33. Roy, D. (2000). *Plant Breeding Analysis and Exploitation of Variation*. LTP, Alpha Science Internation. 701p.
34. Saeed, A., Nadeem, H., Amir, S., Muhammad, F. S., Nazar, H. K., Khurram, Z., Arif, R., Khan, M. & Nadeem, S. (2014). Genetic analysis to find suitable parents for development of tomato hybrids. *Life Science Journal*, 11(12s), 30-35.
35. Sekhar, L., Prakash, B. G., Salimath, P. M., Channayya, P., Hiremath Sridevi, O. & Patil, A. A. (2010). Implications of heterosis and combining ability among productive single cross hybrids in tomato. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), 706-711.
36. Shaffer, J. G. & Srivastav, S. K. (2009). A simple technique for constructing optimal complete diallel cross designs. *Statistics & Probability Letters*, 79, 1181-1185.
37. Shah-Mansouri, E. (2011). Potentials and problems of seed production of onion F1 hybrid in Iran. *Second National Seed Technology Conference*, 25-26 Oct., Islamic Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran, pp . 295-299.
38. Shalaby, T. A. (2013). Mode of gene action, heterosis and inbreeding depression for yield and its components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 164, 540-543.
39. Shankar, A., Reddy, R. V. S. K., Sujatha, M. & Pratap, M. (2013). Combining ability analysis to identify superior F<sub>1</sub> hybrids for yield and quality improvement in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agrotechnology*, 2(3), 1-4.
40. Smith, H.H. (1952). Fixing transgressive vigour in *Nicotiana rustica*. In: *Heterosis*. (pp. 198-224.) Iowa State College Press, USA.
41. Soleiman, T. H. I. (2009). Diallel analysis of five tomato cultivars and estimation of some genetic parameters for growth and yield characters. *Alexandria Science Exchange Journal*, 30 (2), 274-288.
42. Solieman, T.H.I., El-Gabryb, M.A.H. & Abidob, A.I. (2013). Heterosis, potence ratio and correlation of some important characters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 150, 25-30.
43. Tay, D. (2002). Vegetable hybrid seed production. Seeds: Tra. Prod. & Tech. In: *Proceedings of International Seed Seminar: Trade, Production and Technology*, 15-16 Oct., Santiago University, Santiago, Chile, pp. 128-139.