

Selection of sweet pepper lines (*Capsicum annuum* L.) based on traits affecting fruit yield in the path of hybrid seed production

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

Ardeshir Nozari

Expert, Department of Crop and Horticultural Science Research, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran. Email address: ardeshir.nozari1988@gmail.com

Abstract

Objective

Genotypic and phenotypic correlation studies between plant traits are helpful in planning, evaluating, and determining selection criteria for desired traits in a breeding program. The present aimed to estimate the phenotypic and genotypic correlation coefficients between yield and its associated traits, investigate the direct and indirect effects of performance-related traits through path coefficient analysis, and identify superior lines using the selection index of ideal genotype (SIIG).

Materials and Methods

Seeds from 50 genotypes of sweet pepper were obtained from the Germplasm Department of the Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Germany. Pure lines were developed through five generations of self-crossing. The seeds of these pure lines were cultivated in a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions, and 12 quantitative and qualitative traits were evaluated. Variance analysis, correlation coefficients, regression analysis, and path analysis were conducted using OPSTAT software. The SIIG method was applied to select superior lines based on the integration of performance and the traits influencing it.

Results

The analysis of variance revealed a significant difference among the evaluated lines for all studied traits at a 1% probability level, indicating substantial genetic diversity among the lines. Fruit yield

showed a positive and significant correlation with the number of fruits per plant, fruit diameter, fruit length, fruit tail length, pericarp thickness, dry matter percentage, and fruit weight. The regression model analyzed yield as the dependent variable, while other traits were independent. Five traits (fruit weight, fruit number, dry matter percentage, fruit length, and fruit diameter) were identified as the most influential factors affecting fruit yield. Path analysis further demonstrated that fruit weight and the number of fruits per plant had the most direct and positive effect on fruit yield, contributing 63% and 44%, respectively. Selection based on the selection index of the ideal genotype resulted in the identification of five superior lines 237, 334, 389, 296, 400, and 318, which exhibited the shortest distance from the ideal genotype.

Conclusion

The results of the path coefficient analysis indicate that selecting traits such as fruit weight, fruit length, number of fruits per plant, fruit diameter, and dry matter percentage can significantly enhance sweet pepper productivity. Additionally, employing the selection index ideal genotype (SIIG) enables the identification of lines and genotypes that exhibit optimal performance across these traits. Consequently, lines 318, 296, 400, 389, 324, and 237 have been identified as candidates for further studies aimed at hybrid seed production.

Keywords: Direct and indirect impacts, Fruit yield, Path analysis, Selection index.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Roudbari Z, Nozari A (2025) Selection of sweet pepper lines (*Capsicum annuum* L.) based on traits affecting fruit yield in the path of hybrid seed production. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 2 (2), 1-16.

Journal of Genetics and Plant Breeding 2 (2), 1-16.

DOI: 10.22103/gpb.2025.24316.1016

Received: April 03, 2025.

Received in revised form: June 15, 2025.

Accepted: June 16, 2025.

Published online: June 30, 2025.

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




© the authors



گزینش لاین‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) بر مبنای صفات موثر بر عملکرد

میوه در مسیر تولید بذور هیبرید

زهرا رودباری  ID

*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

اردشیر نوذری

کارشناس، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران. رایانامه: ardeshir.nozari1988@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

چکیده

هدف: مطالعات همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی بین صفات گیاهی در برنامه‌ریزی، ارزیابی و تعیین معیارهای انتخاب برای صفات موردنظر در یک برنامه اصلاحی مفید است. مطالعه حاضر باهدف برآورد ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی بین عملکرد میوه و صفات متناسب به عملکرد و بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مربوط به عملکرد میوه با استفاده از تحلیل ضریب علیت و انتخاب لاین‌های برتر با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) انجام شد.

مواد و روش‌ها: بذور ۵۰ ژنوتیپ فلفل شیرین غیردلماهی (*C. annuum* L.) از بخش ژرم پلاسما موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان دریافت و با ۵ نسل خودگشنی، لاین خالص آن تهیه شد. بذور لاین‌های خالص در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای کشت و ۱۲ صفت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها، ضرایب همبستگی، تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت با استفاده از نرم‌افزار برخط OPSTAT انجام شد. به‌منظور گزینش لاین‌های برتر بر اساس ادغام عملکرد و صفات تأثیرگذار بر آن از روش SIIG استفاده شد.

