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

Investigation of the correlation and causal relationships between grain yield and some important agronomic traits in corn lines under drought stress conditions

Mehdi Rahimi

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. Email address: mehdi83ra@gmail.com

Abstract

Objective

Corn is one of the most important cereal crops worldwide, playing a vital role in food security and various industries. However, drought stress and climate change are expected to impact agricultural production increasingly in the coming decades. Therefore, investigating the correlations and cause-effect relationships between corn grain yield and key agronomic traits under different drought stress conditions can help identify traits that most strongly influence grain yield and enhance the efficiency of corn breeding programs.

Materials and Methods

To study the relationships between grain yield per plant and agronomic traits, 40 advanced corn lines from the eighth generation (coded KSC704-S8-1 to KSC704-S8-40) were evaluated using a randomized complete block design with three replications under two different irrigation conditions.

Results

The combined analysis of variance for all studied traits revealed significant differences at the 1% probability level for both the effects of environment (moisture conditions) and line, indicating considerable variation among lines and between the two environments. Trait correlation analysis showed that grain yield per plant positively and significantly correlated with the number of grains per ear, hundred-grain weight, and grain width under both irrigation conditions. In stepwise regression analysis, when grain yield per plant was considered the dependent variable, the number of grains per ear, grain length, and number of ears per plant were sequentially included in the model under normal conditions. In contrast, the number of grains per ear and grain length were

entered under drought stress conditions. In both cases, the models were significant at the 1% level. Path analysis further revealed that the number of grains per ear and grain length had the highest direct and positive effects on grain yield per plant under normal and drought stress conditions.

Conclusion

The findings indicate that the number of grains per ear, grain length, and ears per plant are the most important traits to consider as selection indicators for improving grain yield per plant in corn breeding programs.

Keywords: Corn, Correlation, Path analysis, Regression analysis.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Rahimi M (2024) Investigation of the correlation and causal relationships between grain yield and some important agronomic traits in corn lines under drought stress conditions. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (1), 19-36.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (1), 19-36. DOI: 10.22103/gpb.2025.4850

Received: May 02, 2024. Received in revised form: July 13, 2024.

Accepted: July 13, 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: ۳۰۶۰-۷۹۶۵ شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۷۲۷۱
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه افضلی پور

بررسی همبستگی و روابط علی و معلولی عملکرد دانه ذرت و برخی صفات مهم زراعی در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی

مهدی رحیمی

*نویسنده مسئول: دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: mehdi83ra@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

چکیده

هدف: ذرت یکی از مهم‌ترین غلات جهان است که نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی و صنایع مختلف ایفا می‌کند. همچنین تنش خشکی و تغییرات اقلیمی در دهه‌های آینده به‌طور فزاینده‌ای بر تولید محصولات کشاورزی تأثیرگذار است. بنابراین، بررسی همبستگی و روابط علی و معلولی بین عملکرد دانه ذرت و برخی صفات مهم زراعی در لاین‌های ذرت تحت شرایط مختلف تنش خشکی می‌تواند به شناسایی صفات کلیدی مؤثر بر عملکرد دانه و بهبود کارایی برنامه‌های اصلاحی ذرت کمک کند.

مواد و روش‌ها: به‌منظور مطالعه روابط بین عملکرد تک بوته و صفات زراعی، در این پژوهش، ۴۰ لاین پیشرفته ذرت از نسل هشتم با کدهای KSC704-S8-1 تا KSC704-S8-40 در قالب یک طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و تحت دو شرایط متفاوت آبیاری مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس مرکب برای تمامی صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای اثرات محیط (شرایط رطوبتی) و لاین نشان داد و این حاکی از تفاوت معنی‌دار بین لاین‌ها و همچنین دو محیط بود. همبستگی صفات در هر دو شرایط نشان داد که عملکرد تک بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه و عرض دانه داشت. با در نظر گرفتن عملکرد تک بوته به‌عنوان متغیر وابسته و انجام تجزیه رگرسیونی گام به گام در شرایط نرمال (به‌ترتیب صفات تعداد دانه در بلال، طول دانه و تعداد بلال در بوته در مرحله اول)، شرایط تنش خشکی (صفات تعداد دانه در بلال و طول دانه در مرحله اول) وارد مدل گردیدند و مدل در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. تجزیه مسیر نشان داد که صفات تعداد دانه در بلال و طول دانه در شرایط نرمال و در شرایط تنش خشکی بالاترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد تک بوته داشتند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که مهم‌ترین صفات به‌عنوان شاخص گزینش جهت بهبود عملکرد تک بوته در ذرت به ترتیب شامل تعداد دانه در بلال، طول دانه و تعداد بلال در بوته بودند.

کلیدواژه‌ها: تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، ذرت، همبستگی.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: رحیمی مهدی (۱۴۰۳) بررسی همبستگی و روابط علی و معلولی عملکرد دانه ذرت و برخی صفات مهم زراعی در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۱)، ۳۶-۱۹.

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

© the authors

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین غلات جهان است که نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی و صنایع مختلف ایفا می‌کند. این گیاه به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی متنوع، ارزش غذایی بالا و کاربردهای گسترده در صنایع غذایی و غیرغذایی، به‌عنوان یک محصول استراتژیک در بسیاری از کشورها شناخته شده است (Fussell 2004; Subedi & Ma 2009). تنش خشکی و تغییرات اقلیمی در دهه‌های آینده به‌طور فزاینده‌ای بر تولید محصولات کشاورزی تأثیرگذار است (FAO 2020). با این حال، کاهش منابع آبی و تغییرات اقلیمی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چالش‌های جدی برای تولید پایدار ذرت ایجاد کرده‌اند (Dinar et al. 2019; Shemer et al. 2023). تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی شناخته شده است و می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Begna 2022; Dietz et al. 2021). در این راستا، شناسایی و بهبود ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برای افزایش تولید ذرت در شرایط تنش آبی از اهمیت بالایی برخوردار است.

