Journal of Genetics and Plant Breeding
Iranian Genetics Society
Shahid Bahonar University of Kerman
Print ISSN : 3060-7965 Online ISSN : 3060-7271

Determining the combinability of greenhouse orange bell pepper (*Capsicum annuum* L.) lines in terms of fruit characteristics

Zahra Roudbari

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran. Email address: z.roudbari@areeo.ac.ir

Javad Sarhadi

Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran. Email address: j.sarhadi@areeo.ac.ir

Abstract

Objective

A significant proportion of vegetable hybrid seeds in the country are imported. By 2010, this dependency on foreign sources was anticipated to be reduced through domestic hybrid seed production. A fundamental requirement for any plant breeding and hybrid seed production program is the selection of suitable parents, and insights into the gene action controlling various traits. Diallel crosses are a useful method for identifying potential hybrid combinations and obtaining information on heritability, types of gene action, and predicting offspring performance.

Materials and Methods

A one-way diallel crossing scheme was conducted to evaluate the combining ability of seven orange bell pepper lines derived from six generations of self-pollination. The resulting 21 hybrids, and the seven parental lines, were cultivated in a randomized complete block design with three replications. In each replication, 10 plants per treatment (hybrid or parent) were grown in a greenhouse, totaling 30 plants per genotype. Traits were recorded throughout the growth period, including fruit length and diameter, flesh thickness, pedicel thickness, average fruit weight, and total fruit yield.

Results

Analysis of variance revealed that the differences among genotypes (parents and hybrids) were significant at the 1% probability level for all traits studied. Subsequently, Griffing's method II

was used to partition the genotype sum of squares into general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) and to assess the nature of gene action. GCA and SCA variances were significant across all traits, indicating the involvement of additive and non-additive genetic effects. However, non-additive gene effects had a greater influence, as evidenced by Baker's ratio values below 0.5. The low GCA-to-SCA variance ratios further supported the predominant role of non-additive effects (dominance or epistasis) in trait expression.

Conclusion

Hybrids 31×20, 30×25, and 33×30 are recommended for DUS (Distinctness, Uniformity, and Stability) testing and potential cultivar release due to their high yield, desirable agronomic traits, and competitive performance against commercial hybrid controls.

Keywords: Degree of dominance, Gene effects, General and specific combinability.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Roudbari Z, Sarhadi J (2024) Determining the combinability of greenhouse orange bell pepper (Capsicum annuum L.) lines in terms of fruit characteristics. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 1 (1), 37-50.

Journal of Genetics and Plant Breeding, 1 (1), 37-50. DOI: 10.22103/gpb.2025.4851

Received: May 9, 2024. Received in revised form: July 23, 2024.

Accepted: July 24, 2024. Published online: September 28, 2024.

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

© the authors

مجله ژنتیک و به نژادی گیاهی
شاپا چاپی: ۷۹۶۵-۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۷۲۷۱-۳۰۶۰
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه اصفی پور

تعیین قابلیت ترکیب لاین‌های فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) نارنجی گلخانه‌ای از نظر ویژگی‌های میوه

زهرا رودباری

*نویسنده مسئول: استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران. رایانامه: z.roudbari@areeo.ac.ir

جواد سرحدی

استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران. رایانامه: j.sarhadi@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳

چکیده

هدف: بخش اعظم بذر هیبرید سبزی و صیفی کشور وارداتی است و انتظار می‌رود بتوان تا سال ۱۴۱۰ به چالش وابستگی شدید به کشورهای خارجی در این حوزه با تولید بذر هیبرید داخلی غلبه کرد. پیش‌نیاز هر برنامه به‌نژادی گیاهی و تولید بذر هیبرید، انتخاب والدین همراه با اطلاعات مربوط به ماهیت عملکرد ژن‌های کنترل‌کننده صفات مختلف است. از طریق تلاقی دای‌آلل بین لاین‌های والدینی می‌توان اطلاعاتی در مورد وراثت‌پذیری، انواع اعمال ژنی دخیل در بیان صفات و پیش‌بینی عملکرد نتاج به‌دست آورد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی ترکیب‌پذیری ۷ لاین فلفل دلمه‌ای نارنجی حاصل از ۶ نسل خودگشنی، تلاقی دی‌آلل یک‌طرفه انجام شد و ۲۱ هیبرید حاصل به‌همراه ۷ لاین والدینی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت شدند. در هر تکرار از هر تیمار (هیبریدها یا والدین) ۱۰ بوته و در مجموع ۳۰ بوته در گلخانه کشت شد. صفات طول و قطر میوه، ضخامت گوشت، ضخامت دم میوه و وزن میوه و عملکرد میوه در کل دوره رشد ثبت و مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها (لاین‌های والدینی و هیبریدها) برای تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین تجزیه گریفینگ به‌روش دوم انجام شد و مجموع مربعات بین ژنوتیپ‌ها به ترکیب‌پذیری

