

Estimation of combining ability, heterosis and genetic variance components for agromorphological traits in Flue-cured tobacco genotypes**Marziyeh Shazdehahmadi*¹, Ghaffar Kiani¹, Nadali Bagheri¹**¹. Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

*Corresponding Author Email: Noshinshazdeahmadi@Yahoo.com

Abstract

Introduction: Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) is one of the most important plants of Solanaceae family and is mainly consumed in the tobacco industry due to the commercial use of leaves. The production of hybrid varieties is one of the most important breeding programs for plants including tobacco. Estimation of genetic parameters is one of the most important stages of breeding programs for hybridization that helps in better selection of genotypes. This study was conducted with the aim of estimating general, private combinability, heterosis and genetic variance components for agronomic and morphological traits in tobacco genotypes through line $\times$ tester analysis.

Materials and Methods: In this study, 16 sterile F1 hybrids with 8 parents, namely 4 lines and 4 testers, along with two controls (K326 and TC100), were studied in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with a total of 26 treatments and 3 replications in the field of Tirtash Tobacco Research and Education Center. The agronomic and morphological traits studied included leaf length and width (centimeters), number of leaves, plant height (centimeters), stem diameter (millimeters), chlorophyll index, number of days to flowering, leaf area coefficient, and leaf shape index. SAS software and Line $\times$ Tester program were used to perform all statistical calculations.

Results: The results of the analysis of variance of the data for all morphological and agronomic traits studied showed that the effects of treatments for the traits plant height, chlorophyll index and number of days to flowering were statistically significant at the probability level of one percent and for the trait leaf number at the probability level of five percent. Then, for the traits in which the effects of treatments were significant, the Line $\times$ Tester analysis test was performed. Based on the results of the Line $\times$ Tester analysis of variance, the significance of the parental effect, the effect of crossing and the interaction of parents $\times$ crossings for all the traits studied indicates the existence of sufficient genetic diversity between the parental cultivars and their crosses and significant heterosis for all the traits studied. The examination of the relative contribution of lines, testers and the interaction of line $\times$ tester to the total variance showed that for all the traits studied, the contribution of the interaction of line $\times$ tester to the total variance was greater than the contribution of lines and testers to the total variance.

Conclusion: The results indicate the existence of genetic diversity among genotypes. Based on the results of general parental combinability, the Coker 371G line and the Cocker176 tester (CMS) had positive and significant general combinability, and these lines and testers can be used as parents in tobacco breeding programs. Based on the results of private combinability, the K394 $\times$ MN 944 (CMS) hybrid, due to its positive and significant private combinability in terms of chlorophyll index, and the NC60 $\times$ Coker 374 (CMS) hybrid, due to its positive and significant private combinability in terms of plant height and positive heterosis percentage, can be used for the production of male sterile hybrid tobacco. The results of the estimation of genetic variance components showed that in the traits of leaf number, plant height and number of days to flowering, incremental variance plays a major role and the selection method from among segregating generations is appropriate. While the chlorophyll index trait was mostly affected by non-additive variance, hybrid production is recommended to improve this trait.

Keywords: Gene effects, Tobacco, line $\times$ tester, Male sterile hybrid**Received:** 06-12-2025**Accepted:** 28-01-2026

Citation: Shazdehahmadi, M., Kiani, GH., & Bagheri, N. (2025). Estimation of combining ability, heterosis and genetic variance components for agromorphological traits in Flue-cured tobacco genotypes. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 255-270. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145086.1187>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145086.1187>

برآورد ترکیب‌پذیری، هتروزیس و اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون گرمخانه‌ای

مرضیه شازده احمدی^{۱*}، غفار کیانی^۱، نادعلی باقری^۱

۱. گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: Noshinshazdeahmadi@Yahoo.com

چکیده

مقدمه: توتون (*Nicotiana tabacum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و صنعتی و از خانواده بادمجانیان (Solanaceae) بوده و به‌طور عمده به‌دلیل استفاده تجاری از برگ‌ها در صنعت دخانیات مصرف می‌شود. تولید ارقام هیبرید، یکی از مهم‌ترین برنامه‌های به‌نژادی گیاهان از جمله توتون می‌باشد. برآورد پارامترهای ژنتیکی، از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های اصلاحی برای هیبریداسیون است که به انتخاب بهتر ژنوتیپ‌ها کمک می‌کند. در این راستا، این تحقیق با هدف برآورد ترکیب‌پذیری عمومی، خصوصی، هتروزیس و اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات زراعی و مورفولوژیک در ژنوتیپ‌های توتون از طریق تجزیه تجزیه لاین × تستر اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، تعداد ۱۶ هیبرید نرعیتم F1 به‌همراه ۸ والد یعنی ۴ لاین و ۴ تستر، به‌همراه دو شاهد (K326 و TC100) ، در مجموع با ۲۶ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش مورد بررسی قرار گرفتند. صفات زراعی و مورفولوژیکی مورد مطالعه، شامل طول و عرض برگ (سانتی‌متر)، تعداد برگ، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، شاخص کلروفیل، تعداد روز تا گلدهی، ضریب سطح برگ و شاخص شکل برگ بودند. برای انجام کلیه محاسبات آماری، از نرم‌افزار SAS و برنامه لاین × تستر استفاده گردید.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای کلیه صفات مورفولوژیک و زراعی مورد مطالعه، نشان داد که اثر تیمارها برای صفات ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گلدهی در سطح احتمال یک درصد و برای صفت تعداد برگ در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار آماری بودند. در ادامه، برای صفاتی که اثر تیمارها در آن‌ها، دارای اختلاف معنی‌دار بود، آزمون تجزیه لاین × تستر انجام شد. براساس نتایج تجزیه واریانس لاین × تستر، معنی‌دار بودن اثر والدین، اثر تلاقی و برهم‌کنش والدین × تلاقی‌ها برای کلیه صفات مورد مطالعه، نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی بین ارقام والدینی و تلاقی‌های آن‌ها و هتروزیس معنی‌دار از نظر کلیه صفات مورد بررسی می‌باشد. بررسی سهم نسبی لاین‌ها، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر از واریانس کل، نشان داد که از نظر همه صفات مورد مطالعه، سهم اثر متقابل لاین × تستر از واریانس کل، بیشتر از سهم لاین‌ها و نیز تسترها از واریانس کل بود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. براساس نتایج ترکیب‌پذیری عمومی والدین، لاین Coker 371G و تستر Cocker176 (CMS) دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند، که از این لاین‌ها و تسترها می‌توان به‌عنوان والدین در برنامه‌های اصلاحی توتون بهره گرفت. براساس نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی، هیبرید K394 × MN 944 (CMS) به‌دلیل دارابودن ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر شاخص کلروفیل و هیبرید NC60 × Coker 374 (CMS) نیز به‌دلیل ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر ارتفاع بوته و درصد هتروزیس مثبت، می‌توانند برای تولید توتون هیبرید نرعیتم مورد استفاده قرار گیرند. نتایج برآورد اجزای واریانس ژنتیکی نشان داد که در صفات تعداد برگ، ارتفاع بوته و تعداد روز تا گلدهی، واریانس افزایشی نقش اصلی داشته و روش گزینش از میان نسل‌های در حال تفکیک، مناسب می‌باشد. در حالیکه صفت شاخص کلروفیل، بیشتر تحت تأثیر واریانس غیرافزایشی بود، لذا برای بهبود این صفت، تولید هیبرید توصیه می‌شود.