عملکرد دانه ذرت یک صفت پیچیده است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی متعددی قرار دارد. این صفت با سایر صفات زراعی و مورفولوژیکی مانند ارتفاع گیاه، تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و شاخص برداشت همبستگی دارد. درک روابط بین این صفات و عملکرد دانه می‌تواند به به‌نژادگران کمک کند تا با استفاده از روش‌های انتخاب مستقیم و غیرمستقیم، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی را شناسایی کنند (Balbaa et al. 2022; Chen et al. 2012). تجزیه و تحلیل همبستگی و روابط علی و معلولی بین صفات مختلف می‌تواند به شناسایی صفات کلیدی مؤثر بر عملکرد دانه و بهبود کارایی برنامه‌های اصلاحی کمک کند.

یکی از روش‌های آماری که به‌طور گسترده در مطالعات زراعی استفاده می‌شود، تجزیه مسیر است. این روش به محققان امکان می‌دهد تا اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مختلف بر عملکرد دانه را بررسی کنند و سهم هر صفت در تغییرات عملکرد را تعیین نمایند (Khan et al. 2022; Saed-Moucheshi et al. 2013). با استفاده از این روش، می‌توان صفات مؤثر بر عملکرد دانه را شناسایی کرد و از آن‌ها به‌عنوان معیارهای انتخاب در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود. تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با بررسی صفات مؤثر بر عملکرد دانه ذرت انجام شده است. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر روی ۴۵ لاین اینبرد ذرت، تفاوت‌های معنی‌داری در عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در شرایط نرمال و تنش خشکی مشاهده شد (Balbaa et al. 2022).

مطالعات قبلی بر روی ارتباط بین عملکرد دانه و صفات زراعی مختلف در لاین‌ها و هیبریدهای ذرت نشان داده‌اند که این صفات به‌طور معناداری بر بازدهی محصول تأثیر دارند (Alam et al. 2024). تجزیه مسیر نشان داده است که تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف‌های دانه در بلال مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه هستند (Ramezani et al. 2009). مطالعات حاکی از همبستگی مثبت بین طول بلال (EL) و عملکرد دانه در منطقه کالار ۰/۴۷۷ و در منطقه خانقین ۰/۴۳۲ بوده است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که طول بیشتر بلال به‌معنای تعداد دانه‌های بیشتر است، که می‌تواند دلیل نتایج به‌دست آمده در تجزیه مسیر باشد. در این تجزیه مشخص شد که طول بلال بیشترین تأثیر مثبت مستقیم را بر عملکرد دانه دارد، به‌طوری‌که مقدار ضریب مسیر برای منطقه کالار ۰/۱۸۷۵ و برای منطقه خانقین ۰/۵۲۹ بوده است. همچنین، ضرایب مسیر نشان دادند که ضریب بین تعداد روز تا گرده‌افشانی (DTS) و عملکرد دانه بیشترین مقدار منفی را داشته است، به‌طوری‌که در منطقه کالار این مقدار برابر با ۰/۴۶۹- و در منطقه خانقین ۰/۵۵۴- گزارش شده است (Mohammed et al. 2024). برآورد ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی برای ارتفاع بلال نشان‌دهنده میزان بالای تغییرپذیری این صفت است. وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار بالا به‌عنوان درصدی از میانگین، برای صفاتی مانند ارتفاع بلال، وزن صد دانه، طول تاج گل، تعداد دانه در ردیف، طول بلال، تعداد ردیف‌های دانه در بلال و ارتفاع بوته مشاهده شده است. مطالعات همبستگی نشان داده‌اند که عملکرد دانه در هر بوته در هر دو سطح فنوتیپی و ژنوتیپی ارتباط مثبت و معناداری با درصد پوست‌گیری دارد. همچنین، در سطح ژنوتیپی، عملکرد دانه همبستگی مثبت و معناداری با قطر بلال، تعداد ردیف‌های دانه در بلال و تعداد دانه در هر ردیف نشان داده است (Gogoi et al. 2025). به‌طور کلی، ضرایب همبستگی بین اجزای عملکرد در هر دو منطقه مشابه بودند، اما تجزیه ضرایب مسیر در مناطق کافانچان و کاداوا تفاوت‌هایی را نشان داد. در هر دو منطقه تحقیقاتی، ارتفاع بوته، طول بلال، قطر بلال و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه ذرت و همچنین با یکدیگر داشتند. تجزیه ضرایب مسیر نشان داد که ارتفاع بوته بیشترین تأثیر مستقیم بر عملکرد دانه را داشته است، به‌طوری‌که در منطقه کاداوا مقدار این تأثیر ۰/۶۵۳ گزارش شده است. پس از آن، وزن هزار دانه بیشترین تأثیر مستقیم را در منطقه کافانچان با مقدار ۰/۴۲۹۰ داشته است. این تجزیه و تحلیل همچنین نشان داد که این صفات از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد دانه محسوب می‌شوند. هر دو روش همبستگی و تجزیه ضرایب مسیر تأیید کردند که قطر بلال، در مقایسه با سه صفت دیگر