عمومی و خصوصی تفکیک و نوع عمل ژن مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به این‌که واریانس ترکیب‌پذیری عمومی والدها و واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها از نظر تمام صفات معنی‌دار بود، وجود اثرات افزایشی و غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات موردمطالعه مورد تائید قرار گرفت. نتایج نشان داد با وجود آنکه اثرات ژنی افزایشی و غیر افزایشی در کنترل صفات مورد ارزیابی نقش دارند اما اثرات غیر افزایشی نقش مهم‌تری در کنترل همه صفات بازی می‌کنند. چرا که نسبت بیکر زیر ۰/۵ بود. مقادیر پایین واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به ترکیب‌پذیری خصوصی نشان داد که اثرات غیر افزایشی (غالبیت و یا اپیستازی) نقش بیشتری در کنترل صفات نقش دارند.

نتیجه‌گیری: هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۳۰×۲۵ و ۳۳×۳۰ به‌دلیل داشتن عملکرد بالا و صفات مطلوب و قابلیت رقابت با هیبریدهای شاهد تجاری جهت انجام آزمایشات DUS و معرفی رقم پیشنهاد می‌گردند.

کلمات کلیدی: اثرات ژنی، ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، درجه غالبیت.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: رودباری زهرا، سرحدی جواد (۱۴۰۳) تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری لاین‌های فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) نارنجی گلخانه‌ای از نظر ویژگی‌های میوه. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۱)، ۵۰-۳۷

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

© the authors

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) سبزی سودمند با ارزش غذایی بالا در سراسر جهان است و متعلق به خانواده Solanaceae است. این گیاه دیپلوئید دارای $2n = 2x = 24$ کروموزوم است (Jindal et al. 2019). تجارت بین‌المللی فلفل و تولید جهانی آن در دهه‌های گذشته به‌شدت افزایش‌یافته است. با توجه به تقاضای زیاد فلفل دلمه‌ای در بازار تازه و صنایع تبدیلی، توسعه هیبریدهای آن با مجموعه‌ای از ویژگی‌های ارزشمند از جمله یکنواختی، کیفیت خوب، زودرس بودن، سازگاری گسترده‌تر با عملکرد بالا برای افزایش تولید بسیار مهم است. برای برآوردن نیازهای بازار و کشاورزان، پیش‌نیاز برنامه اصلاح نژاد غربالگری و انتخاب والدین همراه با اطلاعات مربوط به ماهیت عملکرد ژن کنترل‌کننده صفات مختلف است (Hedge et al. 2019). یکی از اهداف کشاورزی پایدار، تقویت ارقام قوی جدید است. برنامه هیبریداسیون یک روش ضروری برای تکامل گیاهان به‌عنوان منشأ برخی ترکیبات ژنتیکی جدید یا به‌عنوان ابزار گونه‌زایی است (Rêgo and Rêgo 2016). برای دستیابی به این هدف، یکی از مهم‌ترین پارامترها، انتخاب والدین مورد نظر در هر برنامه اصلاحی موفق برای ایجاد هیبریدهای جدید با عملکرد مطلوب است.

تلاقی دای‌آلل، یکی از راه‌های ترکیب آلل‌های والدین برای دستیابی به هیبرید جدید است. ترکیبات احتمالی برای تولید هیبریدها که از طریق آن‌ها می‌توان اطلاعاتی در مورد وراثت‌پذیری، انواع اعمال ژنی دخیل در بیان صفات و پیش‌بینی عملکرد نتاج به دست آورد (Syukur et al. 2010)، از طریق تلاقی دای‌آلل امکان‌پذیر است. در میان روش‌های بیومتریک موجود برای تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی و همچنین ماهیت و اندازه فعالیت‌های ژن و وراثت‌پذیری صفات، آنالیز دای‌آلل به‌طور گسترده در انواع مختلف محصولات (Arti et al. 2023) پیشنهاد شده است. در این تجزیه، GCA دلالت بر اثرات افزایشی و افزایشی × افزایشی دارد، درحالی‌که SCA به اثرات غالبیت و برهمکنش‌های افزایشی × غالبیت و غالبیت × غالبیت دلالت می‌کند (Aiswarya et al. 2019).