نتایج: بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری بین لاین‌های مورد ارزیابی برای همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که بیانگر تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های مورد مطالعه بود. عملکرد میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد میوه در چین، قطر میوه، طول میوه، طول دم میوه، ضخامت پریکارپ، درصد ماده خشک و وزن میوه داشت. در مدل رگرسیونی

عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد مطالعه قرار گرفتند و پنج صفت وزن میوه، تعداد میوه، درصد ماده خشک، طول میوه و قطر آن به‌عنوان مؤثرترین صفات بر عملکرد میوه تعیین شدند. بر اساس نتایج تجزیه علیت، وزن میوه و تعداد میوه در بوته، بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد میوه داشتند (به ترتیب ۶۳ و ۴۴ درصد). انتخاب لاین‌ها بر اساس شاخص SIIG منجر به‌گزینش پنج لاین ۲۳۷، ۳۳۴، ۳۸۹، ۲۹۶، ۴۰۰ و ۳۱۸ با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و بر اساس مطالعه ضریب علیت، انتخاب برای وزن میوه، طول میوه، تعداد میوه در بوته، قطر میوه و درصد ماده خشک به‌طور کلی بهره‌وری فلفل شیرین را افزایش خواهد داد. همچنین استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل منجر به‌گزینش لاین‌ها و ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که به‌طور هم‌زمان از نظر صفات مذکور در بهترین حالت ممکن قرار دارند. لذا لاین‌های ۳۱۸، ۲۹۶، ۴۰۰، ۳۸۹، ۳۳۴ و ۲۳۷ برای مطالعات بعدی در مسیر تولید بذر هیبرید گزینش و پیشنهاد می‌گردند.

کلیدواژه‌ها: اثرات مستقیم و غیرمستقیم، تجزیه علیت، شاخص انتخاب، عملکرد میوه.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: رودباری زهرا، نوذری اردشیر (۱۴۰۴) گزینش لاین‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum L.*) بر مبنای صفات مؤثر بر عملکرد میوه در مسیر تولید بذر هیبرید. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۲(۲)، ۱۶-۱.

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



© the authors

مقدمه

فلفل متعلق به جنس *Capsicum* و خانواده Solanaceae است. این جنس تقریباً از ۲۲ گونه وحشی و پنج گونه اهلی *C. pubescens* و *C. baccatum L.*، *C. chinenses L.*، *C. frutescens L.*، *C. annuum L.* (Rodriguez et al. 2008). فلفل‌ها بر اساس ویژگی‌های میوه از نظر تندی، رنگ، شکل، کاربرد مورد نظر، طعم و اندازه به چند گروه تقسیم می‌شوند. علی‌رغم تفاوت‌های زیاد، بیشتر ارقام فلفلی که به‌صورت تجاری در جهان کشت می‌شوند، متعلق به *Capsicum annuum* است (Bosland 1992). با توجه به ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی این محصول، تقاضا برای استفاده از آن در حال افزایش است و لازم است ژرم پلاسما برتر این گیاه جهت تولید ارقام و هیبریدهای جدید شناسایی گردد. شناسایی ژنوتیپ‌های کارآمد برای استفاده مستقیم به‌عنوان وارسته یا به‌عنوان والدین جهت ورود به برنامه‌های تولید بذر هیبرید، مستلزم برآورد بسیاری از ویژگی‌ها به‌عنوان معیار تنوع ژنتیکی و همچنین شناسایی صفات تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی است (Soares et al. 2017). در برنامه‌های اصلاحی فلفل، عملکرد یک ویژگی پیچیده است که توسط تعامل چندین عامل از جمله عوامل ژنتیکی، فیزیولوژیکی و