بررسی‌شده در تحلیل اجزای عملکرد ذرت، یک شاخص زراعی کمتر قابل‌اعتماد محسوب می‌شود (Yahaya et al. 2021). این یافته‌ها بر ضرورت استفاده از تجزیه همبستگی و مسیر، به‌همراه انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، تأکید دارند.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی همبستگی و روابط علی و معلولی بین عملکرد دانه ذرت و برخی صفات مهم زراعی در لاین‌های ذرت تحت شرایط مختلف تنش خشکی است. این مطالعه می‌تواند به شناسایی صفات کلیدی مؤثر بر عملکرد دانه و بهبود کارایی برنامه‌های اصلاحی ذرت کمک کند. در نهایت، این پژوهش قصد دارد تا با ارائه اطلاعات دقیق‌تر در مورد روابط بین صفات مختلف، به افزایش تولید ذرت در شرایط تنش خشکی و بهبود امنیت غذایی کمک نماید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۴۰ لاین پیشرفته ذرت از نسل هشتم با کدهای KSC704-S8-1 تا KSC704-S8-40 در قالب یک طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و تحت دو شرایط متفاوت آبیاری مورد بررسی قرار گرفتند. لاین‌های مورد استفاده در این تحقیق (KSC704-S8-1 تا KSC704-S8-40) از نسل هشتم حاصل از برنامه انتخاب دوره‌ای به‌منظور بهبود تحمل به تنش غیرزیستی و پایداری عملکرد انتخاب شدند. معیار انتخاب این لاین‌ها، تنوع عملکرد در شرایط مختلف رطوبتی و شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به تنش خشکی بود. شرایط آبیاری شامل حالت نرمال (با دور آبیاری ۵ روزه و حفظ رطوبت خاک در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه) و شرایط تنش خشکی (با دور آبیاری ۱۰ روزه و حفظ رطوبت خاک در ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، واقع در شهر ماهان، در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی کرمان (با مختصات جغرافیایی طول ۵۷ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی، عرض ۲۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۸۹۵٫۴ متر از سطح دریا) و در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه اجرا شد. میانگین دمای ماهانه در طول فصل رشد در منطقه مورد مطالعه (اردیبهشت تا مهر) بین ۲۲ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه حدود ۱۳۵ میلی‌متر گزارش شده است. شرایط اقلیمی منطقه خشک و دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل می‌باشد. این شرایط می‌توانند تأثیر مستقیمی بر واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی داشته باشند.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم زدن در فصل بهار، تسطیح زمین و ایجاد جوی و پشته انجام شد. در هر تکرار، هر لاین در چهار ردیف دو متری با فاصله ۶۰ سانتی‌متر کشت شد. در هر ردیف، پنج نقطه کاشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر ایجاد شد و در هر نقطه دو بذر قرار داده شد. پس از مرحله شش برگی، بوته‌های اضافی حذف و تنها یک بوته در هر نقطه نگهداری شد. کلیه مراحل کاشت و نگهداری مطابق با روش‌های معمول منطقه انجام شد و کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی در دو مرحله انجام پذیرفت. خاک محل آزمایش از نوع لوم‌سیلتی با زهکشی مناسب و اسیدیته حدود ۷/۸ بود. میزان ماده آلی در خاک حدود ۰/۷ درصد و میزان فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب به ترتیب ۱۴ و ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد. همچنین، ۱۵۰ کیلوگرم

نیتروژن خالص در هکتار (معادل ۱۵ کیلوگرم برای هر ۱۰۰۰ متر مربع) به صورت کود سرک در سه نوبت و با فواصل یک‌ماهه به زمین اضافه شد. علاوه بر نیتروژن، از کود فسفره (پتاسیم دی‌هیدروژن‌فسفات) به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به‌میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت استفاده شد.

برای جمع‌آوری داده‌ها، از هر کرت ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و در طول دوره رشد و در پایان فصل، صفات زراعی و مورفولوژیکی مختلفی از جمله روز تا رسیدگی، طول و عرض بالاترین برگ (بر حسب سانتی‌متر)، ارتفاع گیاه (بر حسب سانتی‌متر)، ارتفاع اولین بلال (بر حسب سانتی‌متر)، تعداد بلال در هر بوته، تعداد دانه در هر بلال (تعداد کل دانه‌های پر در هر بلال)، تعداد ردیف دانه در هر بلال، تعداد دانه در هر ردیف (تعداد کل دانه‌های پر در هر ردیف بلال)، طول بلال (بر حسب سانتی‌متر)، طول و عرض دانه (بر حسب میلی‌متر)، وزن صد دانه (بر حسب گرم) و عملکرد دانه تک بوته (بر حسب گرم) در هر دو شرایط آبیاری (نرمال و تنش خشکی) اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس روش تجزیه ادغام شده (پس از بررسی مفروضات تجزیه واریانس و یکنواختی خطای آزمایش با استفاده از آزمون بارتلت) و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد.

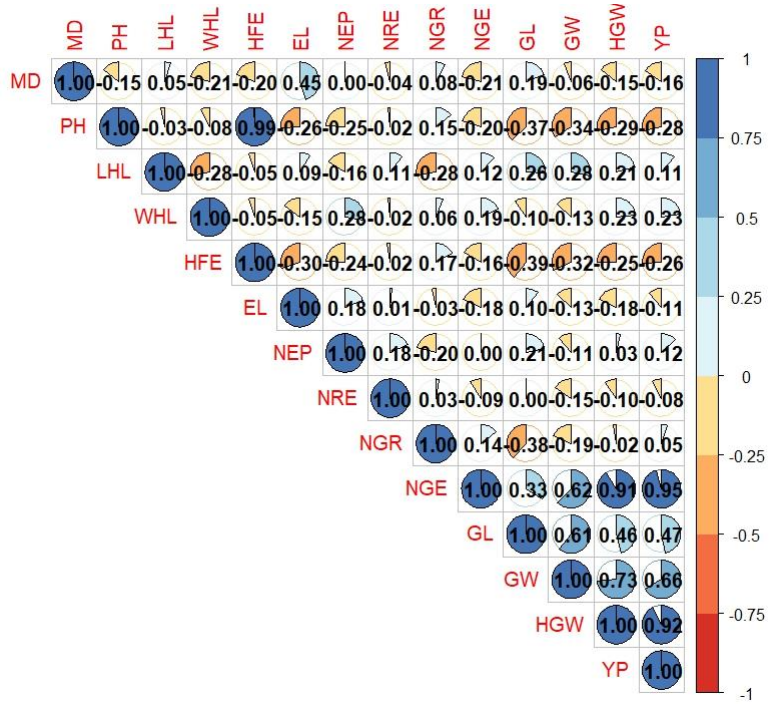
همچنین برای محاسبه همبستگی بین صفات مختلف نیز از روش پیرسون استفاده گردید. برای پیش بینی روابط عملکرد برگ با صفات و حذف متغیرهای کم اهمیت، و نیز برای شروع تجزیه علیت از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده شد. برای پی بردن به روابط علت و معلولی میان عملکرد برگ و صفات مورد مطالعه از روش آماری تجزیه علیت استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها و رگرسیون گام به گام با استفاده از نرم‌افزار SPSS Ver 25 (SPSS-Inc, 2017) انجام شد. همبستگی فنوتیپی با پکیج corrplot و تجزیه مسیر هم با پکیج‌های lavaan و semPlot و با نرم افزار R انجام گردید.