مطالعات مختلف قابلیت ترکیب‌پذیری و هتروزیس لاین‌های فلفل را از طریق ارزیابی صفات عملکرد، اجزای عملکرد، تحمل به بیماری‌ها و کیفیت میوه بررسی نمودند (Arti et al. 2023; Sharma et al. 2013; Herison et al. 2014). در تحقیقی Arisha et al. (2024) هیبریدهای حاصل از تلاقی نیمه دای‌آلل پنج لاین فلفل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده تنوع بسیار معنی‌دار بین هیبریدها و والدین در صفات مورد مطالعه بود. در تمام صفات به‌جز تعداد میوه در بوته و ضخامت دیواره میوه اثر GCA مثبت و معنی‌دار بود. علاوه بر این، همه ژنوتیپ‌های والدینی مورد ارزیابی برای بهبود طول و قطر میوه خوب بودند. نتایج منعکس‌کننده نقش آثار ژنی غیر افزایشی برای عملکرد کل بود. Rohini et al. (2017) شش ژنوتیپ والدینی و ۳۰ هیبرید F_1 حاصل از آن‌ها را در یک سیستم تلاقی دی‌آلل کامل برای تخمین قابلیت ترکیب‌پذیری برای پنج صفت کمی و پنج صفت کیفی در فلفل تند مورداستفاده قرار دادند. میانگین مجموع مربعات ناشی از ترکیب‌پذیری عمومی، خصوصی و توانایی تلاقی‌های متقابل برای همه صفات معنی‌دار بود که نشان می‌دهد این والدین توانستند در ترکیب‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته باشند و برهمکنش‌های بین آللی نیز وجود دارد. همه صفات موردمطالعه واریانس SCA بیشتری نسبت به GCA نشان دادند که نشان می‌دهد این صفات با اثرات غیر افزایشی کنترل می‌شوند. در تحقیقی Ganefianti & Fahrurrozi (2018) قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی هفت لاین فلفل چیلی را از طریق تلاقی دای‌آلل موردبررسی قراردادند و گزارش نمودند که والد C دارای بالاترین برآورد GCA ازنظر طول و وزن میوه و والد F دارای بیشترین GCA ازنظر تعداد میوه در بوته بود. ترکیبات متقابل C(KG3)xF(KG6) بالاترین برآورد SCA را برای وزن میوه و تعداد میوه در بوته داشتند، درحالی‌که G(KG7)xC(KG3) و D(KG4)xG(KG7) بالاترین برآورد SCA را برای طول میوه داشتند.

شناخت تلاقی‌های برتر نیازمند بررسی توانایی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین برای آشکارسازی ماهیت اثرات ژن در بیان صفات است. بر این اساس، چشم‌انداز ترکیب‌پذیری والدین و تلاقی‌ها و اثرات ژنی صفات مختلف برای بهبود فلفل دلمه‌ای لازم است. در این راستا، این مطالعه به‌منظور بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های فلفل دلمه‌ای حاصل از سیستم خودگشنی در نسل‌های متوالی به‌عنوان لاین‌های والدینی برای استفاده در برنامه به‌نژادی و تولید بذر هیبرید انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی ترکیب‌پذیری هفت لاین فلفل دلمه نارنجی حاصل از شش نسل خودگشنی، ۱۰۰ بذر از هر لاین در مردادماه ۱۴۰۱ جهت تهیه نشا، در سینی مخصوص با بستر کوکوپیت و پیت‌ماس کشت شد و در اول مهرماه و در مرحله ۶ برگی به گلخانه خاکی انتقال داده شد. در محیط گلخانه فاصله ردیف‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر (۳/۵ بوته در مترمربع) در نظر گرفته شد و بوته‌ها به صورت زیگزاگی در دو طرف ردیف کشت شدند. ردیف‌ها عمود بر دریچه‌های کناری ایجاد شد تا هوادهی و تأثیر شرایط دمایی بر آن‌ها یکنواخت باشد.

پس از انجام هرس اولیه، دورگ‌گیری بین لاین‌ها به روش دای‌آلل یک طرفه انجام شد. به‌منظور دورگ‌گیری، پس از تورم جوانه گل، اخته کردن و حذف پرچم‌ها در عصر روز قبل از تلاقی با دست انجام‌شده و گل با پاکت پوشانده شد. روز بعد در ساعت ۶ تا ۸ صبح (در فصل گرم) و یا ۸ تا ۱۰ (فصل سرد) و در دمای ۲۴–۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰–۶۰ درصد، گرده لاین‌های پدری به گل اخته شده منتقل و پاکت و لیبل‌گذاری انجام شد. بذر میوه حاصل از تلاقی بین لاین‌ها و همچنین بذر خودگشن شده لاین‌های والدینی پس از رسیدگی کامل به‌صورت جداگانه برداشت گردید. بذور جدا شده از میوه‌ها در پاکت‌های زیپ‌دار در انبار با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت ادامه پژوهش تا فصل بعدی نگهداری شد.