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای این پژوهش، بذور ۵۰ ژنوتیپ فلفل شیرین غیردل‌مه‌ای (*C. annuum* L.) از بخش ژرم‌پلاسما موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان دریافت و به‌دلیل عدم اطلاع از هتروزیگوت یا هموزیگوت بودن بذور، اقدام به خودکشتی برای ۵ نسل شد تا لاین خالص آن تهیه گردد. بذر هر یک از لاین‌ها در سینی‌های مخصوص نشا با ۱۰۴ سلول کشت‌شده و در اوایل مهرماه و در مرحله ۴-۶ برگی به گلخانه (بستر خاکی) تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی جنوب کرمان (طول جغرافیایی ۳۶°۵۷'۵۱" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳°۲۸' شمالی) منتقل شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و طی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ اجرا شد. فاصله بین ردیف‌های کشت ۸۰ و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و از هر لاین، ۱۰ بوته در هر تکرار (مجموعاً ۳۰ بوته) کشت گردید. به‌منظور تربیت بوته‌ها، هرس به‌صورت حفظ دوشاخه و حذف شاخه‌های اضافی تا پایان فصل رشد انجام شد. وزن میوه، طول و قطر میوه، شاخص شکل میوه (طول/قطر)، طول دم میوه، تعداد میوه در بوته/چین، ضخامت گوشت میوه، عملکرد میوه، طول و عرض برگ، درصد ماده خشک و مواد جامد محلول (TSS) صفات مورد ارزیابی در این پژوهش بودند. جهت اندازه‌گیری وزن، طول، قطر، ضخامت گوشت، طول و قطر دم میوه، شاخص شکل میوه، سه میوه از پنج بوته مربوط به هر ژنوتیپ در هر تکرار انتخاب و اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد و میانگین داده‌های حاصل جهت انجام تجزیه‌های موردنظر استفاده شد. وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال برحسب گرم، طول و قطر میوه با استفاده از کولیس برحسب سانتی‌متر و ضخامت گوشت برحسب میلی‌متر و شاخص شکل میوه از نسبت طول به قطر میوه سنجش و ثبت گردید. عملکرد میوه/بوته مربوط به ۱۰ بوته در هر ژنوتیپ طی دوره رشد یادداشت و با توجه به تراکم بوته (۳/۵ بوته در مترمربع) برحسب گرم در مترمربع برآورد گردید. ارتفاع بوته برحسب سانتی‌متر در پایان دوره رشد (۲۱۰ روز بعد از انتقال به گلخانه) با متر اندازه‌گیری شد.

جهت محاسبه درصد ماده خشک میوه، ابتدا وزن میوه تازه ثبت شد. سپس نمونه به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شد و پس از این مدت مجدد وزن میوه یادداشت شد و با محاسبه درصد رطوبت، درصد ماده خشک حاصل شد.

جهت تعیین بریکس یا مواد جامد محلول از روش رفرکتومتری استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها، ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی، ضرایب همبستگی، تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار OPSTAT انجام شد. به‌منظور انجام تجزیه علیت، ابتدا تجزیه رگرسیون به‌روش گام‌به‌گام انجام و تجزیه علیت بر مبنای صفات واردشده در مدل انجام شد. ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی با استفاده از واریانس‌ها و کوواریانس‌های فنوتیپی و ژنوتیپی به روش Miller et al. (1957) محاسبه گردید.

به منظور گزینش لاین‌های برتر بر اساس ادغام عملکرد و صفات تأثیرگذار بر آن (صفات وارد شده در تجزیه علیت) از شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (Zali et al. 2015). مقدار SIIGi بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینش مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIGi آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است (Zali et al. 2017). نحوه محاسبه این شاخص به شرح زیر است.

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: با توجه به تعداد لاین‌ها و صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به صورت رابطه ۱ تشکیل

شد (ماتریس D).

رابطه (۱)

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار لاین i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با صفت j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) بود. به عبارت دیگر ردیف‌ها را لاین‌ها و ستون‌ها را صفات تشکیل دادند.

۲- نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها برای حذف اثر مقیاس و تشکیل ماتریس R بر اساس رابطه (۲)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) برای هر صفت (شاخص): در این مرحله با توجه به نوع صفت و نظر محقق برای هر صفت به طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ (ایده‌آل) و ضعیف‌ترین (غیرایده‌آل) انتخاب شد. به عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ مقدار ایده‌آل و پایین‌ترین مقدار عملکرد به عنوان ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) در نظر گرفته شد. هم‌چنین در مورد تعداد روز تا رسیدگی چنانچه زودرسی ژنوتیپ‌ها مهم باشد، مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار و مقدار ضعیف برابر با حداکثر مقدار برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل ($di+$) و ژنوتیپ‌های ضعیف ($di-$): در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از

ژنوتیپ‌های ایده‌آل ($di+$) و ژنوتیپ‌های ضعیف ($di-$) به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i = 1 \dots n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i = 1 \dots n \quad (5)$$