نتایج و بحث

برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) استفاده شد. نتایج نشان داد که صفات دارای توزیع نرمال بودند. نتایج آزمون بارتلت نشان از همگنی واریانس خطای آزمایشی در هر دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی بود و بنابراین تجزیه واریانس مرکب انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای تمامی صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای اثرات محیط (شرایط رطوبتی) و لاین نشان داد و این حاکی از تفاوت معنی‌دار بین لاین‌ها و همچنین دو محیط بود. اثر متقابل لاین در محیط نیز برای تمامی صفات به‌جز تعداد بلال در بوته معنی‌دار بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی تحت شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی نشان داده‌اند. نتایج این قسمت در مطالعه دیگر نشان داده شده است (Rahimi et al. 2024).

ضریب همبستگی ساده بین صفت مورد بررسی در لاین‌های ذرت برای شرایط نرمال و تنش خشکی به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در شرایط نرمال بیشترین همبستگی ساده بین صفات به ترتیب مربوط به‌صفت ارتفاع اولین بلال از زمین با ارتفاع بوته (۰/۹۹) و عملکرد تک بوته با تعداد دانه در خوشه (۰/۹۵) و وزن صد دانه (۰/۹۲) به‌دست آمد. کمترین همبستگی

نیز به‌ترتیب برای تعداد دانه در بلال با تعداد بلال در بوته (۰/۰۰۱)، تعداد بلال در بوته با تعداد روز تا رسیدگی (۰/۰۰۱)، ردیف دانه در بلال با ارتفاع گیاه (۰/۰۲) و تعداد بلال در بوته با وزن صد دانه (۰/۰۳) مشاهده گردید (شکل ۱).



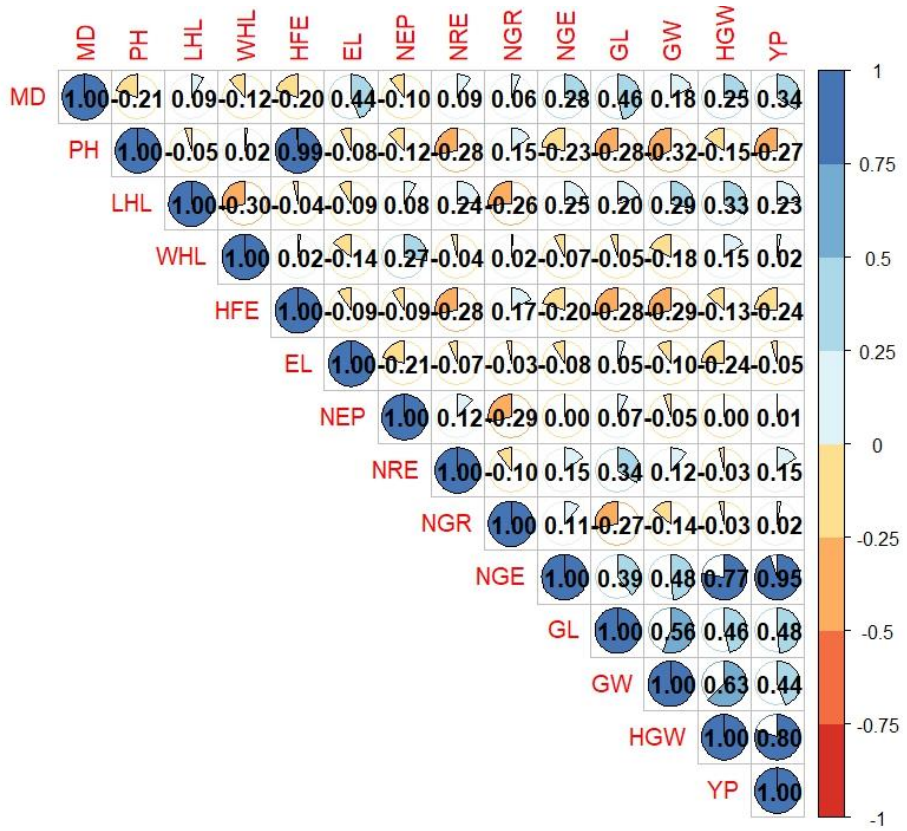
شکل ۱. نمودار همبستگی صفات مورد مطالعه در لاین‌های ذرت در شرایط نرمال

Figure 1. Correlation diagram of studied traits in corn lines under normal conditions

اعداد بیشتر از ۰/۴۲ و ۰/۵۴ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

Numbers greater than 0.42 and 0.54 are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

همبستگی عملکرد تک بوته با همه صفات به‌جز ارتفاع اولین بلال از زمین، ارتفاع بوته و تعداد ردیف در بلال مثبت بود. بنابراین با افزایش این صفات می‌توان در افزایش عملکرد تک بوته ذرت گام موثری در برنامه‌های به‌نژادی این گیاه برداشت. شکل ۲ همبستگی صفات را در شرایط تنش خشکی نشان داده است. نتایج نشان داد که عملکرد تک بوته در این شرایط با همه صفات بجز ارتفاع اولین بلال از زمین، ارتفاع بوته و طول بلال همبستگی مثبت نشان داد. بین صفات دیگر هم همبستگی‌های مثبت و یا منفی‌ای مشاهده شد.



شکل ۲. نمودار همبستگی صفات مورد مطالعه در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی

Figure 2. Correlation diagram of studied traits in corn lines under drought stress conditions

اعداد بیشتر از ۰/۴۲ و ۰/۵۴ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

Numbers greater than 0.42 and 0.54 are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

مطالعات مختلفی نشان داد که عملکرد تک بوته با صفات همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است و با نتایج این تحقیق در یک راستا بود. همچنین همبستگی صفات دیگر در مطالعاتی مثبت و در مطالعات دیگر منفی بود که برخی از آن‌ها در راستای نتایج این تحقیق و برخی دیگر در تضاد با نتایج این تحقیق بود که این می‌تواند به‌دلیل تفاوت در لاین‌های مورد بررسی، محیط و شرایط آزمایشی متفاوت باشد (Alam et al. 2024; Balbaa et al. 2022; Gogoi et al. 2025; Mohammed et al. 2024). نتایج این مطالعه در برخی موارد با یافته‌های گزارش‌شده توسط دیگر محققان (Alam et al. 2024; Balbaa et al. 2022) مشابه بوده و نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین صفات مؤثر بر عملکرد دانه مانند طول دانه و تعداد دانه در بلال می‌باشد. با این حال، در برخی مطالعات دیگر (Mohammed et al. 2024)، تأثیر برخی صفات در شرایط تنش کمتر یا منفی گزارش شده است. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط محیطی، نوع ژنوتیپ‌ها، تراکم کاشت و روش‌های مدیریتی باشد. بنابراین، نتایج