جهت ارزیابی ترکیب‌پذیری لاین‌ها، بذور هیبرید حاصل از مرحله قبل به‌همراه بذور والدینی، در مرداد ۱۴۰۲ در سینی نشا کشت شده و پس از رسیدن به مرحله ۶ برگی به گلخانه منتقل شد. ۲۱ هیبرید حاصل به‌همراه هفت لاین والدینی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت شدند. در هر تکرار از هر تیمار (هیبریدها یا والدین) ۱۰ بوته و درمجموع ۳۰ بوته کشت شد. فواصل بین ردیف‌ها و بوته‌ها به‌ترتیب ۱۰۰ و ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. صفات طول و قطر میوه، ضخامت گوشت، ضخامت دم میوه، وزن میوه و عملکرد میوه در کل دوره رشد ثبت و مورد بررسی قرار گرفت (Kumar et al. 2024).

پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. پس از معنی‌دار بودن تفاوت بین ژنوتیپ‌ها، تجزیه واریانس دی‌آلل بر اساس روش ۲ و مدل ثابت (Griffing 1956) با استفاده از نرم‌افزار AGD-R v5.1 انجام شد و پارامترهای ژنتیکی کنترل‌کننده صفات ازجمله اثر ژن، وراثت‌پذیری خصوصی و همچنین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی والدین و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برآورد شد.

برای تعیین سهم واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات، از نسبت بیکر طبق رابطه زیر (Baker 1987) استفاده شد:

$$\text{نسبت بیکر} = \frac{2\sigma^2_{gca}}{2\sigma^2_{gca} + \sigma^2_{sca}}$$

هر چه این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که سهم واریانس افزایشی در کنترل این صفت بیشتر است. با توجه به اینکه درروش گریفینگ $\sigma_A^2 = 2\sigma_{gca}^2$ و $\sigma_D^2 = \sigma_{sca}^2$، برای برآود وراثت‌پذیری خصوصی صفات از روابط زیر استفاده شد (Griffing 1956):

$$h^2_n = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_e} = \frac{2\sigma^2 gca}{2\sigma^2_{gca} + \sigma^2_{sca} + \sigma^2_e}$$

با در نظر گرفتن امید ریاضی میانگین مربعات، σ_{gca}^2 و σ_{sca}^2 بر اساس روابط زیر محاسبه شدند (Moghaddam & Amiri Oghan 2010):

$$\sigma_{gca}^2 = \frac{Ms_g - Ms_e'}{n+2}$$

$$\sigma_{sca}^2 = Ms_s - Ms_e'$$

همچنین از فرمول ذیل به‌منظور محاسبه درجه غالبیت (a) استفاده شد (Gravois 1994):

$$\hat{a} = (2\sigma^2_D/\sigma^2_A)^{0.5}$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها (لاین‌های والدینی و هیبریدها) برای تمامی صفات موردمطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بنابراین تجزیه گریفینگ به‌روش دوم انجام شد (جدول ۱) و مجموع مربعات بین ژنوتیپ‌ها به ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی تفکیک و نوع عمل ژن مورد آزمون قرار گرفت.

با توجه به این‌که واریانس ترکیب‌پذیری عمومی والدها و واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها ازنظر تمام صفات معنی‌دار بود (جدول ۲)، وجود اثرات افزایشی و غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات موردمطالعه مورد تائید قرار گرفت. باوجود معنی‌دار بودن واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و تائید اثرات ژنی افزایشی و غیر افزایش در کنترل متوسط وزن میوه بخش سهم بخش غیر افزایشی بیشتر از بخش افزایشی بوده به‌نحوی‌که نسبت بیکر ۰/۲۱ بود و با توجه به درجه غالبیت به نظر می‌رسد اثرات ژنی غیرافزایشی در کنترل این صفت نقش داشته باشند. در بین لاین‌های والدینی، لاین‌های ۳۳، ۳۰ و ۲۵ بیشترین GCA مثبت را برای صفت وزن میوه دارا بودند (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس، ترکیب پذیری و تخمین اجزای واریانس ژنتیکی صفات میوه فلفل دلمه‌ای نارنجی

Table 1. Analysis of variance, combining ability and Estimates of components of genetic variance fruit traits in orange bell pepper

عملکرد میوه Fruit yield	ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	ضخامت دم میوه Pedicle thickness	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	متوسط وزن میوه Average fruit weight	درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V
5.57 ns	0.08 ns	0.75 ns	0.10 ns	0.31 ns	169.40 ns	2	تکرار Rep
2948.30 **	1.87 **	7.14 **	1.48 **	2.05 **	4022.71 **	27	ژنوتیپ Genotype
3461.82 **	3.10 **	6.98 **	3.27 **	3.30 **	4546.87 **	6	ترکیب‌پذیری عمومی GCA
2801.58 **	1.52 **	7.19 **	0.97 **	1.69 **	3872.95 **	21	ترکیب‌پذیری خصوصی SCA
3.29	0.30	0.75	0.16	0.38	510.54	54	خطا Error
384.64	0.31	0.69	0.34	0.32	448.48	-	σ^2_{gca}
2801.98	1.22	6.44	0.81	1.30	3362.41	-	σ^2_{sca}
0.21	0.33	0.17	0.45	0.33	0.21	-	نسبت بیکر Baker ratio
0.21	0.29	0.16	0.41	0.27	0.18	-	وراثت‌پذیری خصوصی h^2_n
2.69	1.98	3.05	1.53	2.01	2.73	-	درجه غالبیت Degree of dominance