در روابط فوق r_{ij} مقدار نرمال شده ژنوتیپ i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با شاخص (صفت) j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. r_j^+ و r_j^- به ترتیب مقادیر نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر شاخص (صفت) j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. ۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای هر لاین یا ژنوتیپ از رابطه ۶ استفاده شد که در آن d_i^+ فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ‌های ضعیف است:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (6) \quad \text{رابطه}$$

$$0 \leq SIIG_i \leq 1$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری برای همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که بیانگر تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های مورد مطالعه بود. این نتیجه با پارامتر ضریب تغییرات ژنتیکی (CV_g) نیز قابل اثبات بود (جدول ۲). در تحقیقاتی Soares et al. (2017) و Ulah et al. (2011) ضریب تغییرات ژنتیکی بالا را با نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ادغام و نتایج مشابهی را گزارش نمودند. مطابق با نتایج جدول ۱، مقدار ضریب تغییرات فنوتیپی برای همه صفات بیش از ضریب تغییرات ژنتیکی بود. در صفات تعداد میوه، وزن ماده خشک و TSS کمترین تفاوت بین ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر کم محیط بر این صفات است. بیشترین مقدار ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی مربوط به عملکرد میوه بود. همچنین ضرایب تغییرات مطالعه حاضر از ۳٪ برای درصد ماده خشک تا ۲۴/۱۴٪ برای عملکرد میوه متغیر بود. مقادیر بالای درصد ضریب تغییرات ماهیت پیچیده این صفات را نشان می‌دهد که دارای کنترل ژنتیکی پیچیده، با حضور ژن‌های غالب و اثرات اپیستاتیک و نشان‌دهنده تأثیر محیط بر آن‌ها است (Rego et al. 2009).

درک ارتباط بین عملکرد و اجزای آن در برنامه اصلاحی ضروری است. بیوستگی و یا پلیوتروپی ژن‌ها مسئول همبستگی بین جفت صفات است. در نتیجه انتخاب مستقیم برای عملکرد نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد. از آنجایی که مطالعات همبستگی به انتخاب موفقیت‌آمیز در سراسر برنامه اصلاح گیاه کمک می‌کند، داشتن اطلاعات کافی و دقیق در این زمینه مهم است (Konyak et al. 2020). نتایج تجزیه همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی صفات مورد ارزیابی در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس این نتایج، عملکرد میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد میوه در چین (۰/۷۴)، قطر میوه (۰/۶۱) و وزن میوه (۰/۹۱) داشت. همچنین طول میوه، طول دم میوه، ضخامت پریکارپ، درصد ماده خشک همبستگی فنوتیپی مثبت و معنی‌داری در سطح متوسط با عملکرد میوه داشتند. تعداد میوه علاوه بر اینکه همبستگی بالایی با عملکرد میوه نشان داد، همبستگی مثبت و متوسطی با طول دم میوه، درصد ماده خشک وزن میوه (به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۴۶ و ۰/۴۶) داشت. طول میوه بیشترین همبستگی را با طول دم میوه و شاخص شکل

میوه نشان داد (به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۷۴). قطر میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضخامت پریکارپ (۰/۶۵) و وزن میوه (۰/۶۶) و همبستگی منفی با شاخص شکل میوه (۰/۷۱) نشان داد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس و ضرایب تغییرات صفات موردبررسی در ۵۰ لاین فلفل

Table 1. Analysis of variance and Coefficient of Variation on characteristics in 50 pepper lines

وراثت‌پذیری عمومی Broed sense heritability	ضریب تغییرات فنوتیپی CV _p	ضریب تغییرات ژنتیکی CV _g	CV (%)	میانگین مربعات Mean of Squares		صفات Characteristics
				خطای آزمایشی Error df (98)	لاین Line df (49)	
91.89	84.80	81.29	24.13	185074.73	648393.75 **	عملکرد میوه Yield fruit
98.74	43.59	43.31	4.88	0.06	13.72 **	تعداد میوه Number of fruits per plant/harvest
93.67	39.73	38.45	9.99	1.88	85.71 **	طول میوه Fruit length
92.82	29.92	28.82	8.02	0.11	4.24 **	قطر میوه Fruit diameter
86.36	38.05	35.36	14.00	0.28	5.52 **	طول دم میوه Pedical length
73.65	34.02	29.20	17.46	0.62	5.82 **	ضخامت گوشت میوه Flesh thickness
99.68	53.21	53.12	3.00	0.06	60.52 **	درصد ماده خشک % DM
97.55	23.85	23.56	3.73	0.04	5.16 **	درصد مواد جامد محلول TSS
88.13	59.28	55.65	20.42	275.11	6403.47 **	وزن میوه Fresh fruit weight
88.79	59.89	56.44	20.05	0.59	14.67 **	شاخص شکل میوه Fruit shape index

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**Significant at the 1% probability level