حاضر باید با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و ژنتیکی خاص محل آزمایش تفسیر شوند. همبستگی منفی بین ارتفاع اولین بلال از سطح زمین و عملکرد در شرایط تنش خشکی ممکن است ناشی از مصرف انرژی بیشتر گیاه برای رشد رویشی در مقایسه با رشد زایشی باشد. در شرایط تنش، انتقال بلال به ارتفاع بالاتر می‌تواند باعث کاهش تخصیص منابع به تشکیل و پرشدن دانه‌ها شود، که منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (Dietz et al. 2021).

جهت پیش بینی روابط عملکرد تک بوته و سایر صفات مورد مطالعه و حذف متغیرهای کم اهمیت و انجام تجزیه علیت، تجزیه رگرسیون گام به گام انجام شد. عملکرد تک بوته به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات اندازه‌گیری شده به‌عنوان متغیر مستقل مورد تجزیه قرار گرفتند. در مرحله بعد صفات وارد شده در مرحله اول به‌عنوان متغیر وابسته و بقیه صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. مطالعات مختلفی از روش تجزیه رگرسیون گام به گام برای تجزیه مسیر استفاده نموده‌اند (AbdoliNasab et al. 2020; Sabaghnia et al. 2013). برای بررسی هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون، از شاخص VIF (Variance Inflation Factor) استفاده شد. در تمامی مدل‌ها مقدار VIF کمتر از ۵ بود که نشان‌دهنده عدم وجود هم‌خطی شدید بین متغیرها است. نتایج رگرسیون گام به گام در شرایط نرمال (جدول ۱) نشان داد که صفات تعداد دانه در بلال، طول دانه و تعداد بلال در بوته به‌ترتیب وارد مدل گردیدند و توانستند ۹۳/۹ درصد تغییرات عملکرد تک بوته را توجیه کنند. همچنین در مرحله بعد، صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف به‌ترتیب وارد مدل گردیدند و توانستند ۸۵ درصد تغییرات صفت دانه در بلال را توجیه کنند. علاوه بر آن، صفات عرض دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد روز تا رسیدگی نیز به‌عنوان صفات موثر بر طول دانه وارد مدل رگرسیونی شدند و توانستند ۴۶/۹ درصد تغییرات صفت طول دانه را توجیه کنند. همچنین وقتی صفت تعداد بلال در بوته به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، هیچ صفتی وارد مدل رگرسیونی نشد (جدول ۱).

رگرسیون گام به گام در شرایط تنش خشکی (جدول ۲) نشان داد که صفات تعداد دانه در بلال و طول دانه وارد مدل گردید و توانستند ۹۰/۶ درصد تغییرات عملکرد تک بوته را توجیه نمایند. همچنین در مرحله بعد، صفت وزن صد دانه وارد مدل شده و توانست ۵۹ درصد تغییرات صفت تعداد دانه در بلال را توجیه کند. در نهایت صفات عرض دانه، تعداد روز تا رسیدگی و تعداد ردیف در بلال نیز به عنوان صفات موثر بر طول دانه وارد مدل رگرسیونی شدند و توانستند ۴۷/۶ درصد تغییرات صفت طول دانه را توجیه کنند (جدول ۲).

به‌منظور درک بهتر و تفسیر دقیق‌تر نتایج به‌دست آمده از همبستگی‌های ساده و رگرسیون گام به گام، متغیرهای وارد شده در مدل نهایی رگرسیون مورد تجزیه علیت مرحله‌ای در هر یک از شرایط تنش مورد مطالعه قرار گرفتند. شکل ۳ میزان آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات مستقل بر عملکرد تک بوته را بر اساس همبستگی‌ها در شرایط نرمال نشان داد.

جدول ۱. تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مورد مطالعه در لاین‌های ذرت در شرایط نرمال

Table 1. Stepwise regression analysis of studied traits in corn lines under normal conditions

صفت وابسته Dependent traits	ضرایب بتا Beta coefficients				R اصلاح شده Adjusted R	خطای تخمین زده Estimated error
	عرض از میدا Constant	تعداد دانه در بلال NGE	طول دانه GL	تعداد بلال در بوته NEP		
عملکرد تک بوته YP	-346.28**	1.24**	41.15**	36.92*	0.939	38.32
تعداد دانه در بلال NGE	عرض از میدا Constant	وزن صد دانه HGW	تعداد دانه در ردیف NGR	--	0.85	43.58
	-379.20**	11.03**	5.53*			
طول دانه GL	عرض از میدا Constant	عرض دانه GW	تعداد دانه در ردیف NGR	تعداد روز تا رسیدگی MD	0.469	0.41
	-0.742^{ns}	0.56**	-0.50*	0.03*		

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

طبق نتایج حاصل از تجزیه علیت صفت تعداد دانه در بلال بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه تک بوته داشت و اثرات غیرمستقیم آن از طریق صفات دیگر هم مثبت و هم منفی و ناچیز بود، بنابراین با گزینش مثبت برای این صفت می‌توان به اصلاح برای افزایش عملکرد تک بوته در برنامه‌های به نژادی گام موثری برداشت. همچنین در مرحله بعد صفت طول دانه بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد تک بوته داشت و میزان آثار غیرمستقیم این صفت از طریق صفات دیگر هم مثبت و هم منفی ولی ناچیز بود. بنابراین با گزینش برای افزایش این صفت در برنامه‌های به‌نژادی می‌توان در افزایش عملکرد تک بوته نیز گام موثری برداشت.