کلید واژگان: اثرات ژنی، توتون، لاین × تستر، هیبرید نرعیتم

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

منبع: شازده احمدی، م.، کیانی، غ. و باقری، ن. (۱۴۰۴). برآورد ترکیب‌پذیری، هتروزیس و اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون گرمخانه‌ای، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۶ (۲)، ۲۷۰-۲۵۵. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145086.1187>



مقدمه

توتون با نام علمی (*Nicotiana tabacum* L.)، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی، صنعتی و اقتصادی در بسیاری از کشورهای دنیاست که ارزش اقتصادی آن به‌طور عمده به برگ‌های آن مربوط می‌شود. توتون، گیاهی یکساله و آلوتراپلوئید و با $(2n = 4x = 48)$ کروموزوم، از خانواده بادمجانیان (Solanaceae) بوده و به‌عنوان یک گیاه مدل در تحقیقات بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Davis & Nielson, 1999). منشأ جنس *Nicotiana* از آمریکای جنوبی بوده و شامل ۶۴ گونه می‌باشد. توتون‌های امروزی (*N. tabacum*)، از طریق هیبریداسیون بین گونه-ای بین *N. sylvestris* ($2n = 24$) و *N. tomentosiformis* ($2n = 24$) و سپس دوبرابر شدن خودبخودی کروموزوم‌ها به‌دست آمدند (Lewis, 2020). توتون، به‌واسطه داشتن نیکوتین در ساخت آفتکش‌های آلی و نیز در ساخت برخی داروها بکار می‌رود، اما مصرف عمده آن در صنعت دخانیات است. همچنین توتون یکی از مهم‌ترین گیاهان برای زراعت مولکولی است و برای تولید مواد مهم تجاری از جمله داروها و واکسن‌ها بسیار امیدوار کننده است (Michael Moore et al., 2012).

براساس آمار سازمان خواربار جهانی (فائو) در سال ۲۰۲۴ میلادی، کشورهای چین، برزیل، آمریکا و هند، کشورهای مهم تولید کننده توتون در جهان بودند (FAOSTAT, 2024). توتون، از لحاظ خصوصیات گیاه‌شناسی، ژنتیکی، نیازهای زراعی، عمل‌آوری، اجزای متشکله کیفیت و استفاده‌های تجاری، تیپ‌های متفاوتی دارد و به سه تیپ مهم گرمخانه‌ای، هواخشک و شرقی طبقه‌بندی می‌شود. توتون‌های تیپ گرمخانه‌ای، بیشترین سطح زیر کشت را در ایران داشته و از نظر خصوصیات ظاهری برگ، جزو توتون‌های برگ درشت می‌باشند. این توتون‌ها، مزه خاصی به دود سیگار می‌دهند و از آن‌ها برای تهیه سیگار استفاده می‌شود (Zamani, 2010). توتون (*N. tabacum* L.)، یک گیاه خودگرد افشان است و ظرفیت بالایی برای تولید هتروزیس دارا می‌باشد. هتروزیس، پدیده‌ای است که هیبریدهای F_1 حاصل از تلاقی دو والد نامشابه، از نظر صفات مختلف، نسبت به والدین یا والد برتر، برتری نشان می‌دهند. این برتری یا قدرت هیبرید (Hybrid vigor)، فقط در نسل F_1 دیده می‌شود و پس از آن، در نسل دوم

و نسل‌های بعدی، به علت خودباروری و تفرق صفات کاهش می‌یابد (Choukan, 2008).

قیمت نسبتاً بالای بذور هیبرید، به‌دلیل داشتن خصوصیات کمی و کیفی خوب، درآمد و عملکرد بالایی را برای کشاورزان ایجاد می‌کنند. در این خصوص، تحقیقات متعددی بیان نمودند که هتروزیس در هیبریدهای F_1 توتون، منجر به بهبود صفاتی از جمله افزایش جثه و بنیه، رشد و تکامل بهتر، زودرسی، افزایش عملکرد، درآمد، افزایش سازگاری و مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده شده است (Carvalho et al., 2021). دستیابی به یک هتروزیس برتر به مهارت اصلاح‌گر در انتخاب والدین تلاقی و روش مورد استفاده جهت اصلاح برای بهبود صفات مختلف در توتون باز می‌گردد. زیرا ظهور ویژگی‌های مطلوب و عملکرد بالای هیبریدهای F_1 ، بیانگر ترکیب‌پذیری مناسب والدین تلاقی‌ها می‌باشد. هیبریداسیون یا دورگ‌گیری، متداول‌ترین روش ایجاد واریته‌های جدید است و انتخاب والدین مناسب، مهم‌ترین مرحله محسوب می‌شود (Wricke & Weber, 1986). انتخاب یک لاین یا رقم برای استفاده به‌عنوان والد تلاقی در یک هیبرید، توسط توانایی آن در تولید نتاج مناسب در تلاقی‌ها تعیین می‌شود، که به آن ترکیب‌پذیری (Combining ability) می‌گویند. ترکیب‌پذیری عمومی (GCA)، به‌مفهوم قابلیت تولید عملکرد هر لاین، در تلاقی با سایر لاین‌ها بوده و اثر افزایشی ژن را ارزیابی کرده و ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA)، بیانگر عملکرد دو لاین خالص در یک ترکیب هیبریدی است که هیبرید حاصل از دو والد مشخص، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و اثر غیرافزایشی ژن را ارزیابی می‌کند. برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، به اصلاح‌گران کمک می‌کند تا درباره برنامه‌های اصلاحی و گزینش ژنوتیپ‌ها، تصمیم‌گیری دقیق‌تر نمایند (Farsi & Bagheri, 2013).

از جمله روش‌هایی که به‌منظور مطالعه ساختار ژنتیکی، ترکیب‌پذیری و شناسایی لاین‌های والدینی استفاده می‌شود، روش تجزیه لاین $\times$ تستر می‌باشد. روش تجزیه لاین $\times$ تستر، که اولین بار توسط Kempthorne (1957) ارائه شد، یک روش توسعه یافته از تاپ کراس است که در آن، به جای یک تستر، چندین تستر بکار می‌رود. در این روش، از چندین ژنوتیپ به‌عنوان تستر جهت برآورد ترکیب‌پذیری‌های عمومی و خصوصی والدین و همچنین، انواع

در پژوهشی دیگر، ترکیب‌پذیری ژنتیکی و هتروزیس در ۳۶ هیبرید نرعیق توتون گرمخانه‌ای و ۱۲ والد آن‌ها با استفاده از روش لاین × تستر ارزیابی شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مختلف مورد بررسی نشان داد که بین والدین و تلاقی‌ها در همه صفات، اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج تجزیه ترکیب‌پذیری نشان داد که هیبریدهایی که والدین آن‌ها دارای ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بوده و تلاقی‌های آن‌ها دارای SCA مثبت و معنی‌دار و دارای هتروزیس مثبت و بالا بودند، می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی و تولید هیبرید نرعیق مورد استفاده قرار گیرند (Salavati Meybodi et al., 2010).

Sadeghi و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی اثر محیط بر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، ۵ ژنوتیپ توتون گرمخانه‌ای با روش نیمه دی‌آل تلاقی داده و ۱۰ هیبرید F_1 حاصل را به‌همراه پنج لاین والدینی، در دو شرایط (نرمال و تنش خشکی) و در دو منطقه تیرتاش و رشت، ارزیابی نمودند. نتایج تجزیه دی‌آل در همه محیط‌ها برای همه صفات، حاکی از معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ با محیط بوده است که ضرورت محاسبه جداگانه اثرات GCA را در هر محیط بیان می‌کند. به‌طور کلی، نسبت GCA به SCA برای همه صفات به‌جز طول برگ در هر دو محیط معنی‌دار بود که بیانگر نقش اثرات افزایشی در توارث این صفات می‌باشد. در پژوهشی Bharathi و همکاران (۲۰۲۰)، صفات عملکردی و کیفی را در توتون با استفاده از روش لاین × تستر بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و اجزای عملکرد، اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نسبت GCA به کل واریانس ژنتیکی، نشان دهنده عمل غیرافزایشی زن برای همه صفات، به‌جز ارتفاع بوته و روز تا رسیدگی بود. نتایج نشان داد که روش انتخاب دوره‌ای متقابل (reciprocal recurrent selection)، بهترین روش برای بهبود پتانسیل عملکرد خواهد بود.