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

No significant, *, ** Significant at the 5 and 1% probability level

با توجه به اینکه هرچه وزن میوه بالاتر باشد، گیاه عملکرد بیشتری خواهد داشت، لذا از این والدین می‌توان در برنامه به‌نژادی برای تولید میوه با وزن و عملکرد بالا استفاده نمود. هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۲۶×۲۵ و ۳۳×۲۶ بیشترین SCA مثبت با وزن میوه بالای ۳۰۰ گرم را داشتند (جدول ۳). در مطالعات اثرات ژنتیکی فلفل دلمه‌ای، Aditika et al. (2018) و همچنین Arti et al. (2023)

گزارش نمودند که واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی به نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی در صفت وزن میوه بالاتر بوده که مؤید تأثیر بیشتر بخش غیر افزایشی بر کنترل این صفت است.

جدول ۲. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و میانگین صفات (داخل پرانتز) مورد ارزیابی در لاین‌های والدینی فلفل دلمه‌ای نارنجی

Table 2. General combinability effects and mean traits (in parentheses) evaluated in orange bell pepper parental lines

33	31	30	28	26	25	20	Parental Lines Traits
27.88 ** (271)	-4.64 (215.10)	8.26 * (223.70)	-1.18 (222.33)	-6.59 (180)	2.44 (211)	-9.26 (226.63)	متوسط وزن میوه Average fruit weigh (g)
0.45 ** (9)	-0.18 (8.50)	-0.22 (8.83)	-0.36 * (7.67)	0.32 * (9.63)	-0.32 * (8)	0.31* (10.70)	طول میوه Fruit length (cm)
0.54 ** (9)	0.38 ** (8.77)	0.02 (8.33)	-0.33 ** (7)	-0.10 (7.55)	-0.12 (7.55)	0.38** (8.50)	قطر میوه Fruit diameter (cm)
0.59 ** (10)	-0.36 (7.67)	0.70 ** (11.33)	-0.36 (10)	-0.10 (8)	0.15 (11)	-0.62 ** (8)	ضخامت دم میوه Pedicle thickness (mm)
0.31 (8)	0.27 * (6.50)	-0.16 (6.67)	0.42 ** (7)	-0.16 (6)	-0.50 ** (5)	-0.16 (6)	ضخامت گوشت میوه Flesh thickness (mm)
8.18 * (94.16)	12.44 * (108.91)	18.00 ** (100.89)	-6.11 (79.84)	-13.12 * (88.28)	0.62 (69.28)	-3.65 (89.80)	عملکرد میوه Fruit yield (t/ha)

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, ** Significant at the 5 and 1% probability level

طول و قطر میوه نیز وضعیت مشابهی با وزن میوه ازنظر نسبت بیکر، درجه غالبیت و وراثت‌پذیری خصوصی داشتند (جدول ۱) و باوجود نقش ژن‌های افزایشی و غیر افزایشی در کنترل این صفات، بخش غیر افزایشی در کنترل این صفات تاثیرگذارتر بود. لاین‌های والدینی ۲۰، ۲۶ و ۳۳ دارای بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار از نظر طول و لاین‌های ۲۰، ۳۱ و ۳۳ بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار را از نظر قطر میوه داشتند (جدول ۲). هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۲۶×۲۵ و ۳۱×۲۸ از مقدار SCA مثبت و معنی‌داری ازنظر طول و قطر میوه برخوردار بودند (جدول ۳). Sharma et al. (2022) نیز نقش اثرات افزایشی و غیر افزایشی را برای صفات طول و قطر میوه، ضخامت گوشت میوه، متوسط وزن میوه، عملکرد بوته و تعداد میوه در بوته معنی‌دار گزارش نمودند و اظهار داشتند که سهم بخش غیر افزایشی بیشتر از بخش افزایشی بوده و کنترل ژن به‌صورت فوق غالبیت همراه با وراثت‌پذیری خصوصی پایین بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Bhutia et al. (2015) نیز اثرات غیر افزایشی را برای صفات طول و قطر میوه گزارش نمودند.