میزان آثار مستقیم و غیرمستقم صفات مستقل بر عملکرد دانه تک بوته در شرایط تنش خشکی در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه علیت در شرایط تنش خشکی نشان داد اثر مستقیم هر دو صفت تعداد دانه در بلال و طول دانه بر عملکرد دانه تک بوته مثبت و افزاینده می‌باشند و اثرات غیرمستقیم آن‌ها از طریق همدیگر نیز مثبت بود. اثرات مستقیم و مثبت صفت وزن صد دانه بر روی تعداد دانه در بلال و همچنین اثرات مستقیم و مثبت صفات عرض دانه، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد ردیف در بلال بر روی صفت طول دانه در مرحله بعد نیز نشان داد که افزایش این صفات در نهایت نیز باعث افزایش عملکرد تک بوته خواهد شد. با توجه به نتایج تجزیه علیت در این شرایط می‌توان گفت که با افزایش هر کدام از صفات تعداد دانه در بلال و طول

دانه می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی گام موثری برای افزایش عملکرد دانه تک بوته در شرایط تنش خشکی برداشت.

جدول ۲. تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مورد مطالعه در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی

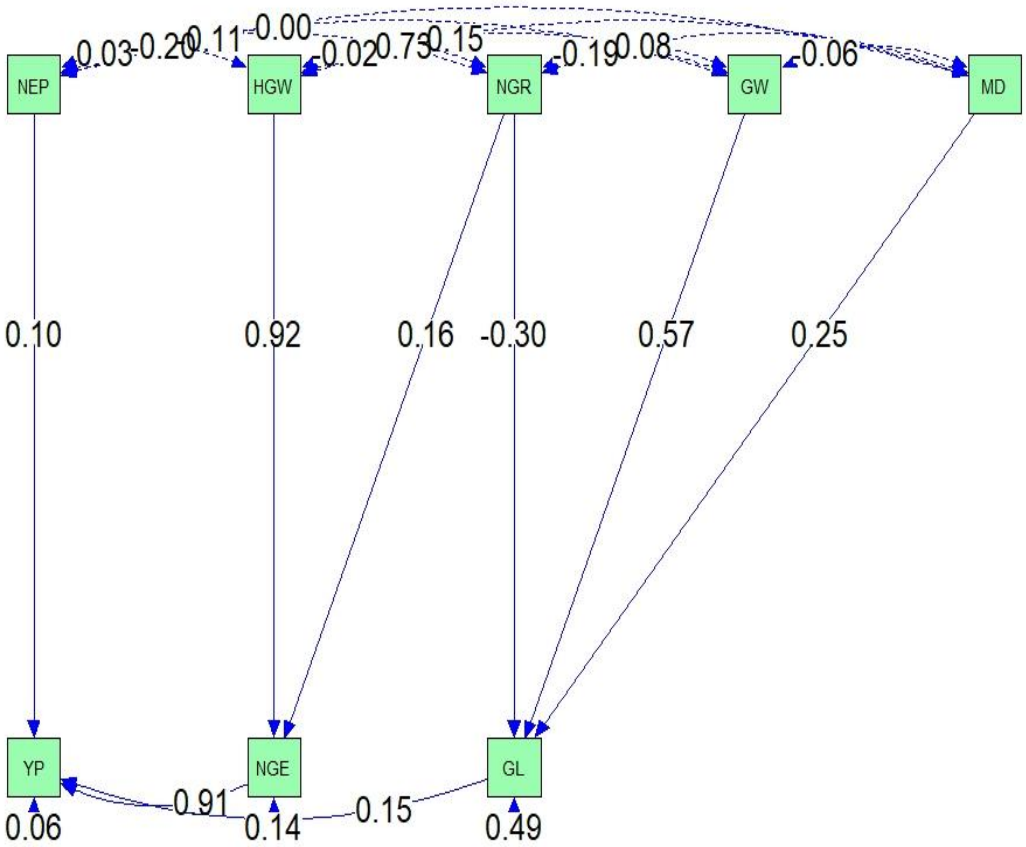
Table 2. Stepwise regression analysis of studied traits in corn lines under drought stress conditions

صفت وابسته Dependent traits	ضرایب بتا Beta coefficients				R اصلاح شده Adjusted R	خطای تخمین زده Estimated error
	عرض از میدا Constant	تعداد دانه در بلال NGE	طول دانه GL			
عملکرد تک بوته YP	-105.74**	0.84**	21.85*		0.906	27.42
	عرض از میدا Constant	وزن صد دانه HGW		--	0.59	61.29
تعداد دانه در بلال NGE	-107.19*	8.83**				
	عرض از میدا Constant	عرض دانه GW	تعداد روز تا رسیدگی MD	تعداد ردیف در بلال NRE		
طول دانه GL	-6.05*	0.48**	0.05**	0.12*	0.476	0.402