با توجه به اینکه معنی‌دار بودن همبستگی ساده بین صفات نمی‌تواند دلیل کافی بر وجود پدیده علت و معلولی باشد، بنابراین برای تعیین میزان اثرات مستقیم و غیرمستقیم از مدل رگرسیون گام‌به‌گام استفاده گردید (Ahmadi et al. 2014). برای تشکیل معادله رگرسیونی در این مدل رگرسیون، عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد مطالعه قرار گرفتند. بر این اساس، صفات بی‌تأثیر از مدل حذف گردیدند و پنج صفت وزن میوه، تعداد میوه، درصد ماده خشک، طول میوه و قطر آن به‌عنوان مؤثرترین صفات بر عملکرد میوه تعیین شدند (جدول ۳).

جدول ۲. ضرایب همبستگی ژنتیکی (بالای قطر) و فنوتیپی (زیر قطر) صفات مورد ارزیابی در ۵۰ لاین فلفل شیرین

Table 2. Genotypic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation coefficients of measured traits in 50 sweet pepper lines

شاخص شکل میوه Fruit shape index	وزن میوه Fresh fruit weight	% مواد جامد TSS	% ماده خشک DM	ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	طول دم میوه Pedical length	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	تعداد میوه Number of fruits	عملکرد میوه Yield fruit
عملکرد میوه Yield fruit	0.90**	0.21	0.54**	0.49*	0.54**	0.61**	0.40*	0.79**	1
تعداد میوه Number of fruits per plant/harvest	0.50**	-0.11	0.46*	0.25	0.42*	0.30	0.21	1	0.75**
طول میوه Fruit length	0.374*	0.08	0.20	-0.01	0.76*	-0.20	1	0.19	0.38*
قطر میوه Fruit diameter	0.66**	-0.29	0.31*	0.86**	0.03	1	-0.18	0.27	0.61**
طول دم میوه Pedical length	0.48*	0.14	0.41*	0.37*	1	0.01	0.66**	0.41*	0.49*
ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	0.59**	-0.08	0.33*	1	0.28	0.65**	0.01	0.20	0.47*
درصد ماده خشک % DM	0.57**	0.06	1	0.29	0.38*	0.30	0.19	0.46*	0.52**
درصد مواد جامد TSS	-0.19	1	0.06	-0.07	0.14	-0.27	0.07	-0.11	-0.20
وزن میوه Fresh fruit weight	1	-0.17	0.53**	0.57**	0.42*	0.66**	0.36*	0.46*	0.91**
شاخص شکل میوه Fruit shape index	-0.18	0.27	-0.14	-0.36*	0.44*	-0.71**	0.74**	-0.09	-0.14

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

* ans ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level

به‌منظور آگاهی از نحوه تأثیر صفاتی که از طریق رگرسیون گام‌به‌گام وارد معادله نهایی شدند از روش علیت استفاده شد که نتایج آن در شکل ۱ مشخص است. وزن میوه و تعداد میوه در بوته، بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد میوه داشتند (به ترتیب ۶۳ و ۴۴ درصد). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Munchi et al. (2000) هم‌راستا است. این محققین در بررسی ۳۰ توده فلفل اثر مستقیم مثبت تعداد میوه در بوته، وزن میوه و قطر میوه را بر عملکرد را گزارش نمودند. Jabbari & Darvishzadeh (2023)

نیز گزارش نمودند که هفت صفت وزن گوشت، حجم کانوبی گیاه، قطر میوه، تعداد میوه، ارتفاع بوته، وزن کل بذر و تعداد شاخه مؤثرترین صفات بر عملکرد میوه در مدل رگرسیونی بوده و قطر میوه وزن گوشت بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد میوه داشتند. Shumbulo et al. (2017) در بررسی ۵۵ ژنوتیپ فلفل گزارش نمودند در تجزیه ضرایب علیت صفات وزن خشک، میانگین طول میوه، قطر میوه و میانگین تعداد میوه در بوته بیشترین تأثیر مستقیم را بر روی صفت عملکرد نشان دادند.

