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

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. Emial 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 (2024) 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* 1 (2), 1-16.

Journal of Genetics and Plant Breeding DOI: 10.22103/gpb.2025.24316.1016

Received: May 03, 2024. Received in revised form: June 14, 2024.

Accepted: June 15, 2024. Published online: June 29, 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 الکترونیکی: ۷۲۷۱-۳۰۶۰
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه افضلی پور

گزینش لاین‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) بر مبنای صفات موثر بر عملکرد میوه در مسیر تولید بذر هیبرید

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

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: ۱۴۰۳/۰۲/۱۴ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

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 منتسب 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 غیردلمه‌ای (*C. annuum* L.) از بخش ژرم پلاسم 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 موردمطالعه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که بیانگر تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های موردمطالعه 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 موردمطالعه 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 (به‌ترتیب 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 به‌طورکلی بهره‌وری فلفل شیرین را افزایش خواهد داد. همچنین استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل منجر به‌گزینش لاین‌ها و ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که به‌طور هم‌زمان ازنظر 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.

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

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: رودباری زهرا، نوذری اردشیر (۱۴۰۳) گزینش لاین‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) بر مبنای صفات موثر بر عملکرد میوه در مسیر تولید بذر هیبرید. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(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. annuum* L.، *C. frutescens* L.، *C. chinenses* L.، *C. baccatum* L. و *C. pubescens* تشکیل شده است (Rodriguez et al. 2008). فلفل‌ها بر اساس ویژگی‌های میوه از نظر تندی، رنگ، شکل، کاربرد موردنظر، 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 پلاسم برتر این گیاه جهت تولید ارقام و هیبریدهای جدید شناسایی گردد. شناسایی ژنوتیپ‌های کارآمد برای استفاده مستقیم به‌عنوان واریته 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 ازجمله عوامل ژنتیکی، فیزیولوژیکی و

محیطی تعیین می‌شود (Zecevic et al. 2011). به‌این‌ترتیب آگاهی از همبستگی سایر خصوصیات زراعی با عملکرد و یا حتی بین آن‌ها و تأثیر محیطی در بیان ویژگی‌های موردمطالعه در تعیین استراتژی گزینش از اهمیت اساسی برخوردار است (Gomes et al. 2007).

هر برنامه اصلاحی مستلزم آگاهی از تنوع ذاتی مواد و همچنین میزان همبستگی بین صفات مختلف است (Ferdousi et al. 2023). علی‌رغم سودمندی تخمین‌های ضریب همبستگی برای درک یک صفت پیچیده، مانند عملکرد، این تحلیل‌ها اجازه نمی‌دهند تا در مورد علل و آثار این روابط نتیجه‌گیری کرد و شناخت نوع ارتباط بین صفات ارزیابی‌شده را غیرممکن می‌کند (Moreira et al. 2013). به‌منظور کاهش این مشکلات، Wright (1923) روش‌شناسی تجزیه علیت را پیشنهاد نمود که همبستگی‌های برآورد شده را در تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر یک متغیر اساسی آشکار می‌کند. تکنیک تجزیه علیت به اصلاح‌کنندگان کمک می‌کند تا استراتژی‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر محصولات مختلف مانند خیار (Bhoomika et al. 2021)، بادمجان (Kiani 2023)، فلفل (MongePerez et al. 2022 Rohini & Lakshmanan 2015; Moreira et al. 2013;) برگزینند.

در مطالعات قبلی ۵۵ ژنوتیپ فلفل تند با هدف تعیین همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی و بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد میوه (تجزیه علیت) موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که صفات وزن خشک، میانگین طول میوه، قطر میوه و میانگین تعداد میوه در بوته بیشترین تأثیر مستقیم را بر روی صفت عملکرد داشتند (Shumbulo et al. 2017). همچنین ۲۷ ژنوتیپ فلفل شیرین تحت شرایط گلخانه مورد ارزیابی قرارگرفته و نتایج نشان داد که صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه، طول میوه بیشترین اثر مستقیم و سطح برگ بیشترین اثر غیرمستقیم را بر عملکرد میوه داشتند (Mongoe-Peraz et al. 2022). ارزیابی صفات و تعیین خصوصیات ژرم پلاسم گیاه فلفل برای صفات هدف از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی فلفل است. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، برای اولین بار توسط Zali et al. (2015) برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن می‌توان از شاخص‌های مختلف، صفات مورفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و ... استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد.