جدول ۳. اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی و میانگین صفات مورد ارزیابی (داخل پرانتز) در هیبریدهای فلفل دلمه‌ای نارنجی

Table 3. Special combinability effects and mean traits (in parentheses) evaluated in orange bell pepper hybrids

ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	عملکرد میوه Fruit yield	ضخامت دم میوه Pedicle thickness	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	متوسط وزن میوه Average fruit weight	Hybrids (crosses)
0.69*	13.91	-0.23	0.04	-0.53	-40.18**	20×25
(7)	(113.43)	(9.33)	(7.90)	(8.57)	(199.33)	
0.02	-43.22**	-1.97**	-0.35	-0.41	-8.80	20×26
(6.67)	(49.54)	(7.33)	(7.53)	(9.33)	(221.67)	
0.43	20.11*	1.62**	0.52*	-0.05	17.45	20×28
(7.67)	(119.89)	(10.67)	(8.17)	(9)	(253.33)	
0.02	-3.48	-0.45	-0.30	-0.86*	-27.44	20×30
(6.67)	(120.41)	(9.67)	(7.70)	(8.33)	(201)	
0.29	39.08**	1.95**	0.60*	0.63*	36.58**	20×31
(7.33)	(154.42)	(11)	(9.17)	(9.27)	(269)	
-0.13	21.53*	0.66	0.48*	-0.11	24.71*	20×33
(7)	(120)	(10.67)	(9)	(9.70)	(289.67)	
0.69*	35.16**	1.25*	0.86**	0.23	69.48**	25×26
(7)	(131.21)	(10.33)	(9)	(9.33)	311.67	
1.10**	27.79*	0.51	0.49*	0.42	20.08	25×28
(8)	(131.85)	(10.33)	(8.40)	(8.83)	(267.67)	
0.02	34.31**	-1.23	0.37	0.61*	21.51*	25×30
(6.33)	(162.49)	(9.67)	(8.63)	(9.17)	(271.67)	
-0.42	10.55	-0.49	-0.16	-0.07	-5.46	25×31
(6.50)	(133.17)	(9.33)	(8.47)	(8.53)	(238.67)	
-0.12	18.67	-1.12*	-0.35	0.26	5	25×33
(6.67)	(120)	(9.67)	(8.43)	(9.50)	(281.67)	
0.76*	41.54**	0.77	0.47*	-0.22	29.11*	26×28
(8)	(131.85	(10.33)	(8.40)	(8.83)	(267.67)	
-0.98**	-5.28	2.03	0.55*	0.36	-11.12	26×30
(5.67)	(109.14)	(12.67)	(8.83)	(9.57)	(220)	
1.25**	-40.59**	-0.23	-0.52*	-1.15**	-12.09	26×31
(8.3)	(68.28)	(9.33)	(8.13)	(8.10)	(223)	
-0.46	2.45	1.81**	0.66*	1.42**	39.71**	26×33
(6.67)	(90.69)	(12.33)	(9.47)	(11.30)	(307.33)	
-0.24	-26.23*	-3.05	-0.68	-0.91*	-49.52**	28×30
(7)	(95.21)	(7.33)	(7.37)	(7.60)	(187)	
-0.01	-17.93	0.36	0.92**	1.28**	12.50	28×31
(7.76)	(97.96)	(9.67)	(9.33)	(9.83)	(253)	
-0.38	-10.30	-1.60**	-0.34	0.88*	13.63	28×33
(7.33)	(84.96)	(8.67)	(8.23)	(10.07)	(286.67)	
0.91*	29.93*	0.95*	0.23	0.63*	50.27**	30×31
(8)	(151.93)	(11.33)	(9)	(9.33)	(283.33)	
0.21	28.07*	1.99**	-0.03	-0.17	17.07	30×33
(7.33)	(147.44)	(13.33)	(8.90)	(9.17)	(282.67)	
0.10	18.04	0.83	0.47*	-0.25	-37.91**	31×33
(7.67)	(111.86)	(11)	(9.77)	(9.13)	(251.67)	

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, ** Significant at the 5 and 1% probability level

معنی‌دار شدن واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای ضخامت دم میوه (جدول ۱) به‌معنای نقش اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها (غالبیت و اپیستازی) در کنترل ژنتیکی صفت است. نسبت بیکر در صفت ضخامت دم میوه ۰/۱۷ و درجه غالبیت ۳/۰۵ بوده که نقش عمده ژن‌های با اثر غیر افزایشی را در کنترل این صفت تائید می‌کند. میزان درجه غالبیت بالا مؤید اثرات فوق غالبیت در کنترل صفت ضخامت دم میوه است (جدول ۱). در بین والدین، لاین‌های ۳۰ و ۳۳ بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار را ازنظر ضخامت دم میوه داشتند. این برتری منجر به حصول هیبریدهای حاصل از تلاقی با آن‌ها شد (جدول ۲). هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۳۳×۳۰ و ۳۳×۲۶ دارای بالاترین میزان SCA مثبت و معنی‌دار این صفت بودند (جدول ۳).