جدول ۳. تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد میوه و سایر صفات در ۵۰ لاین فلفل شیرین
Table 3. Step wise regression Analysis of fruit yield and other traits

F value	ضریب تبیین تجمیعی Cumulative R-squared	ضریب رگرسیون Regression coefficients	متغیرهای وارد شده به مدل Variable entered
-	-	-۲۰۷۰/۸۸	عرض از مبدأ Intercept
31.18**	0.82	20.15	وزن میوه Fresh fruit weight
84.71**	0.96	312.41	تعداد میوه Number of fruits per plant/harvest
64.67**	0.97	-27.16	درصد ماده خشک % DM
51.69**	0.97	28.28	طول میوه Fruit length
46.47**	0.97	127.08	قطر میوه Fruit diameter

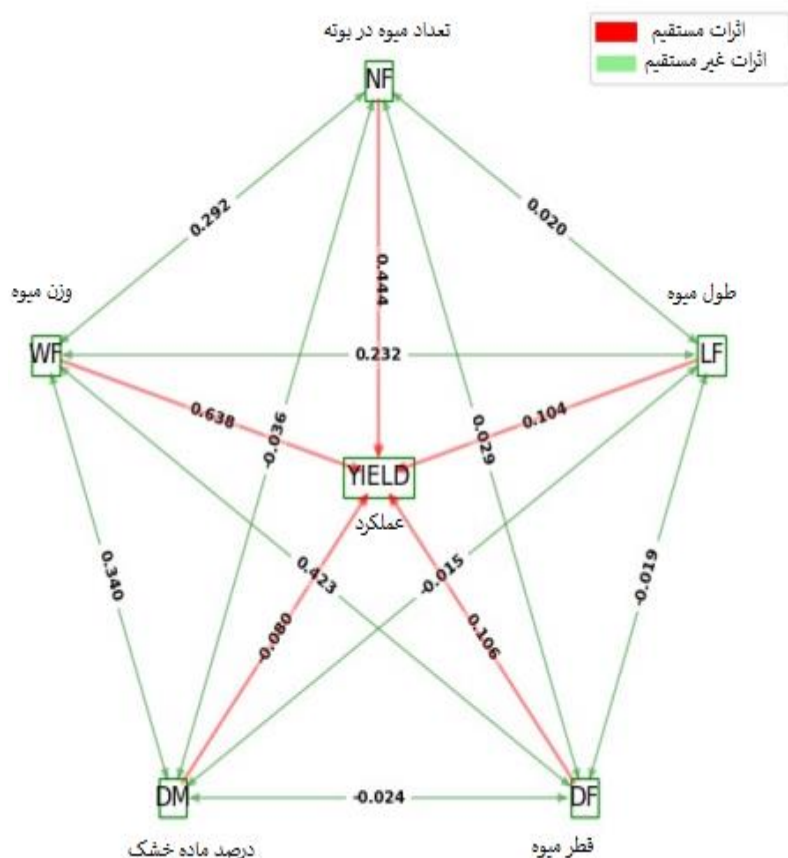
** معنی دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at the 0.01 probability level

اثر غیرمستقیم وزن میوه از طریق تعداد میوه ۲۹/۲ درصد، از طریق طول میوه ۲۳/۲ درصد، از طریق درصد ماده خشک ۳۴ درصد و از طریق قطر میوه ۴۲/۳ درصد بود. سایر صفات اثر غیرمستقیم ناچیزی بر عملکرد میوه داشتند. در واقع اثر غیرمستقیم تمامی صفات از طریق وزن میوه بر عملکرد بالا بود. بر این اساس، جهت گزینش باید به اثر غیرمستقیم وزن میوه توجه نمود. ارتباط مثبت و معنی دار تعداد میوه در بوته، وزن، طول و قطر میوه با عملکرد در فلفل با یافته‌های تحقیق محققین زیادی مطابقت دارد (Sahu et al. 2016; Khan et al. 2018; luitel et al. 2013).

بر اساس ۵ صفتی که بیشترین تأثیر را بر عملکرد میوه داشتند، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. شاخص SIIG بهترین و ضعیف‌ترین لاین‌ها را بر اساس چند صفت به‌طور هم‌زمان مشخص می‌کند شاخص

SIIG یک مدل گزینشگر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ارقام و لاین‌ها از بین ژنوتیپ‌های موردبررسی به‌کار می‌رود. به‌عبارت‌دیگر با استفاده از روش SIIG می‌توان صفات مختلف را به‌صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد (Abdollahi Hesar 2020). از آنجایی که میزان تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد، هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به یک نزدیک‌تر باشد، آن ژنوتیپ از مطلوبیت بالاتری از نظر بیشتر صفات مورد مطالعه، برخوردار می‌باشد و هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به صفر نزدیک‌تر باشد، از نظر صفات موردبررسی از مطلوبیت کمتری برخوردار خواهد بود. براین اساس، لاین‌های ۲۳۷، ۲۳۴، ۳۸۹، ۲۹۶، ۴۰۰ و ۳۱۸ دارای بیشترین مقدار شاخص SSIG (بیش از ۰/۵۰) بودند و این لاین‌ها برای تحقیقات بعدی قابل پیشنهاد هستند. در مقابل لاین‌های ۲۴۷، ۴۱۲، ۳۰۳ و ۳۴۸ دارای کمترین میزان شاخص (کمتر از ۰/۲۰) بوده و لازم است برای ادامه کار، کنار گذاشته شوند.