در این مطالعه تلاش شده است تا با بررسی تنوع ژنتیکی ۵۰ لاین فلفل شیرین و تعیین همبستگی صفات تأثیرگذار بر عملکرد میوه و میزان تأثیر آن‌ها با محاسبه اثرات مستقیم و غیرمستقیم به‌روش تجزیه علیت، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل در گزینش لاین‌های والدینی برتر جهت ورود به برنامه تولید بذر هیبرید استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای این پژوهش، بذور ۵۰ ژنوتیپ فلفل شیرین غیردلمه‌ای (*C. annuum* L.) از بخش ژرم‌پلاسم موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان دریافت و به‌دلیل عدم اطلاع از هتروزیگوت یا هموزیگوت بودن بذور، اقدام به خودگشنی 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 ۶-۴ برگی به گلخانه (بستر خاکی) تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی جنوب کرمان (طول جغرافیایی ۳۶''۵۷°۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸,۳۳ شمالی) منتقل شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و طی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ 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 (مجموعا 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.

به‌منظور گزینش لاین‌های برتر بر اساس ادغام عملکرد و صفات تأثیرگذار بر آن (صفات وارد شده در تجزیه علیت) از شاخص گزینش ژنوتیپ آیده‌ال (SIIG) استفاده شد (Zali et al. 2015). مقدار SIIGi بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه موردنظر 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 به‌صورت رابطه ۱ تشکیل شد (ماتریس D).

رابطه (۱)

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

در این ماتریس xij مقدار لاین iام (i = 1, 2, … n) در رابطه با صفت jام (j = 1, 2, …m) بود. به‌عبارت دیگر ردیف‌ها را لاین‌ها و ستون‌ها را صفات تشکیل دادند.

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

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

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

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 به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ (ایده‌آل) و ضعیف‌ترین (غیرایده‌آل) انتخاب شد. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ مقدار ایده‌آل و پایین‌ترین مقدار عملکرد به‌عنوان 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-) به‌ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد.

رابطه (۴)
$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(r_{ij} - r_j^+\right)^2} \qquad i = 1 \ldots n$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - r_j^-\right)^2} \qquad i = 1 \ldots n$$ رابطه (۵)

در روابط فوق rij مقدار نرمال شده ژنوتیپ iام (i = 1, 2, … n) در رابطه با شاخص (صفت) jام (j = 1, 2, …m) است. rj+ و r_j^- به‌ترتیب مقادیر نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر شاخص (صفت) jام (j = 1, 2, … 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 di+ فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و di- فاصله از ژنوتیپ‌های ضعیف است:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$ رابطه (۶)

$$0 \leq SIIGi \leq 1$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری برای همه صفات موردمطالعه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که بیانگر تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های موردمطالعه بود. این نتیجه با پارامتر ضریب تغییرات ژنتیکی (CV_g) نیز قابل‌اثبات بود (جدول ۲). در تحقیقاتی Soares et al. (2017) و Ulah et al. (2011) ضریب تغییرات ژنتیکی بالا را با نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های موردمطالعه 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. پیوستگی و یا پلیوتروپی ژن‌ها مسئول همبستگی بین جفت صفات است. در نتیجه انتخاب مستقیم برای عملکرد نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد. ازآنجایی‌که 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) 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) 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

				میانگین مربعات Mean of Squares		
وراثت‌پذیری عمومی Broed sense heritability	ضریب تغییرات فنوتیپی CV_p	ضریب تغییرات ژنتیکی CV_g	CV (%)	خطای آزمایشی Error df (98)	لاین Line df (49)	صفات Characteristics
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 موردمطالعه 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 (زیرقطر) صفات مورد ارزیابی در ۵۰ لاین فلفل شیرین