نتایج مطالعه هتروزیس و وراثت‌پذیری بر روی خصوصیات مورفولوژیکی و شیمیایی توتون، نشان داد که پارامترهای مورفولوژیکی و شیمیایی ژنوتیپ‌ها، دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد بودند. میانگین عرض برگ، طول برگ، محتوای نیکوتین، عملکرد و محتوای فنولی هیبریدها، بیشتر از والدین آن‌ها بود. نتایج را می‌توان به تأثیر کم عوامل محیطی و عملکرد بالای

اثرات ژنی استفاده می‌شود (Farshadfar, 1998). جهت اجرای تجزیه لاین × تستر باید والدین به همراه نتایج تلاقی‌ها، یعنی لاین‌ها و تسترها در یک آزمایش تکراردار در شرایط مزرعه با استفاده از یک طرح آماری مناسب، مانند طرح بلوک‌های کامل تصادفی ارزیابی شوند. از ویژگی‌های مهم این روش، به‌دست آوردن اطلاعات ژنتیکی کافی از طریق استفاده از تعداد بیشتری از ارقام و اجرای تعداد کمتری تلاقی و صرف وقت و هزینه کمتر در مقایسه با سایر روش‌های ژنتیک کمی نظیر تجزیه دی‌آل است (Moghaddam & Amiri oghan, 2010).

در این راستا، مطالعات مختلفی به‌منظور بررسی ترکیب‌پذیری و هتروزیس در گیاهان مختلف از جمله توتون انجام شده است.

Tuan & Kient (۲۰۰۱)، ۱۰ ژنوتیپ خالص توتون گرمخانه‌ای را با ۵ واریته نرعیق تلاقی داده و از روش لاین × تستر برای ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد رقم نرعیق RGH4 بالاترین ترکیب‌پذیری عمومی را برای عملکرد داشته و ۱۳ تلاقی از ۵۰ تلاقی انجام شده، هتروزیسی در حد استاندارد داشتند. درنهایت، آن‌ها ۴ تلاقی را برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد پیشنهاد کردند، به‌طوری‌که دو تلاقی معادل ۱۰ درصد هتروزیس و مقاومت به بیماری ویروس موزاییک توتون (TMV) نشان دادند. در پژوهشی، هتروزیس، ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در ارقام توتون تیپ هواخشک در ۲۰ هیبرید F_1 به‌همراه ۲ ژنوتیپ والدین با استفاده از روش لاین × تستر ارزیابی گردید. نتایج تجزیه واریانس براساس روش لاین × تستر نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد برگ و درصد قند، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. براساس نتایج تجزیه SCA، هیبریدهای $BA1 \times BNC$ و $21-3 \times B21-103$ به‌دلیل ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر عملکرد و درصد هتروزیس نسبت به والد برتر به‌ترتیب، به‌میزان ۱۸ و ۵/۳ درصد و هیبریدهای $BCE \times B.B.16A$ و $BC21-103$ به‌ترتیب، به‌میزان ۱۲/۶ و ۵/۳ درصد می‌توانند برای تولید توتون هیبرید نرعیق مورد استفاده قرار بگیرند (Hosseinzadeh Fashalami et al., 2015).

هیبرید نرعیق F₁ به همراه ۸ والد یعنی ۴ لاین و ۴ تستر، به همراه دو شاهد (K326 و TC100)، در مجموع با ۲۶ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. این تحقیق، در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ شمالی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا اجرا گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی، ۲۰ مترمربع و فواصل کاشت ۱۰۰ × ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ (قطره‌ای) و با فاصله خروجی روزنه‌های ۵۰ سانتی-متری انجام شد. کوددهی با کودهای نیتروژن از منبع نیترات فسفات آمونیوم، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم براساس نتایج آزمون خاک، به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. عملیات وجین و کنترل علف‌های هرز، سله شکنی و خاک‌دهی پای بوته در طی دو مرحله انجام شد.

صفات آگرومورفولوژیک توتون، شامل طول و عرض برگ (سانتی‌متر)، تعداد برگ، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، شاخص کلروفیل، تعداد روز تا گل‌دهی، ضریب سطح برگ، شاخص شکل برگ، در مزرعه ثبت و اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل در برگ (از دستگاه SPAD-502) استفاده شد. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، از نمونه‌های تصادفی ۱۰ بوته در هر کرت استفاده شد. شاخص شکل برگ، از رابطه (طول برگ / عرض برگ = شاخص شکل برگ) به دست آمد.

ضریب سطح برگ، از رابطه‌ی زیر محاسبه شد که در آن ۰/۷۸۵ ضریب ثابت برای تفاوت شکل برگ توتون است:

$$\frac{0.785 \times \text{تعداد برگ} \times \text{عرض برگ} \times \text{طول برگ}}{\text{فاصله بین بوته‌های روی ردیف} \times \text{فاصله بین ردیف‌ها}}$$

داده‌های جمع‌آوری شده از این تحقیق، در صورت نرمال نبودن، با تبدیل زاویه‌ای ($\text{Arc sin } \sqrt{x}$) نرمال‌سازی شدند. تجزیه واریانس، براساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده نرم افزار SAS ver 9.1 صورت گرفته و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. سپس، برای صفاتی که اثر تیمار (ژنوتیپ) در آن‌ها، دارای اختلاف معنی‌دار آماری بود، برآورد پارامترهای ژنتیکی براساس روش تجزیه لاین × تستر انجام گردید

هیبریدها نسبت داد (Kinay & Kurt, 2022). در مطالعه-ای، اثرات GCA، SCA، هتروزیس و روابط بین آن‌ها با استفاده از تجزیه لاین × تستر در توتون‌های گرمخانه‌ای ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که هیبریدهایی که والد ماده آن‌ها دارای GCA بالا بوده است، آن هیبریدها دارای SCA و هتروزیس بالایی بودند. این امر، نشان دهنده توانایی والد ماده در انتقال آلل‌های با اثرات افزایشی به نتایج خود می-باشد که در واقع، به اثرات GCA برای انتخاب والدین جهت هیبریداسیون تأکید می‌نماید (Lohitha et al., 2010).

در مطالعه‌ای، چند هیبرید نرعیق سیتوپلاسمی (CMS) توتون گرمخانه‌ای را جهت برآورد هتروزیس استاندارد برای عملکرد و اجزای آن و روابط متقابل آن‌ها، بررسی شدند. آن‌ها، ۴ هیبرید نرعیق امیدبخش توتون گرمخانه‌ای به نام‌های CMS7 × A4، CMS6 × A4، CMS10 × A4 و CMS2 × CY142 شناسایی نمودند که دارای هتروزیس مثبت و بالایی برای صفت عملکرد برگ خشک بودند. همچنین، اثر مثبت و معنی‌دار بین صفات ارتفاع بوته با عملکرد برگ خشک و اثر غیرمستقیم منفی بین صفات تعداد برگ، با طول بین گره‌ها و سطح برگ مشاهده شد (Nanda et al., 2022).