شکل ۱. شمای تجزیه علیت صفات مؤثر در عملکرد میوه در ۵۰ لاین فلفل

Figure 1. Path analysis diagram of characteristics affecting fruit yield in 50 pepper lines

جدول ۴. مقادیر شاخص SIIG در لاین‌های فلفل شیرین مورد مطالعه

Table 4. SIIG index values in studied sweet pepper lines

Group	SIIG	d ⁺	d ⁻	کد لاین Co. Line	Group	SIIG	d ⁺	d ⁻	کد لاین Co. Line
3	0.30	0.42	0.18	306	1	0.20	0.53	0.13	200
4	0.47	0.32	0.29	309	2	0.28	0.44	0.18	201
1	0.20	0.51	0.12	313	3	0.33	0.42	0.20	202
6	0.62	0.27	0.44	318	2	0.26	0.46	0.16	205
3	0.36	0.41	0.23	323	3	0.31	0.41	0.19	208
2	0.26	0.47	0.17	325	2	0.23	0.48	0.14	218
2	0.23	0.49	0.15	326	2	0.23	0.52	0.15	222
5	0.57	0.32	0.43	334	5	0.59	0.29	0.42	237
2	0.21	0.53	0.14	337	2	0.22	0.49	0.14	241
2	0.29	0.43	0.17	339	4	0.46	0.34	0.29	243
3	0.37	0.38	0.22	340	3	0.31	0.42	0.19	244
1	0.17	0.53	0.11	348	4	0.43	0.37	0.28	245
2	0.24	0.46	0.15	370	1	0.17	0.52	0.11	247
5	0.53	0.32	0.36	389	2	0.28	0.45	0.18	250
4	0.41	0.37	0.26	390	2	0.27	0.47	0.17	265
3	0.32	0.41	0.19	391	2	0.23	0.48	0.14	270
2	0.23	0.52	0.16	399	4	0.46	0.35	0.30	272
6	0.63	0.25	0.42	400	2	0.26	0.45	0.16	273
1	0.13	0.53	0.08	412	2	0.21	0.48	0.12	284
3	0.37	0.37	0.22	413	4	0.42	0.35	0.25	286
4	0.43	0.41	0.30	415	4	0.42	0.38	0.28	288
2	0.20	0.32	0.08	420	2	0.28	0.45	0.18	290
4	0.42	0.41	0.30	425	6	0.67	0.29	0.59	296
4	0.48	0.35	0.32	430	1	0.18	0.51	0.11	303
3	0.39	0.42	0.27	440	2	0.24	0.46	0.14	305

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و بر اساس مطالعه ضریب علیت، انتخاب برای وزن میوه، طول میوه، تعداد میوه در بوته، قطر میوه و درصد ماده خشک به‌طور کلی بهره‌وری فلفل شیرین را افزایش خواهد داد. همچنین استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل منجر به گزینش لاین‌ها و ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که به‌طور هم‌زمان از نظر صفات مذکور در بهترین حالت ممکن قرار دارند. لذا لاین‌های ۳۱۸، ۲۹۶، ۴۰۰، ۳۸۹، ۳۲۴ و ۲۳۷ برای مطالعات بعدی در مسیر تولید بذر هیبرید گزینش و پیشنهاد می‌گردند.

References

Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A., & Zali, H. (2020). Evaluation of some autumn canola genotypes based on agronomy traits and SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 93-104. <https://doi:10.29252/jcb.12.34.151> [In Persian]