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

	عملکرد میوه Yield fruit	تعداد میوه Number of fruits	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	طول دم میوه Pedical length	ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	٪ ماده خشک % DM	٪ مواد جامد محلول TSS	وزن میوه Fresh fruit weight	شاخص شکل میوه Fruit shape index
عملکرد میوه Yield fruit	1	0.79**	0.40*	0.61**	0.54**	0.49*	0.54**	0.21	0.90**	-0.15
تعداد میوه Number of fruits per plant/harvest	0.75**	1	0.21	0.30	0.42*	0.25	0.46 *	-0.11	0.50**	-0.11
طول میوه Fruit length	0.38*	0.19	1	-0.20	0.76*	-0.01	0.20	0.08	0.374*	0.75**
قطر میوه Fruit diameter	0.61**	0.27	-0.18	1	0.03	0.86**	0.31*	-0.29	0.66**	-0.74**
طول دم میوه Pedical length	0.49*	0.41*	0.66**	0.01	1	0.37*	0.41*	0.14	0.48*	0.49*
ضخامت گوشت میوه Flesh thickness	0.47*	0.20	0.01	0.65**	0.28	1	0.33*	-0.08	0.59**	-0.42*
درصد ماده خشک % DM	0.52**	0.46*	0.19	0.30	0.38*	0.29	1	0.06	0.57**	-0.16
درصد مواد جامد محلول TSS	-0.20	-0.11	0.07	-0.27	0.14	-0.07	0.06	1	-0.19	0.30
وزن میوه Fresh fruit weight	0.91**	0.46*	0.36*	0.66**	0.42*	0.57**	0.53**	-0.17	1	-0.18
شاخص شکل میوه Fruit shape index	-0.14	-0.09	0.74**	-0.71**	0.44*	-0.36*	-0.14	0.27	-0.18	1

* 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 کانوپی 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 گام‌به‌گام عملکرد میوه و سایر صفات در ۵۰ لاین فلفل شیرین

Table 3. Step wise regression Analysis of fruit yield and other traits

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

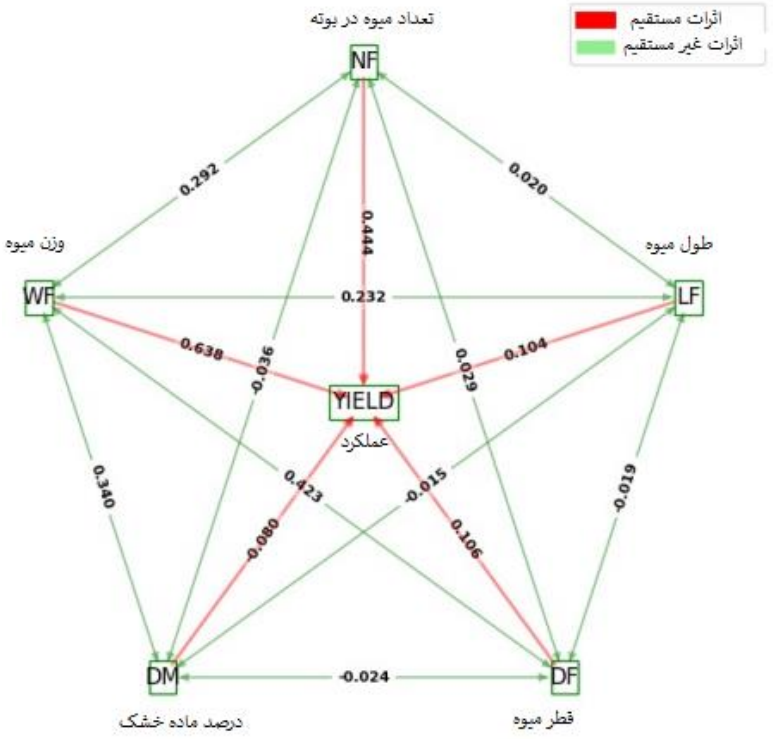
** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** 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 بالابود. براین اساس، جهت گزینش باید به اثر غیرمستقیم وزن میوه توجه نمود. ارتباط

مثبت و معنی‌دار 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 ایده‌آل 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). ازآنجایی‌که میزان تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد، هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به یک نزدیک‌تر باشد، آن ژنوتیپ از مطلوبیت بالاتری ازنظر بیشتر صفات موردمطالعه، 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، ۳۳۴، 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 ٤. مقادیر شاخص SIIG در لاین‌های فلفل شیرین موردمطالعه

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 به‌طورکلی 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. [In Persian] https://doi:10.29252/jcb.12.34.151

Ahmadi, A., Hosseinpour, T., & Soltani, M. (2014). The effect of plant density on yield and its ccomponents 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. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205

Khan, I., & Sridevi, O. (2018). Variability, correlation and path analysis in F_2 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 [In Persian] https://doi: 10.61186/jcb.15.46.22

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 annuum* 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 annuum* 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: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: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. [In Persian] Dor: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.7.4

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