پژوهش حاضر، با هدف برآورد ترکیب‌پذیری عمومی، خصوصی، هتروزیس و اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون گرمخانه‌ای، از طریق تجزیه لاین × تستر انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد

در این تحقیق، مواد گیاهی شامل ۸ ژنوتیپ بود که از میان آن‌ها، ۴ ژنوتیپ مربوط به ارقام نر بارور به نام‌های (۱) K394، (۲) Cocker 371 G، (۳) NC60 و (۴) K346 به عنوان لاین (والد پدری) و ۴ ژنوتیپ مربوط به ارقام نرعیق سیتوپلاسمی (CMS) به نام‌های (۵) Coker176، (۶) MN944، (۷) K326 و (۸) Cocker347 به عنوان تستر (والد مادری) بوده است. پس از کاشت والدین (لاین‌ها و تسترها) در مزرعه، هر یک از لاین‌ها با هر یک از تسترها به طور جداگانه تلاقی داده شده و عمل دورگ‌گیری انجام شد و ۱۶ هیبرید نرعیق F₁ حاصل شد (جدول ۱). سپس، به منظور ارزیابی قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی، خصوصی، هتروزیس و اجزای واریانس ژنتیکی، تعداد ۱۶

نحوه محاسبه وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، برای صفات مورد بررسی، براساس روابط زیر بود.

$$h^2_B = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_g + \frac{\sigma^2_e}{r}} = \frac{\sigma^2_A + \sigma^2_D}{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \frac{\sigma^2_e}{r}} \quad (\text{وراثت‌پذیری عمومی})$$

$$h^2_N = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_g + \frac{\sigma^2_e}{r}} = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \frac{\sigma^2_e}{r}} \quad (\text{وراثت‌پذیری خصوصی})$$

برآورد هتروزیس در هیبریدهای مورد مطالعه از طریق هتروزیس براساس میانگین والدین (هتروزیس نسبی) و هتروزیس براساس والد برتر (هتروبیلتیوزیس) مطابق روابط زیر محاسبه شد (Tavassoli, 2007).

$$(RH) \text{ Relative Heterosis} = \frac{F1-MP}{MP} \times 100$$

$$(HB) \text{ Heterobeltiosis} = \frac{F1-HP}{HP} \times 100$$

که در این روابط، F_1 میانگین هیبریدها، MP میانگین والدین و HP میانگین والد برتر می‌باشد. والد برتر در هر تلاقی والدی در نظر گرفته شد که بیش‌ترین میانگین صفت را نشان داد. برای انجام کلیه محاسبات آماری در این تحقیق، از نرم‌افزار SAS و برنامه لاین $\times$ تستر استفاده گردید.

نتایج و بحث

تلاقی‌های انجام شده بین لاین‌ها و تسترهای توتون جهت تولید ۱۶ هیبرید نرعیتم F_1 در جدول ۱ نشان داده شده است.

(Singh & Chaudhary, 1979; Farshadfar, 1998). در تجزیه اثرات تلاقی به اجزای آن و محاسبه واریانس ژنتیکی، افزایشی و غالبیت با فرض $F=1$ از روش (Kempthorn, 1957) استفاده گردید. برای آزمون اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها از آزمون t استفاده شد. نحوه محاسبه واریانس‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی (با فرض عدم وجود اثر متقابل اپیستازی)، براساس روابط زیر بود (Singh & Chaudhary, 1979).

$$\text{Cov.H.S. (average)} = \frac{1}{r(2lt-1-t)} \left[\frac{(1-l)(M_l) + (t-1)(M_t)}{1+t-2} - M_{lxt} \right]$$

$$\sigma^2_{GCA} = \text{CovHS} = \left(\frac{1+F}{f}\right) \sigma^2_A$$

$$\sigma^2_{sca} = \frac{M_{lxt} - M_e}{r}$$

$$\sigma^2_{SCA} = \left(\frac{1+F}{f}\right)^2 \sigma^2_D$$

در این روابط، متوسط کوواریانس نتاج نیمه خواهری، M_t ، M_l و M_e به‌ترتیب واریانس‌های لاین، تستر، لاین $\times$ تستر و خطا، t و l به‌ترتیب تعداد تکرار، تعداد لاین و تعداد تستر، σ^2_{GCA} و σ^2_{SCA} به‌ترتیب واریانس‌های GCA و SCA ، σ^2_A و σ^2_D به‌ترتیب واریانس‌های افزایشی و غالبیت و F نیز ضریب خویش‌آمیزی است. از آنجایی که در مطالعه حاضر، والدین تلاقی‌ها از نوع لاین‌های خالص بودند، لذا ضریب خویش‌آمیزی آن‌ها یک ($F=1$) در نظر گرفته شد و واریانس‌های ژنتیکی افزایشی و غالبیت براساس آن محاسبه شدند. درجه غالبیت متوسط از رابطه $\bar{a} = \sqrt{\frac{2\sigma^2_D}{\sigma^2_A}}$ محاسبه گردید. ضریب بیکر از رابطه $\frac{2\sigma^2_{gca}}{(2\sigma^2_{gca} + \sigma^2_{sca})}$ برآورد شد.

جدول ۱- تلاقی‌های انجام شده بین ۴ لاین با ۴ تستر براساس روش لاین × تستر

ردیف	شماره تلاقی	تلاقی
۱	۱۵	K394 × Cocker 176 (CMS)
۲	۱۶	K394 × MN 944 (CMS)
۳	۱۷	K394 × K326 (CMS)
۴	۱۸	K394 × Cocker 347 (CMS)
۵	۲۵	Cocker 371 G × Cocker 176 (CMS)
۶	۲۶	Cocker 371 G × MN 944 (CMS)
۷	۲۷	Cocker 371 G × K326 (CMS)
۸	۲۸	Cocker 371 G × Cocker 347 (CMS)
۹	۳۵	NC 60 × Cocker 176 (CMS)
۱۰	۳۶	NC 60 × MN 944 (CMS)
۱۱	۳۷	NC60 × K326 (CMS)
۱۲	۳۸	NC60 × Cocker 347 (CMS)
۱۳	۴۵	K346 × Cocker 176 (CMS)
۱۴	۴۶	K346 × MN944 (CMS)
۱۵	۴۷	K346 × K326 (CMS)
۱۶	۴۸	K346 × Cocker 347 (CMS)

تجزیه واریانس

اولین مرحله در تجزیه لاین × تستر عبارت است از انجام تجزیه واریانس طرح مورد استفاده و آزمون معنی‌دار شدن تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌های متشکل از هیبریدها و والدین، که اگر این تفاوت‌ها معنی‌دار باشد، تجزیه لاین × تستر انجام می‌شود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مورفولوژیک و زراعی مورد مطالعه در این پژوهش، نشان داد

که اثر تیمارها در صفات طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه، ضریب سطح برگ و شاخص شکل برگ غیرمعنی‌دار بودند، اما برای صفات ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل‌دهی در سطح احتمال یک درصد و برای صفت تعداد برگ در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (جدول ۲). بدین ترتیب، در ادامه، برای صفاتی که اثر ژنوتیپ‌ها (تیمارها) در آن‌ها، دارای اختلاف معنی‌دار بود، آزمون تجزیه لاین × تستر انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول برگ	عرض برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه	کلروفیل	تعداد روز تا گلدهی	ضریب سطح برگ	شاخص شکل برگ
بلوک	۲	۳۹/۰۳	۱۱/۲۰	۵/۸	۲۶۷/۸	۳/۴	۴۶/۹	۰/۰۸	۴/۰۶	۰/۰۰۱۰
تیمار	۲۵	۲۳/۴ ^{ns}	۷/۰۶ ^{ns}	۷/۸ *	۱۸۸/۴ **	۳/۸ ^{ns}	۲۲۸/۹ **	۵/۱ **	۱/۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۳ ^{ns}
خطا	۵۰	۲۱/۴	۷/۶	۴/۴	۴۳/۰۹	۵/۷	۷/۹	۰/۲۳	۱/۳	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۸	۹/۳	۶/۷	۴/۲	۱۱/۰۴	۴/۰۳	۰/۵۶	۱۴/۲	۷/۳

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

می باشد (جدول ۳). در مطالعه Noori و همکاران (۲۰۲۰) که با هدف تخمین قابلیت ترکیب پذیری برخی صفات عملکردی و کیفی در گوجه فرنگی به روش لاین × تستر انجام شده است، معنی داری اثر ژنوتیپ، والدین، والدین × هیبریدها و هیبریدها برای صفات تعداد روز تا اولین گل دهی، زودرسی، ارتفاع بوته، عملکرد و برخی از صفات کیفی نظیر شکل میوه گزارش شده است که همسو با نتایج پژوهش حاضر می باشد.

