Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 201-212

"Research Paper"

Estimation of Gene Action and Genetic Parameters of Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Sugar Beet (*Beta Vulgaris* L.) by Line × Tester Analysis

Dariush Taleghani[1], Abazar Rajabi[2], Ali Saremirad[2] and Saeed Darabi[3]

1- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: d.taleghani@areeo.ac.ir)
2- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Sugar Beet Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARREO). Shiraz, Iran
Received: 19 April, 2023 Accepted: 7 June, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: In crop breeding programs, comprehensive information is needed regarding the genetic structure of plant materials and their combinability. In this regard, the present study was carried out with the objectives of evaluating the general combining ability of parents and the specific combining ability of crosses, determining the nature and extent of gene action, and finally estimating the heritability of quantitative and qualitative traits of sugar beet hybrids by the analysis of line-tester crosses.

Material and Methods: The study was conducted as a line-tester crossing using nine lines and two testers of sugar beet. For this purpose, maternal lines were planted in the middle lines and pollinator lines were cultivated in two lateral lines and all the crossings were done by observing the points related to isolation. A number of 18 hybrids obtained from the line-tester cross were cultivated and investigated in the agricultural research station of Shiraz in randomized complete block design with four replications during the crop season of 2019-2020.

Results: The results of analysis of variance of root yield, sugar yield, white sugar yield, sugar content, white sugar content, sodium, potassium, harmful nitrogen, alkalinity coefficient, extraction coefficient of sugar and molasses sugar percentage showed that among studied hybrids, there is a significant difference at the 1% probability level in terms of all the traits except the two traits of sugar content and white sugar content. Line-tester analysis confirmed that the additive and non-additive effects of genes are involved in the expression and inheritance of root yield and sugar yield; However, in the genetic control of white sugar yield, sugar content, white sugar content, sodium, potassium, nitrogen, alkalinity coefficient, extraction coefficient of sugar and molasses sugar percentage, genes with non-additive effect have not played a role, and according to the significance of the general combining ability effect of the line or tester for the mentioned traits, only genes with additive effect are involved in the control. In total, from the used lines in the present study, 950123 and from the experimental testers, F-21121 had positive effects with regard to the improvement goals of sugar beet. S1-24 and F-21122 were associated with negative effects and caused a decrease in the breeding value of the traits.

Conclusion: Overall, obtained results showed the existence of diversity among hybrids derived from crossing between lines and testers. Based on the results, genes with both additive and non-additive effects are involved in the control of root yield and sugar yield, but in the inheritance of sugar yield, sodium, potassium, harmful nitrogen, alkalinity coefficient, extraction coefficient of sugar, and molasses sugar percentage, only genes with additive effect are involved. Considering that general combinability shows the additive effects of genes, so parents with high general combining ability also have a large additive effect that can be used in cultivar production.

Keywords: Baker ratio, Combining ability, Gene, Heritability, Sugar beet

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

برآورد عمل ژن و پارامترهای ژنتیکی برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) از طریق تجزیه لاین× تستر