- Ahmadi, A., Hosseinpour, T., & Soltani, M. (2014). The effect of plant density on yield and its components in three rain fed barley cultivars. *Agronomy Journal*, 102, 131-140. <https://doi.org/10.22092/aj.2014.100939>
- Bhoomika, M. R., Nagarajappa Adivappar, D., & Thippesha, S. (2021). Study on correlation and path analysis of F2 population of cucumber *Cucumis sativus* L. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12(3), 1029-1032. <https://doi.org/10.37992/2021.1203.141>
- Bosland, P. W. (1992). Chiles: a diverse crop. *Hort Technology*, 2, 6-10.
- Ferdousi, J., Zakaria, M., Hoque, M. A., Ivy, N. A., Ranjan, S., Hossain, I., Pramanik, S., & Dwipok, D. D. (2023). Genetic variability and path analysis of sweet peppers. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 12(3), 198-204. <https://doi.org/10.7324/JABB.2024.152710>
- Gomes, C. N., Carvalho, S. P., Jesus, A. M. S., & Custódio, T. N. (2007). Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 1121-1130. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800008>
- Jabbari, M., & Darvishzadeh, R. (2023). Correlation evaluation and path coefficient analysis of traits related to fruit yield in Iranian pepper (*Capsicum annum* L.) populations. *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 741-753. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205> [In Persian]
- Khan, I., & Sridevi, O. (2018). Variability, correlation and path analysis in F₂ population of cross between hot pepper and bell pepper. *International Journal of Chemical*, 6, 1002-6
- Kiani, G. (2023). Path Analysis of Quantitative Characters and Clustering of Eggplant Lines in F4 Generation. *Journal of Crop Breeding*, 15(46), 22-26. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.22>. [In Persian]
- Luitel, B. P., Yoon, C. S., & Kang, W. H. (2013). Correlation and path coefficient analysis for fruit yield and quality characters in segregating population of mini-paprika (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 25, 1-7.
- Miller, P. A., Williams, J. C., Robinson, J. H. F., & Comstock, R. E. (1957). Estimates of genotypic and environmental variances and covariances in upland cotton and their implication in selection. *Agronomy Journal*, 29, 126-131. <https://doi.org/10.2134/agronj1958.00021962005000030004x>
- Monge-Pérez, J. E., Elizondo-Cabalceta, E., & Loría-Coto, M. (2022). Correlation and path coefficient analysis in sweet pepper (*Capsicum annum* L.) grown under greenhouse conditions. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 128-139. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5335>.

- Moreira, S. O., Gonçalves, L. S. A., Rodrigues, R. R., Sudré, C. P., Júnior, A. T. A., & Medeiros, A. M. (2013). Correlações e análise de trilha sob multicolinearidade em linhas recombinadas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8, 15-20. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a1726>.
- Munchi, A. D., Behera, T. K., & Singh, G. (2000). Correlation and path coefficient analysis in chilli. *Indian Journal of Horticulture*, 57(2), 157-159.
- Rego, E. R. (2009). A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica*, 168, 275-287. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9947-y>.
- Rodriguez, Y., Depestre T., & Gomez, O. (2008). Efficiency of selection in pepper lines (*Capsicum annuum*), from four sub-populations, in characters of productive interest. *Ciencia Investigacion Agraria*, 35(1), 29-40. <https://doi.org/10.7764/RCIA.V35I1.370>
- Rohini, N., & Lakshmanan, V. (2015). Correlation and path coefficient analysis in chilli for yield and yield attributing traits. *Journal of Applied and Natural Science*, 4, 25-32.
- Sahu, L., Trivedi, J., & Sharma, D. (2016). Genetic variability, heritability and divergence analysis in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Plant Archives*, 16, 445-8. <https://doi.org/10.5555/20193483335>
- Shumbulo, A., Nigussie, M., & Alamerew, S. (2017). Correlation and Path Coefficient Analysis of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes for Yield and its Components in Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 5, 3. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000277>
- Soares, R. S., Da Silva, H. W., Candido, W., & Vale, L. S. (2017). Correlations and path analysis for fruit yield in pepper lines (*Capsicum chinense* L.). *Comunicata Scientiae*, 8, 247-55. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1839>
- Ullah, M. Z., Hasan, M. J., Saki, A. I., Rahman, A. H. M. A., & Biswas, P. L. (2011). Association of correlation and cause-effect analysis among morphological traits in chili (*Capsicum frutescens* L.). *International Journal of Biological Research*, 10, 19-24.
- Wright, S. (1923). The theory of path coefficients a reply to Nile's criticism. *Genetics*, 8, 239-255. <https://doi.org/10.1093/genetics/8.3.239>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Zeinalabedini, M. (2017). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 78 (20), 77-90. Dor: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.7.4 [In Persian]
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, and A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously,

using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum*, 7(2), 703-711.

Zecevic, B., Dordevic, R., Balkaya, A., Damnjanovic, J., Dordevic, M., & Vujosevic, A. (2011). Influence of parental germplasm for fruit characters in F1, F2 and F3 generations of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Genetika*, 43, 209-216. <https://doi.org/10.2298/GENSR1102209Z>