اثر تلاقی ها به اجزای آن، یعنی لاین ها، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر تفکیک شد. بین لاین ها، از نظر صفات ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل دهی، اختلاف معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد. بین تسترها از نظر صفات شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل دهی، اختلاف معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد. معنی دار شدن اثر لاین ها و تسترها که به ترتیب والدین پدری و مادری هیبریدهای حاضر در این مطالعه هستند، نشان می دهد که آثار افزایشی ژن ها در صفات مربوطه مهم می باشند. نتایج مشابهی توسط (Billenkamp, 1997) گزارش شده است. اثر متقابل لاین × تستر نیز برای صفت ارتفاع بوته در سطح پنج درصد و برای صفات شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل دهی در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). هرگاه اثر لاین × تستر برای صفتی معنی دار شود، می تواند حاکی از واکنش متفاوت لاین ها در ترکیب با تسترهای مختلف و بیانگر نقش اثرات ژنی غیرافزایشی در کنترل آن صفات است (Singh & Chaudhary, 1979; Bharathi et al., 2020).

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس به روش لاین × تستر (جدول ۳)، بین ژنوتیپ ها از نظر کلیه صفات مورد بررسی، اختلاف معنی داری وجود داشت که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ ها بود. اثر والدین برای صفات ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد و برای صفات شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل دهی در سطح یک درصد معنی دار بود. معنی دار بودن اثر والدین برای صفات مذکور، حاکی از تنوع ژنتیکی خوب بین والدین هیبریدها دارد و در صورت انتخاب درست والدین با تنوع کافی، می توان مقدار صفت رقم هیبرید را بهبود بخشید (Mohsenzadeh Golfazani et al., 2012). اثر تلاقی ها برای همه صفات مورد مطالعه، به جز تعداد برگ در بوته، در سطح یک درصد معنی دار بود. معنی دار شدن اثر تلاقی (هیبرید) برای یک صفت، بدان معنا است که اثر غالبیت در معنی دار شدن ژنوتیپ ها نقش داشته و بسته به نوع صفت مورد بررسی، اجزای ژنتیکی مربوط به صفات نیز متفاوت خواهد بود. همچنین معنی دار شدن اثر تلاقی برای یک صفت، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی کافی بین هیبریدهای تولید شده از نظر صفات مورد بررسی و آزادی عمل بیش تر به نژادگر در انتخاب هیبرید برتر نیز می باشد (Salavati Meybodi et al., 2010). برهم کنش والدین × تلاقی ها برای کلیه صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی دار بود که این امر نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی بین ارقام والدینی و تلاقی های آن ها و هتروزیس معنی دار از نظر کلیه صفات مورد بررسی

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و زراعی توتون در ژنوتیپ های مورد مطالعه براساس تجزیه لاین × تستر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	تعداد برگ	ارتفاع بوته	کلروفیل	تعداد روز تا گل دهی
تکرار	۲	۷/۶۹ ^{ns}	۲۷۳/۳ ^{**}	۵۷/۳ ^{**}	۰/۲۲ ^{ns}	
تیمار (ژنوتیپ)	۲۳	۸/۴۱ [*]	۲۰۵/۱ ^{**}	۲۳۱/۱ ^{**}	۴/۰۸ ^{**}	
والدین	۷	۷/۴ ^{ns}	۱۴۵/۴ [*]	۶۳/۴ ^{**}	۶/۶ ^{**}	
والدین × تلاقی ها	۱	۴۷/۷ ^{**}	۱۶۰۳/۳ ^{**}	۸۴۵/۳ ^{**}	۴/۶ ^{**}	
تلاقی ها	۱۵	۶/۲ ^{ns}	۱۳۹/۷ ^{**}	۲۶۸/۴ ^{**}	۲/۸ ^{**}	
لاین ها	۳	۶/۷ ^{ns}	۲۴۰/۸ ^{**}	۲۳۳/۴ ^{**}	۲/۱ ^{**}	
تسترها	۳	۴/۸ ^{ns}	۹۱/۹ ^{ns}	۲۰۱/۸ ^{**}	۵/۲ ^{**}	
لاین × تستر	۹	۶/۵ ^{ns}	۱۲۱/۹ [*]	۳۰۲/۳ ^{**}	۲/۲ ^{**}	
خطا	۴۶	۴/۵	۵۲/۹	۸/۴	۰/۱۶	

^{ns} و ^{*}، ^{**}: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار است.

بررسی سهم نسبی لاین‌ها، تسترها و اثر متقابل لاین $\times$ تستر از واریانس کل، نشان داد که از نظر همه صفات مورد مطالعه، سهم اثر متقابل لاین $\times$ تستر از واریانس کل، بیشتر از سهم لاین‌ها و نیز تسترها از واریانس کل بود. از نظر اکثر صفات، سهم لاین‌ها در رتبه دوم و سهم تسترها از واریانس کل، دارای کمترین میزان بود (جدول ۴).

نتایج تحقیق Hosseinzadeh fashalami و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که از نظر اکثر صفات، سهم لاین‌ها از واریانس کل، دارای بیشترین مقدار بوده و سهم اثر متقابل لاین $\times$ تستر در رتبه دوم و سهم تسترها از واریانس کل بسیار ناچیز بود، که کمی با نتایج پژوهش حاضر مغایرت داشت.

جدول ۴- سهم نسبی (درصد) لاین‌ها، تسترها و لاین $\times$ تستر از واریانس کل به درصد در صفات مورفولوژیک و زراعی توتون

سهم از واریانس کل	تعداد برگ	ارتفاع بوته	کلروفیل	تعداد روز تا گل‌دهی
سهم لاین‌ها	۲۱/۶	۳۴/۴	۱۷/۳	۱۵/۲
سهم تسترها	۱۵/۴	۱۳/۱	۱۵/۰۳	۳۷/۱
سهم لاین $\times$ تستر	۶۲/۹	۵۲/۳	۶۷/۵	۴۷/۶

اجزای واریانس ژنتیکی

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی روی صفات مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار واریانس افزایشی (σ^2_A) مربوط به صفت شاخص کلروفیل بود. در صفات تعداد برگ، ارتفاع بوته و تعداد روز تا گل‌دهی، نسبت واریانس افزایشی به غیرافزایشی (σ^2_A/σ^2_D) بیشتر از یک شد که این امر حاکی از قابلیت انتقال مطلوب این صفت به نسل بعدی می‌باشد. لذا برای بهبود این صفات، گزینش (انتخاب) از بین نسل‌های در حال تفکیک، روش اصلاحی مناسبی خواهد بود. از سوی دیگر، بیش‌ترین مقادیر واریانس غالبیت (σ^2_D) نیز به صفت شاخص کلروفیل اختصاص داشت، که در این صفت، واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی بود (جدول ۵).

بزرگ‌تر بودن واریانس غالبیت از واریانس افزایشی و همچنین نسبت واریانس σ^2_A/σ^2_D کوچک‌تر از یک، نشان دهنده غالبیت اثر غیرافزایشی ژن برای صفت شاخص کلروفیل است. کمتر بودن واریانس افزایشی برای برخی صفات نشان می‌دهد که پتانسیل انتخاب برای این صفات زیاد نخواهد بود. لذا، بهترین روش اصلاحی برای اصلاح صفات مذکور، دورگ‌گیری و بهره‌برداری از هتروزیس می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که هم اثرات افزایشی و هم غیرافزایشی در کنترل صفات مورد مطالعه نقش دارند (جدول ۵). به‌طور مشابه، در پژوهشی که به‌منظور برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و قابلیت‌های

ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برخی صفات کمی در گوجه‌فرنگی به کمک روش تجزیه لاین $\times$ تستر انجام شد، به اهمیت آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مورد مطالعه اشاره کردند (Kiani & Golcheshmeh, 2023). همچنین، Shoaib-Deilami (2004)، در تحقیقی روی ۷ رقم توتون در قالب طرح نیمه دی‌آل، نیز به وجود هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مورد مطالعه اشاره کردند. برآورد کمتر از یک برای نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی و ضریب بیکر، برای اکثر صفات مورد مطالعه، حاکی از نقش مؤثر اثر غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی آن‌ها است. در تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین، نیز به نقش بیشتر واریانس SCA به واریانس GCA برای صفات زراعی در توتون اشاره شده است که این امر، حاکی از نقش بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در رابطه با صفات زراعی در توتون است (Carvalho et al., 2022). به‌طور مشابه، در پژوهش Moghaddaszadeh و همکاران (۲۰۱۹)، نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به خصوصی و ضریب بیکر برای تمام صفات، کمتر از یک برآورد گردید که حاکی از نقش مؤثرتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات می‌باشد.