ضخامت گوشت میوه نیز تحت کنترل اثرات ژن افزایشی و غیر افزایشی بوده (جدول ۱) و با توجه به مقدار عددی نسبت بیکر سهم ژن‌های غیر افزایشی بیش از افزایشی بود. اثر فوق غالبیت بیشترین تأثیر را داشته چراکه درجه غالبیت بیش از ۱ بود (جدول ۱). لاین‌های۳۱، ۲۸ و ۳۳ دارای GCA مثبت و معنی‌دار بالایی ازنظر ضخامت گوشت میوه بوده و لذا دو رگ‌هایی که این لاین‌ها در آن‌ها حضور دارند، می‌توانند ضخامت گوشت بالایی داشته باشند. هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۳۳×۳۰، ۳۱×۲۶ و ۲۸×۲۵ با دارا بودن ضخامت گوشت و SCA بالا برترین هیبرید ها از نظر این صفت بودند (جدول ۳).

واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای عملکرد بوته به‌عنوان مهم‌ترین صفات در اصلاح و به‌نژادی معنی‌دار بود که نشان از نقش ژن‌های افزایشی و غیر افزایشی در کنترل این صفات دارد. نسبت بیکر در این صفت زیر ۰/۵ بود. مقدار پایین نسبت بیکر، برتری اثرات غیر افزایشی را نسبت به اثرات افزایشی نشان داد. با توجه به اینکه درجه غالبیت بیشتر از ۱ بود، اثر غیر افزایشی بیشتر از نوع فوق غالبیت است (جدول ۱).

لاین‌های با وزن میوه بالاتر که ناشی از طول و قطر بیشتر و ضخامت گوشت بیشتر بوده نیز عملکرد مطلوبی داشتند. لاین‌های۳۰، ۳۱ و ۳۳ مقدیر GCA مثبت و بالایی از نظر عملکرد میوه داشتند (جدول ۲). به‌همین دلیل هیبریدهای ۳۱×۲۰، ۳۰×۲۵ و ۳۳×۳۰ مقادیر SCA بالا، مثبت و معنی‌داری نشان دادند (جدول ۳). Hedge et al. (2019) اظهار داشتند که معنی‌دار بودن میانگین مربعات GCA و SCA برای همه صفات نشان‌دهنده آن است که والدین در ترکیب‌های مختلف، عملکرد متفاوتی داشته که می‌تواند بیانگر برهمکنش بین آللی باشد. براساس گزارش این محققین، عملکرد میوه تحت کنترل عمل ژنی غیر افزایشی است. این محققین تجاری‌سازی هیبرید فلفل دلمه‌ای برتر و انتخاب والدین مناسب با توجه به قابلیت ترکیبی آن در برنامه تولید بذر هیبرید فلفل با عملکرد بالا را پیشنهاد نمودند.

با توجه به افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی و کمبود آب، ضرورت تکامل هیبریدهای جدید با عملکرد بالا و مناسب شرایط گلخانه‌ای برای آینده وجود دارد. برای رسیدن به این هدف، انتخاب والدین مناسب برای مطالعه قابلیت ترکیب‌پذیری یکی از راهکارهایی است که توسط محققین پیشنهادشده است (Christie & Shattuck 2010). ترکیب‌پذیری عمومی برای نشان دادن توان ترکیب‌پذیری مطلوب یک ژنوتیپ در میان تعدادی تلاقی به‌کاربرده می‌شود درحالی‌که ترکیب‌پذیری خصوصی برای یافتن هیبریدی که بهترین نمود را دارد، استفاده می‌شود. ترکیب‌پذیری عمومی تخمینی از اثرات ژنتیکی افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی

برآوردی از اثرات غیر افزایشی ژن‌ها است (Reddy et al. 2016). مقادیر پایین واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به ترکیب‌پذیری خصوصی نشان می‌دهد که اثرات غیرافزایشی (غالبیت و یا اپیستازی) بیشتر در کنترل صفات نقش دارد.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه لاین‌های انتخابی باهم تلاقی داده شدند تا بتوان ترکیب‌پذیری عمومی والدین، ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها، عمل ژن‌ها و هتروزیس را برآورد نمود. نتایج نشان داد باوجود آنکه اثرات ژنی افزایشی و غیر افزایشی در کنترل صفات مورد ارزیابی نقش دارند و نسبت بیکر زیر ۰/۵ بود می‌توان بیان کرد که اثرات غیر افزایشی نقش مهم‌تری در کنترل همه صفات بازی کردند. درکل ارتباط نزدیکی بین اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی و صفات موردمطالعه مشاهده شد که می‌تواند زمینه لازم برای معرفی بهترین هیبریدها بر اساس ترکیب‌پذیری خصوصی باشد. علاوه بر این ۳۱×۲۰، ۳۰×۲۵ و ۳۳×۳۰ به‌دلیل داشتن عملکرد بالا و صفات مطلوب و قابلیت رقابت با هیبریدهای شاهد تجاری جهت انجام آزمایشات DUS و معرفی رقم پیشنهاد می‌گردند.