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

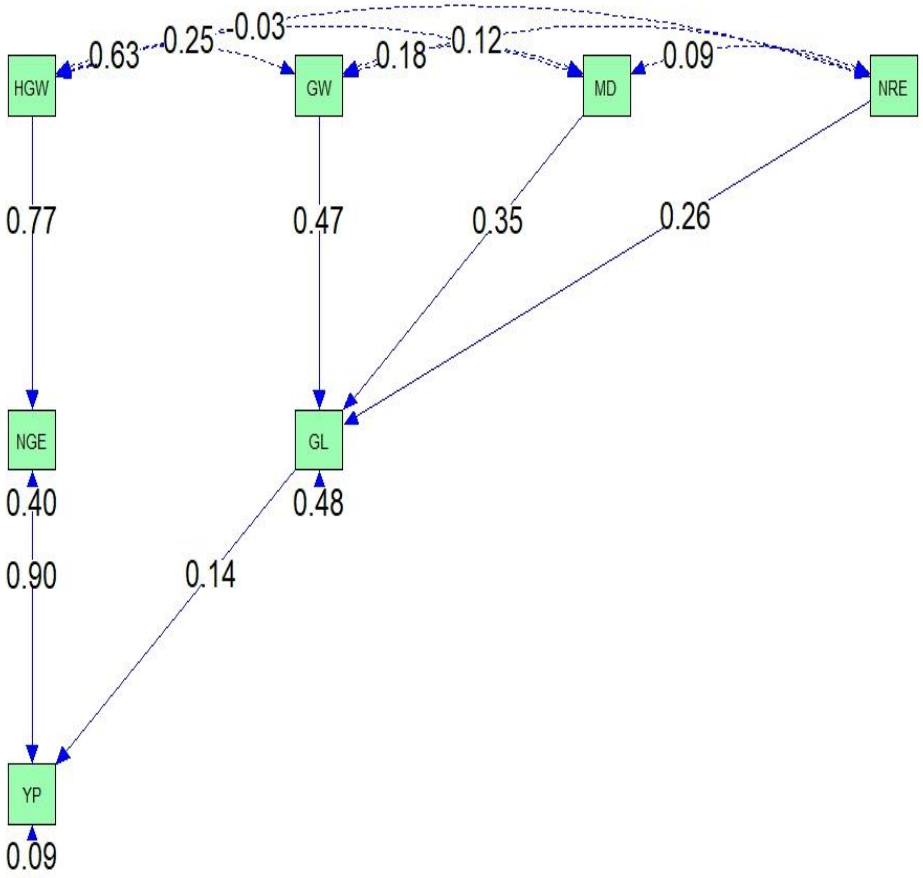
مطالعاتی در مورد بررسی اثر مستقیم و تجزیه مسیر صفات بر روی عملکرد تک بوته در گیاه ذرت (Alam et al. 2024; Balbaa et al. 2022; Gogoi et al. 2025; Ramezani et al. 2009) انجام شده است که نشان دهنده اهمیت صفات اجزای عملکرد در بهبود این صفت است. افزایش تعداد دانه در بلال و طول دانه احتمالاً از طریق بهبود منبع–مخزن و کارایی استفاده از فتوسنتز در دوره پرشدن دانه منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. صفاتی مانند وزن صد دانه نیز با افزایش ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در دانه‌ها مرتبط بوده و نقش مهمی در انتقال مواد از برگ‌ها به بلال دارند (Dietz et al. 2021). بنابراین، این صفات به‌عنوان شاخص‌های فیزیولوژیک مؤثر می‌توانند در انتخاب لاین‌های با عملکرد بالا مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه روش تجزیه مسیر روابط علی مستقیم و غیرمستقیم بین صفات را به خوبی نشان می‌دهد، اما ضرایب پایین برای برخی مسیرها (کمتر از ۲/۰) بیانگر تأثیر اندک یا وجود عوامل پنهان کنترل‌نشده است. این محدودیت‌ها باید در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر لحاظ شود، زیرا روابط بین صفات می‌تواند تحت تأثیر محیط، ژنتیک و تعامل آن‌ها باشد.



شکل ۳. تجزیه علیت مرحله‌ای بین عملکرد تک بوته و صفات وابسته در لاین‌های ذرت در شرایط نرمال.

Figure 3. Stepwise path analysis between grain yield per plant and dependent traits in corn lines under normal conditions.

جدول ۳، مقایسه‌ای جامع از ضرایب همبستگی و اثرات مستقیم صفات مهم بر عملکرد تک بوته ذرت در دو شرایط نرمال و تنش خشکی ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، صفت تعداد دانه در بلال در هر دو شرایط دارای همبستگی مثبت قوی و اثر مستقیم بالا بر عملکرد است، که این موضوع نشان‌دهنده نقش کلیدی آن در افزایش عملکرد می‌باشد. طول دانه نیز همبستگی مثبت و اثر مستقیم بالا، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، نشان داده است و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص انتخاب در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود. صفت وزن صد دانه اثرات مثبتی داشت، اگرچه شدت همبستگی آن در شرایط تنش کمتر بود.



شکل ٤. تجزیه علیت مرحله‌ای بین عملکرد تک بوته و صفات وابسته در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی.

Figure 4. Stepwise path analysis between grain yield per plant and dependent traits in corn lines under drought stress conditions.

در مقابل، ارتفاع اولین بلال نه تنها در شرایط نرمال همبستگی معناداری نداشت، بلکه در شرایط تنش خشکی همبستگی منفی و اثر مستقیم پایین نشان داد که می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر منفی این صفت بر تخصیص منابع به عملکرد دانه در شرایط تنش باشد. این یافته‌ها می‌توانند راهنمای مؤثری برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب در شرایط مختلف آبی باشند

.

جدول ۳. مقایسه ضرایب همبستگی و اثرات مستقیم صفات مهم بر عملکرد تک بوته ذرت در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 3. Comparison of Correlation Coefficients and Direct Effects of Key Traits on Grain Yield per Plant under Normal and Drought Stress Conditions

صفات Traits	همبستگی با عملکرد (نرمال) Correlation with yield (Normal)	همبستگی با عملکرد (تنش) Correlation with yield (Stress)	اثر مستقیم (نرمال) Direct effect (Normal)	اثر مستقیم (تنش) Direct effect (Stress)
تعداد دانه در بلال Number of grains per ear	مثبت قوی Strong positive	مثبت قوی Strong positive	بالا High	بالا High
طول دانه Grain length	مثبت Positive	مثبت *Positive*	متوسط Moderate	بالا High
وزن صد دانه Hundred-grain weight	مثبت Positive	متوسط Moderate	متوسط Moderate	متوسط Moderate
ارتفاع اولین بلال Height of first ear from ground	بدون همبستگی No correlation	منفی Negative	پایین Low	پایین *Low*

نتیجه‌گیری: بررسی همبستگی و روابط علی و معلولی بین صفات مختلف زراعی می‌تواند به بهبود انتخاب ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاح نژادی کمک کند. در مورد لاین‌های ذرت، می‌توانیم به صفاتی مانند عملکرد تک بوته، تعداد دانه در بلال، طول بلال، مقاومت به بیماری‌ها و آفات، و تحمل به شرایط محیطی مختلف اشاره کنیم. شناخت عوامل مؤثر در تغییر عملکرد تک بوته و صفات فنوتیپی کمک شایانی به اصلاح و توسعه گیاهان برای دستیابی به عملکرد مطلوب می‌نماید. عملکرد تک بوته و فرایند تشکیل آن به عوامل ژنتیکی، محیطی، زراعی و نیز اثر متقابل آن‌ها بستگی دارد. نتایج حاصل از همبستگی‌های ساده، رگرسیون گام به گام و تجزیه علّیت تا حدودی مؤید یکدیگر بودند به‌صورتی که در تعیین ضرایب همبستگی ساده صفات تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه و عرض دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد تک بوته دارا بودند. بنابراین جهت رسیدن به یک پاسخ مؤثر در طول نسل‌های قبل از رسیدن به خلوص و هم‌چنین جهت افزایش عملکرد تک بوته لازم است که گزینش برای صفاتی نظیر صفات تعداد دانه در