که این امر با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به اینکه در کلیه صفات مورد مطالعه،

وراثت‌پذیری خصوصی نسبتاً پایین و وراثت‌پذیری عمومی بالایی مشاهده شد، این امر نیز می‌تواند نقش مؤثرتر اثرات غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مذکور را مورد تأیید قرار دهد (جدول ۵). در تحقیق انجام شده توسط سایر محققان نیز وراثت‌پذیری عمومی بالایی برای اکثر صفات مورد مطالعه مشاهده گردید (Kara & Esendal, 1995; Moghaddaszadeh *et al.*, 2019). در این پژوهش، درجه غالبیت متوسط برای صفات

شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل‌دهی، بیشتر از یک برآورد شد (جدول ۵)، که این امر می‌تواند حاکی از اثر فوق غالبیت و اهمیت بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات باشد. برای صفات تعداد برگ و ارتفاع بوته، درجه غالبیت متوسط، کمتر از یک محاسبه شد که حاکی از اهمیت بیشتر اثر افزایشی ژن-ها در کنترل ژنتیکی صفات مذکور می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵- برآورد اجزای واریانس ژنتیکی صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون

اجزای واریانس	تعداد برگ	ارتفاع بوته	کلروفیل	تعداد روز تا گل‌دهی
واریانس افزایشی	۰/۸۲	۲۳/۷	۳۱/۰۹	۰/۵۳
واریانس غالبیت	۰/۳۴	۱۱/۵	۴۸/۹	۰/۳۴
وراثت‌پذیری عمومی	۴۳/۸	۶۶/۶	۹۶/۵	۹۴/۱
وراثت‌پذیری خصوصی	۳۰/۹	۴۴/۹	۳۷/۵	۵۶/۸
درجه غالبیت متوسط	۰/۹۱	۰/۹۸	۱/۷۷	۱/۱۳
نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به خصوصی	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۱۵	۰/۳۷
نسبت واریانس افزایشی به غیر افزایشی	۲/۴۱	۲/۰۶	۰/۶۳	۱/۵۵
ضریب بیکر	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۶۱

ترکیب‌پذیری عمومی والدین (GCA)

یکی از معیارها برای شناسایی والدینی که بهترین ترکیب شونده برای صفتی خاص هستند، محاسبه ترکیب‌پذیری عمومی والدین می‌باشد. از طریق اندازه‌گیری GCA در تعدادی لاین و تستر، می‌توانیم متوسط توانایی یک والد برای تولید نتاج را تعیین کنیم. لذا اگر از بین تعدادی ژنوتیپ که به‌عنوان والدین تلاقی‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند، یکی از والدین برای صفتی، GCA معنی‌داری را نشان دهد، می‌تواند به‌عنوان والد مطلوب در تولید نتاج هیبریدی که به‌منظور بهبود صفت مورد نظر تولید می‌شود، مورد استفاده قرار گیرد (Xu *et al.*, 2004). بررسی تجزیه ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها (جدول ۶) نشان داد که در صفت تعداد برگ، همه لاین‌ها و تسترهای مورد بررسی، دارای ترکیب‌پذیری عمومی غیرمعنی‌دار بودند. برای صفت ارتفاع بوته، تستر Cocker 176 (CMS) و

ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار و تستر K326 (CMS)، ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را دارا بودند. لاین‌های Cocker 371G، NC60 و تستر K326 (CMS) از نظر شاخص کلروفیل، لاین Cocker 371G و تستر K326 (CMS) از نظر تعداد روز تا گل‌دهی، دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بوده و می‌توانند به‌عنوان یکی از والدین در برنامه‌های به‌نژادی توتون برای اصلاح صفات مذکور مورد استفاده قرار گیرند. لاین K346 و تسترهای MN944 (CMS) و Cocker 347 (CMS) از نظر صفت شاخص کلروفیل، به‌دلیل دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی منفی، قابل استفاده برای اصلاح این صفت نمی‌باشند. تستر Cocker 347 (CMS) در صفت تعداد روز تا گل‌دهی، نیز دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار بود، لذا این ارقام، قابلیت چندانی در انتقال صفات مذکور نداشته و باعث کاهش مقادیر این صفات در نتاج خود می‌گردند (جدول ۶).

جدول ۶- اثر ترکیب پذیری عمومی والدین برای صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون

والدین (لاین‌ها و تسترها)	تعداد برگ	ارتفاع بوته	کلروفیل	تعداد روز تا گل‌دهی
K394	۰/۴۹ ^{ns}	-۳/۳۰ ^{ns}	-۱/۵۰ ^{ns}	-۰/۶۷ ^{**}
Coker 371G	-۰/۸۶ ^{ns}	۱/۹۴ ^{ns}	۲/۹۹ ^{**}	۰/۹۲ ^{**}
NC60	۰/۴۸ ^{ns}	۲/۶۰ ^{ns}	۳/۶۲ ^{**}	-۰/۱۷ ^{ns}
K346	-۰/۱۱ ^{ns}	-۱/۲۵ ^{ns}	-۵/۱۱ ^{**}	-۰/۰۸ ^{ns}
Coker 176(CMS)	-۰/۱۳ ^{ns}	۴/۲۷ [*]	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}
MN944 (CMS)	۰/۲۰ ^{ns}	۲/۹۲ ^{ns}	-۳/۴۸ ^{**}	۰/۰۰ ^{ns}
K326 (CMS)	-۰/۹۴ ^{ns}	-۵/۵۵ [*]	۶/۱۷ ^{**}	۰/۴۲ ^{**}
Coker 347 (CMS)	۰/۸۷ ^{ns}	-۱/۶۴ ^{ns}	-۲/۸۶ ^{**}	-۰/۵۸ ^{**}
خطای استاندارد (SE)	۰/۶۱	۲/۰۹	۰/۸۴	۰/۱۱

ns و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار است.

ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها (SCA)

مقادیر محاسبه شده ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) ارقام در جدول ۷ نشان داده شده است. بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی نتایج حاصل از تلاقی‌ها نشان داد که برای صفات تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد برگ، همه هیبریدهای مورد مطالعه، دارای ترکیب‌پذیری خصوصی غیرمعنی‌دار بودند. برای صفات شاخص کلروفیل و ارتفاع بوته، به ترتیب هیبریدهای K394 × MN944

(CMS) و NC60 × Coker 347(CMS)، ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد را دارا بودند. با توجه به این‌که ترکیب‌پذیری خصوصی، سهم غیرافزایشی واریانس ژنتیکی را بیان می‌نماید، بنابراین تلاقی‌های مذکور می‌توانند در برنامه اصلاح و تولید توتون هیبرید نرعیتم که بر پایه واریانس ژنتیکی استوار است، مورد توجه قرار گیرند (جدول ۷).

جدول ۷- اثر ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها برای صفات مورفولوژیک و زراعی در ژنوتیپ‌های توتون.