References

Aditika, HS., Ramesh, K., Dogra, R. K., & Sharma, A. (2018). Mean performance of parents and hybrids involved in half diallel mating design in bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(1):1040-1043.

Aiswarya, C. S., Vijeth, S., Sreelathakumary, I., & Kaushik, P. (2019). Diallel analysis of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for morphological and fruit biochemical traits. *Plants*, *9* (1). https://doi.org/10.3390/plants9010001

Arisha, M. H., Bardisi, E. A., Taha, H. S. A., & Zyada, H. G. (2024). Assessing combining ability of diverse chili pepper genotypes to develop high yield and quality adopted hybrids under egyptian conditions. *Zagazig Journal of Agricultural Research, 51* (1), 19-29. *https://doi.org/*10.21608/ZJAR.2024.346050

Arti, D., Mehta, D. K., Vikram, A., Kumar, R., & Aralikatti, O. (2023). Combining ability and heterosis in bell pepper grown in the north-western hills of India. *Indian Journal of Horticulture, 80*(2): 129-135. https://doi.org/10.58993/ijh/2023.80.2.1

Baker, R. J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science*, *18*, 533–536. https://doi.org/10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x

Bhutia, N. D., Seth, T., Shende, V. D., Dutta, S., & Chattopadhyay, A. (2015). Estimation of Heterosis, dominance effect and genetic control of fresh fruit yield, quality and leaf curl disease severity traits of chilli pepper (*Capsicum annuum* L). *Scientia Horticulturae*, *182*, 47–55. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.017

Christie, B., & Shattuck, V. (2010). The Diallel Cross: Design, Analysis, and Use for Plant Breeders. *Plant Breeding Reviews, 74, 9-36.* https://doi.org/10.1002/9780470650363.ch2

Ganefianti, D. W., & Fahrurrozi, F. (2018). Heterosis and combining ability in complete diallel cross of seven chili pepper genotypes grown in ultisol. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, *40*(2), 360–370. https://doi.org/10.17503/agrivita.v40i2.991

Gravois, K. A. (1994). Diallel analysis of head rice percentage, total milled rice percentage, and rough rice yield. *Crop Breeding, Genetics & Cytology*, *34*(1), 42-45. https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400010007x

Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, *9*, 463–493. https://doi.org/10.1071/BI9560463

Hedge, C. B., Pant, S. C., Thilak, J. C., & Punetha, S. (2019). Analysis of combining ability and studies of gene action for yield and yield contributing traits in a half diallel cross of capsicum (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendt). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(3), 274-277. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.194

Herison, C., Handayaningsih, M., & Fahrurrozi, R. (2014). Evaluation of growth and yield performance on inoculated chili pepper hybrids by cucumber mosaic virus. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, *36*(1): 14–18. https://doi.org/10.17503/Agrivita-2014-36-1-p014-018

Jindal, S. K., Dhaliwal, M. S., & Meena, O. M. (2019). Molecular advancements in male sterility systems of Capsicum: A review. *Plant Breeding*, *139*(1), 42-64.

Kumar, R., Chatterjee, R., & Praanjal, P. (2024). Heterosis, Combining Ability and Gene Action in Bell Pepper (*Capsicum annuu*m L.). *Journal Agricalture Technology*, *11*(1-2), 127-136.

Moghaddam, M., & Amiri Oghan, H. (2010). Biometric Methods in Quantitative Genetic Analysis. (Translation). *Prior Publications*. 432 pages. [In Persian]

Reddy Yerva, S., Sekhar, T. C., Allam, C. R., & Krishnan, V. (2016). Combining ability studies in maize (*Zea mays* L.) for yield and its attributing traits using Griffing's diallel approach. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *7*, 1046-1055. https://doi.org/10.5958/0975-928X.2016.00143.5

Rêgo, E. R., & Rêgo M. M. (2016). Genetics and Breeding of Chili Pepper Capsicum spp... In: Production and Breeding of Chili Peppers (Capsicum spp). *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_4.

Rohini, N., Lakshmanan, V., Saraladevi, D., Amalraj, J. J., & Govindaraju, P. (2017). Assessment of combining ability for yield and quality components in hot pepper (*Capsicum annuum* L). *Spanish Journal of Agricultural Research*, *15*(2), 703. https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-10190

Sharma, V. K., Punetha, S., & Sharma, B. B. (2013). Heterosis studies for earliness, fruit yield and yield attributing traits in bell pepper. *African Journal of Agricultural Research, 8*(29), 4088–4098.

Syukur, M., Sujiprihati, S., & Yunianti, R. (2010). Diallel analysis using Hayman method to study genetic parameters of yield components in Pepper (*Capsicum annuum* L). *HAYATI Journal of Biosciences, 17*(4), 183-188. https://doi.org/10.4308/hjb.17.4.183