بلال، وزن صد دانه و عرض دانه انجام گیرد. در روش رگرسیون گام به گام صفاتی که وارد مدل گردیدند و بیشترین ضریب تبیین را به خود نسبت دادند با نتایج تجزیه همبستگی تطابق زیادی نشان دادند. با توجه به نتایج و مقایسه اثرات مستقیم می‌توان گزینش‌های غیرمستقیمی را از طریق افزایش صفات تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه و عرض دانه برای دستیابی به عملکرد دانه تک بوته بالا انجام داد. البته وجود تفاوت در نتایج این تحقیق و هم‌چنین نتایج تعدادی از مطالعات دیگر را می‌توان به متفاوت بودن مواد گیاهی، نوع کاشت، تراکم مختلف و شرایط محیطی متفاوت در هر یک از صفات نیز نسبت داد چرا که اهمیت نسبی اجزای مختلف عملکرد تک بوته با محل، فصل، طول عمر گیاه زراعی و موقعیت زمین فرق می‌کند. از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به استفاده از یک سال آزمایش، محدود بودن تعداد لاین‌ها و تأثیرپذیری نتایج از شرایط خاص اقلیمی محل اجرای آزمایش اشاره کرد. همچنین، احتمال وجود خطاهای آزمایشگاهی و تفاوت‌های محیطی کنترل‌نشده در مراحل نمونه‌گیری و اندازه‌گیری وجود دارد. انجام پژوهش‌های چندساله و در مناطق مختلف می‌تواند به تعمیم بهتر نتایج کمک کند.

سپاسگزاری: این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۰۳/۲۲۸ با استفاده از اعتبارات پژوهشی– پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

References

AbdoliNasab, M., Rahimi, M., Karatas, A., & Ercisli, S. (2020). Sequential path analysis and relationships between fruit yield in watermelon. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *57*(6), 1425-1430. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.200

Alam, M., Faysal, M., Paul, D., Razzaque, M., & Tareq, M. (2024). Correlation and path analysis estimation for plant characters of maize influenced by weeding and nitrogen practices through suppressing aphid infestation. *Tropical Agrobiodiversity*, *5*(1), 19-25. https://doi.org/10.26480/trab.01.2024.19.25

Balbaa, M. G., Osman, H. T., Kandil, E. E., Javed, T., Lamlom, S. F., Ali, H. M., . . . Brysiewicz, A. (2022). Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Article959203. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959203

Begna, T. (2022). Impact of drought stress on crop production and its management options. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, *8*(12), 1-13. https://doi.org/10.20431/2454-6224.0812001

Chen, J., Xu, W., Velten, J., Xin, Z., & Stout, J. (2012). Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation*, *67*(5), 354-364. https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.354

Dietz, K. J., Zörb, C., & Geilfus, C. M. (2021). Drought and crop yield. *Plant Biology*, *23*(6), 881-893. https://doi.org/10.1111/plb.13304

Dinar, A., Tieu, A., & Huynh, H. (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, *23*, 212-226. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.07.007

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*.

Fussell, B. H. (2004). *The story of corn*. University of New Mexico Press.

Gogoi, D., Bordoloi, D., Sarma, A., & Barua, N. S. (2025). Correlation and path analysis of early inbred lines of maize (*Zea mays* L.) for yield and yield related traits. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, *38*(1), 123-130. https://doi.org/10.61949/0976-1926.2025.v38i01.13

Khan, M. M. H., Rafii, M. Y., Ramlee, S. I., Jusoh, M., & Al Mamun, M. (2022). Path-coefficient and correlation analysis in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) accessions over environments. *Scientific Reports*, *12*(1), Article 245. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03692-z

Mohammed, M. S., Towfiq, S. I., Hassan, H. N., & Jumaa, M. E. (2024). Correlation and path analysis of agronomic traits and their impact on kernel yield in (F_2) hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, *6*(2), 543-552. https://doi.org/10.24271/psr.2024.475838.1725

Rahimi, M., Mianabadi, A., & Redhu, M. (2024). Evaluation of drought stress tolerance of advanced corn lines using agronomic and morphological traits. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(4), 581-608. https://doi.org/10.22126/cbb.2025.11466.1095 [In Persian]

Ramezani, M., Rahimi, M., & Samezadeh-Laheije, H. (2009). Relationship between yield and other agronomic traits in maize lines and hybrids. *Agricultural Science*, *19*(1), 146-157 [In Persian]

Sabaghnia, N., Asadi-Gharneh, H. A., & Janmohammadi, M. (2013). Sequential path analysis of spinach yield using several quantitative and qualitative traits. *Natura Montenegrina*, *12*(1), 205-216.

Saed-Moucheshi, A., Fasihfar, E., Hasheminasab, H., Rahmani, A., & Ahmadi, A. (2013). A review on applied multivariate statistical techniques in agriculture and plant science. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, *4*(1), 127-141.

Shemer, H., Wald, S., & Semiat, R. (2023). Challenges and solutions for global water scarcity. *Membranes*, *13*(6), Article 612. https://doi.org/10.3390/membranes13060612

SPSS-Inc. (2017). *IBM SPSS statistics 19 core system user's guide*.

Subedi, K., & Ma, B. (2009). Corn crop production: growth, fertilization and yield. In A. T. Danforth (Ed.), *Corn Crop Production: Growth, Fertilization and Yield* (pp. 1-84). Nova Science Pub. Inc. https://doi.org/10.13140/2.1.3515.9040

Yahaya, M., Bello, I., & Unguwanrimi, A. (2021). Correlation and path-coefficient analysis for grain yield and agronomic traits of maize (*Zea mays* L.). *Science World Journal*, *16*(1), 10-13.