شماره هیبرید	تلاقی‌ها	روز تا گل‌دهی	کلروفیل	ارتفاع بوته	تعداد برگ
۱۵	K394 × Coker 176 (CMS)	۰/۸۳ ^{ns}	۲ ^{ns}	۳/۰۷ ^{ns}	-۱/۷۲ ^{ns}
۱۶	K394 × MN 944 (CMS)	-۰/۳۳ ^{ns}	۱۶/۱۵ [*]	۷/۷۲ ^{ns}	۱/۶۵ ^{ns}
۱۷	K394 × K326 (CMS)	-۰/۴۲ ^{ns}	-۱۴/۲۷ ^{ns}	-۲/۱۱ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}
۱۸	K394 × Coker 347 (CMS)	-۰/۰۸ ^{ns}	-۳/۸۸ ^{ns}	-۸/۶۹ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}
۲۵	Coker 371 G × Coker 176 (CMS)	-۰/۷۵ ^{ns}	۶/۷۷ ^{ns}	-۱/۱۰ ^{ns}	۲/۱۹ ^{ns}
۲۶	Coker 371 G × MN 944 (CMS)	۰/۴۲ ^{ns}	-۳/۳۸ ^{ns}	۰/۸۵ ^{ns}	-۰/۱۴ ^{ns}
۲۷	Coker 371 G × K326 (CMS)	۰/۰۰ ^{ns}	-۰/۹۹ ^{ns}	۳/۷۵ ^{ns}	-۱/۵۷ ^{ns}

۰/۴۸ ^{ns}	-۳/۴۹ ^{ns}	-۲/۴۰ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	Cocker 371 G × Cocker 347 (CMS)	۲۸
ادامه جدول ۷					
-۰/۷۱ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	-۲/۷۹ ^{ns}	-۰/۳۳ ^{ns}	NC 60 × Cocker 176 (CMS)	۳۵
-۰/۳۸ ^{ns}	-۵/۹۴ ^{ns}	-۱۰/۰۴ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	NC 60 × MN 944 (CMS)	۳۶
۰/۱۰ ^{ns}	-۴/۷۱ ^{ns}	۴/۵۵ ^{ns}	-۰/۹۲ ^{ns}	NC60 × K326 (CMS)	۳۷
۰/۹۹ ^{ns}	۱۰/۲۸*	۸/۲۷ ^{ns}	۰/۷۵ ^{ns}	NC60 × Cocker 347 (CMS)	۳۸
۰/۲۴ ^{ns}	-۲/۳۴ ^{ns}	-۵/۹۹ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	K346 × Cocker 176 (CMS)	۴۵
-۱/۱۳ ^{ns}	-۲/۶۳ ^{ns}	-۲/۷۴ ^{ns}	-۰/۵۸ ^{ns}	K346 × MN944 (CMS)	۴۶
۱/۶۸ ^{ns}	۳/۰۷ ^{ns}	۱۰/۷۱ ^{ns}	۱/۳۳ ^{ns}	K346 × K326 (CMS)	۴۷
-۰/۷۹ ^{ns}	۱/۹۰ ^{ns}	-۱/۹۹ ^{ns}	-۱ ^{ns}	K346 × Cocker 347 (CMS)	۴۸
۱/۵	۴/۹۴	۷/۷۸	۰/۶۷	خطای استاندارد (SE)	

*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی دار است.

هتروزیس

نتایج هتروزیس مشاهده شده در بین هیبریدها نسبت به میانگین والدین و والد برتر در جدول ۸ نشان داده شده است. کمترین هتروزیس میانگین والدین و والد برتر برای صفت تعداد روز تا گل دهی که بیانگر زودرسی گیاه بوده و کاهش آن مدنظر اصلاح گران است، به ترتیب در هیبریدهای K394 × Cocker 347(CMS) و K346 × Cocker 176(CMS) مشاهده شد.

بیشترین هتروزیس والد برتر و میانگین والدین برای صفت شاخص کلروفیل، در هیبرید K346 × K326(CMS) مشاهده گردید. برای صفت تعداد برگ، بیشترین هتروزیس میانگین والدین در هیبرید K346 × Cocker 176(CMS) و بیشترین

هتروزیس والد برتر در هیبرید Cocker 371G × Cocker 176(CMS) و برای صفت ارتفاع بوته، بیشترین هتروزیس میانگین والدین و والد برتر در هیبرید Cocker 371G × MN944 (CMS) مشاهده شد (جدول ۸). در پژوهش Kher و همکاران (۱۹۹۸) که به منظور برآورد هتروزیس برای عملکرد و اجزای عملکرد در توتون به روش تجزیه لاین × تستر انجام شد، هتروزیس بالا و معنی داری برای همه صفات مورد مطالعه مشاهده گردید. در مواردی که عملکرد هیبرید F₁ کمتر از متوسط والدین یا ضعیف تر از والد برتر باشد، میزان هتروزیس منفی بدست می آید (Farsi & Bagheri, 2013)، که در پژوهش حاضر نیز برای برخی صفات، هتروزیس منفی برآورد گردید.

جدول ۸- درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین (RH) و هتروزیس نسبت به والد برتر (HB) در هیبریدهای مورد بررسی برای صفات مورفولوژیک و زراعی در توتون.

شماره هیبرید	تلاقی	تعداد برگ	ارتفاع بوته	کلروفیل	تعداد روز تا گلدهی
		HB	RH	HB	RH
۱۵	K394 × Cocker 176 (CMS)	۰	-۳/۲۲	۶/۵۳	۵/۸۴
۱۶	K394 × MN 944 (CMS)	۹/۶۷	۹/۶۷	۹/۶۳	۷/۱۴
۱۷	K394 × K326 (CMS)	۴/۹۱	۳/۲۲	-۴/۵۱	-۵/۱۲
۱۸	K394 × Cocker 347 (CMS)	۳/۱۲	۰	-۱/۹۳	-۲/۵۶
۲۵	Cocker 371 G × Cocker 176 (CMS)	۱۵/۷	۱۳/۷	۱۲/۳۲	۷/۸۹
۲۶	Cocker 371 G × MN 944 (CMS)	۵/۰۸	۰	۱۴/۲۸	۱۱/۵۶
۲۷	Cocker 371 G × K326 (CMS)	-۳/۴۴	-۶/۶۶	۷/۴۳	۱/۹۲
۲۸	Cocker 371 G × Cocker 347 (CMS)	۱/۶۹	-۶/۰۶	۸/۷۸	۳/۲
۳۵	NC 60 × Cocker 176 (CMS)	۳/۳۳	۰	۱۱/۰۳	۹/۲
۳۶	NC 60 × MN 944 (CMS)	۳/۲۲	۳/۲۲	۷/۴۸	۷/۴۸
۳۷	NC60 × K326 (CMS)	۱/۶۹	۰	-۰/۳۳	-۳/۲
۳۸	NC60 × Cocker 347 (CMS)	۶/۲۵	۳/۰۳	۱۲/۲	۸/۹
۴۵	K346 × Cocker 176 (CMS)	۱۲/۲۸	۱۰/۳۴	۹/۲۷	۴/۶
۴۶	K346 × MN944 (CMS)	۵/۰۸	۰	۱۰/۴۸	۷/۴
۴۷	K346 × K326 (CMS)	۱۰/۳۴	۶/۶۶	۵/۰۸	-۰/۶۴
۴۸	K346 × Cocker 347 (CMS)	۴/۹۱	-۳/۰۳	۷/۱۱	۱/۲۸

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها (والدین و نتاج حاصل از تلاقی آن‌ها) می‌باشد. براساس نتایج ترکیب‌پذیری عمومی والدین (لاین‌ها و تسترها)، لاین Coker 371G دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفات شاخص کلروفیل و تعداد روز تا گل‌دهی و لاین NC60 برای شاخص کلروفیل بودند. همچنین، تستر Cocker176 (CMS) دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای ارتفاع بوته و تستر K326 (CMS) برای صفات تعداد روز تا گل‌دهی و شاخص کلروفیل بوند. بنابراین، از این لاین‌ها و تسترها می‌توان به‌عنوان والدین در برنامه‌های اصلاحی توتون بهره گرفت. براساس نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی، هیبرید (CMS) MN 944 × K394 به‌دلیل دارابودن ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر شاخص کلروفیل و درصد هتروزیس مثبت و به‌میزان ۲۶/۳ درصد نسبت به میانگین والدین و ۱۸/۳ درصد نسبت به والد برتر در این صفت و هیبرید NC60 × Coker 374

(CMS) نیز به‌دلیل ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر ارتفاع بوته و درصد هتروزیس مثبت و به‌میزان ۱۲/۲ درصد نسبت به میانگین والدین و ۸/۹ درصد نسبت به والد برتر در این صفت، می‌توانند برای تولید توتون هیبرید نرعقیم مورد استفاده قرار گیرند. نتایج برآورد اجزای واریانس ژنتیکی نشان داد که در صفات تعداد برگ، ارتفاع بوته و تعداد روز تا گل‌دهی، واریانس افزایشی نقش اصلی داشته و نسبت واریانس افزایشی به غیرافزایشی در آن‌ها بیشتر از یک بود که روش گزینش از میان نسل‌های در حال تفکیک، روش اصلاحی مناسب برای صفات مذکور است. در حالی که صفت شاخص کلروفیل، بیشتر تحت تأثیر واریانس غیرافزایشی بود، لذا برای بهبود این صفت، تولید هیبرید توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش، جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز و همکاری در اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Bharathi, Y., Jaffarbash, S., & Manjunath, J. (2020). Line $\times$ Tester analysis for yield and quality characters in Natu tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(3), 764-768. <http://doi.org/10.37992/2020.1103.126>
- Billenkamp, N. (1997). Estimation of quantitative genetic parameters in a breeding population of flue – cured tobacco. CORESTA Meeting, Agronomy/Phytopathology, Montreux, AP16
- Carvalho, B. L., Lewis, R., Padua, J. S., Bruzi, A. T., & Ramalho, M. A. P. (2021). Combining ability of standardized indices for multi- trait selection in tobacco. *Science and Agrotechnology, Agricultural Sciences*, 12(1), 1-8. <http://doi.org/10.1590/1413-7054202145005521>
- Carvalho, B. L., Bruzi, A. T., Lewis, R., Padua, J. M. V., & Ramalho, M. A. P. (2022). Exploitation of heterosis in tobacco breeding in Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 22 (2), 1-7. <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n2a13>
- Choukan, R. (2008). Methods of Genetical analysis of quantitative traits in plant breeding. Ministry of Jihad- e-Agriculture, Agricultural Extension, Education and Research Organization Seed and Plant Improvement Institute, Chapter. 5, 83-95. (In Persian). ISBN; 978-964-520-133-1.
- Davis, D. L., & Nielson, M. T. (1999). Tobacco: Production, Chemistry and Technology. *Blackwell Science*: Malden, MA, pp: 480. ISBN: 978-0-632-04791-8
- Farshadfar, E. (1998). Application of biometrical genetics in plant breeding. Razi University Press, Kermanshah, 1, 528 pp. (In Persian)
- Farsi, M., & Bagheri, A. (2013). Principles of plant breeding. Iranian student book agency, Mashhad, Iran, Chapter. 10, 160-166. (In Persian)
- FAOSTAT, (2024). Food and agriculture organization of the united nations statistics. Retrieved from <http://www.Faostat.fao.org/site/562/default.aspx/>.
- Hosseinazadeh fashalami, N., Mahdavi, R., Salavati meybodi, M. R., Rahimsoorosh, H., Gholizadeh, Gh., Alinejad, R., & Sajjadi, A. (2015). Evaluating heterosis and combining ability of air Cured Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Genotypes Using Line $\times$ Tester Method. *Journal of Seedling and Seed Breeding*, 1(2), 325-337. (In Persian).
- Honarnejad, R., & Shoai-Deilami, M. (2004). Gene effects, combining ability and correlation of characteristics in F2 populations of burley tobacco cultivars (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Water and Soil Science* 8, 135-148. (In Persian).
- Kara, S. M., & Esendal, E. (1995). Heterosis and Combining ability analysis of some quantitative characters in Turkish tobacco. *Tobacco Research*, 21(1), 16-22.
- Kempthorne, O. (1957). An Introduction to Genetic Statistics. John Wiley and Nordskoy, Inc, London, Chapman and Hall, Ltd. 545 pp.
- Kher, H. R., Pathak, H. C., & Patel, A. D. (1998). Heterosis for yield and yield components in Bidi tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Over diverse cytoplasm. Abstract book of a tobacco symposium, India, 6-16.
- Kiani, Gh., & Golcheshmeh, S. (2023). Evaluation of genetic variance components and combining abilities of some quantitative traits in tomato cultivars using Line $\times$ Tester analysis. *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 711-722. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78350.1190>
- Kinay A., & Kurt, D. (2022). Heterosis and inheritance studies on morphological and chemical characters of tobacco. *Agronomy Journal*, 114 (2), 927-934. <https://doi.org/10.1002/agj2.21024>
- Lewis, R. S. (2020). *Nicotiana tabacum* L.: Tobacco. In Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants. Springer, Cham, 345-375. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1-9>
- Lohitha, K. S., Rangaiah, S., Devaraja, C., Pranesh, K. J., Ramesh, S. & Moha Roa, A. (2010). Studies on general combining ability, Specific combining ability, heterosis and their relationship in FCV tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Gregor Mendel Foundation Journal*, 1(3), 45- 49.
- Moghaddam, M. & Amiri Oghan, H. (2010). Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Parivar Publication, Tabriz, Iran. 415 pp. (In Persian).
- Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D., & Zare, N. (2019). Combining ability and heterosis for some agro-morphological traits in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Using Line $\times$ Tester mating design. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 42(1), 63-76. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.23241.1512>
- Mohsenzadeh Golfazani, M., Aalami, A., Samizadeh, H. A., Shoaie Daylami, M., & Talesh Sasani, S. (2012). Study of relationship between yield and yield components in tobacco genotype using path analysis method. *Journal of Crop Breeding*, 4(9), 26-40. <https://doi.org/20.1001.1.22286128.1391.4.9.3.0>
- Michael Moore, J., Bertrand, P., & Lahue, S. (2012). Official flue-cured Tobacco variety evaluation. *Journal of North Carolina university*, 31(2), 121-134.
- Nanda, C., Nagesh, p., ramakrishnan, S., Gangadhar, K., & Sarala, K. (2022). Heterosis and character association studies in CMS Hybrids of FCV tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Emergent Life Science Research*, 8(2), 104-112. <https://doi.org/10.31783/elsr.2022.82104112>

- Noori, M., Motallebi- Azar, A., Saidi, M., Panahandeh, J., Zare-Haghi, D., & Rasuli- Azar, S. (2020). Combining ability estimates for yield some traits in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) by Line $\times$ Tester. *Journal of Crop Breeding*. 11(32), 22-32. <http://doi.org/10.29252/jcb.11.32.22>
- Sadeghi, M., Samizadeh Lahiji, H. A., Javid, F., Fatehi, F. (2011). Study of the interaction between general and specific combining ability of Virginia tobacco genotypes and the environment. *Iranian Journal of Crop Plant Sciences*. 42 (3), 519-526. (In Persian).
- Salavati Meybodi, M. R., Hosseinzadeh Fashalmi, N., Abbasi Rostami, H., & Shahadati Moghadam, Z. (2010). Study of genetic combining ability and heterosis of improved flue-cured tobacco lines. Research workbook of Tirtash Research and Education Center, 105-122. (In Persian).
- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1979). Biometrical Methods in quantitative genetic analysis. Kalyani publishers, New Delhi, India. 318 pp.
- Tavassoli, A. (2007). Plant Breeding Principles and Applications. Published by Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. 244pp. (In Persian).
- Tuan T. N., & Kient. D. (2001). Development of flue-cured tobacco hybrids in Vietnam, *CORESTA Congress Meeting. Agronomy-Phytopathology Groups*, Cape Town, AP02
- Wricke, G., & Weber, W. E. (1986). Quantitative genetics and selection in plant breeding. *Helia* 23, 101-141.
- Xu, J., Yang, D., & Zhang, J. (2004). Diallel cross analysis of parent combining ability of flue-cured tobacco. *CORESTA Meeting, Tobacco Science & Technology*, 1(2), 29-32. ISSN.1002-0861
- Zamani, P. (2010). Agronomy and Curing of Tobacco. Beh Andishan publishers, Tehran, Iran. 160 pp. (In Persian).