داریوش طالقانی[۱]، اباذر رجبی[۲]، علی صارمی‌راد[۲] و سعید دارابی[۳]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: d.taleghani@areeo.ac.ir)
۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- بخش تحقیقات چغندرقند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۷
صفحه: ۲۰۱ تا ۲۱۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در برنامه‌های اصلاح گیاهان زراعی به اطلاعات جامعی در رابطه با ساختار ژنتیکی مواد گیاهی و نیز قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها نیاز است. در این راستا مطالعه حاضر با اهداف ارزیابی قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها، تعیین ماهیت و میزان عمل ژن و در نهایت برآورد وراثت‌پذیری صفات کمی و کیفی هیبریدهای چغندرقند از طریق تجزیه تلاقی لاین- تستر اجرا شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر به‌صورت تلاقی لاین- تستر با استفاده از نه لاین و دو تستر برگزیده چغندرقند انجام شد. به این منظور لاین‌های مادری در خطوط میانی و لاین‌های پدری در دو خط جانبی کشت شدند و با رعایت نکات مربوط به ایزولاسیون، کلیه تلاقی‌ها صورت پذیرفت. تعداد ۱۸ هیبرید حاصل از تلاقی لاین- تستر طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شیراز مورد کشت و بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس نشان داد که در بین هیبریدها از نظر کلیه صفات به‌جز دو صفت درصد قند ناخالص و خالص تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. تجزیه لاین- تستر مؤید آن بود که اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها به‌صورت توأم در بیان و توارث صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص دخیل هستند؛ اما در کنترل ژنتیکی صفات عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس ژن‌هایی با اثر غیر افزایشی نقشی بر عهده نداشته است و نظر به معنی‌داری اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین و یا تستر برای صفات مذکور، صرفاً ژن‌هایی با اثر افزایشی در کنترل این صفات دخالت دارند. در مجموع از لاین‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، لاین 950123 و از تسترهای آزمایشی، تستر F- 21121 اثرات مثبتی را با توجه به اهداف اصلاحی چغندرقند در پی داشتند. لاین S1- 24 و تستر F- 21122 در کل با اثرات منفی همراه بودند و سبب کاهش ارزش اصلاحی صفات گردیدند.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج به‌دست‌آمده مبین وجود تنوع میان هیبریدهای حاصل از تلاقی بین لاین‌ها و تسترهای تحت بررسی بود. بر اساس نتایج، در کنترل صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر ناخالص، ژن‌های با هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی دخیل هستند، اما در وراثت صفات عملکرد شکر خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس تنها ژن‌های با اثر افزایشی دخالت دارند. نظر به اینکه قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مبین اثرات افزایشی ژن‌ها است، بنابراین والدهایی که از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالایی برخوردارند، اثر افزایشی زیادی نیز به همراه دارند که می‌توان از آن‌ها در تولید ارقام بهره برد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری، چغندرقند، ژن، نسبت بیکر، وراثت‌پذیری

مقدمه

نظر به افزایش روزافزون جمعیت جهان، بشر با چالش‌هایی در زمینه امنیت غذایی و حفظ پایداری زیست‌محیطی روبرو است (Alexandratos & Bruinsma, 2012). چغندرقند پس از نیشکر دومین محصولی است که در جهان با هدف تولید شکر سفید برای مصرف انسان کشت می‌شود. ریشه این گیاه حاوی درصد بالایی از ساکارز است که ماده اولیه اصلی برای تولید شکر را تأمین می‌کند. تولید سالیانه ریشه چغندرقند در حدود ۲۷۸ میلیون تن است (FAO, 2021) که تقریباً به‌طور انحصاری جهت استخراج شکر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشورهای مختلفی سردمدار تولید شکر از چغندرقند هستند، اما در این رابطه اتحادیه اروپا یک تولیدکننده بزرگ تلقی می‌شود که حدود ۵۰ درصد از کل شکر را در سراسر جهان تولید می‌کند (Commission, 2021). می‌توان پیش‌بینی کرد که به دلیل نگرانی‌ها در مورد تغییرات آب و هوایی و لزوم مرحله گذر از مصرف سوخت‌های فسیلی به سمت سوخت‌های تجدیدپذیر، بازار جدیدی برای شکر در حال ظهور است؛ زیرا هم محققان و هم تولیدکنندگان تلاش می‌کنند تا استفاده از ساکارز را به صنایع فراتر از محصولات غذایی گسترش دهند. شکر حاصل از چغندرقند به‌عنوان ماده خام برای تولید سوخت‌های زیستی به‌ویژه اتانول است (Salazar-Ordóñez et al., 2013) که می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. در یک جامعه عاری از سوخت‌های فسیلی، منابع زیست‌توده باید به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که به معنای استفاده از زباله‌ها و پسماندها برای تولید محصولات زیستی است و در عین حال تأمین مواد غذایی را تضمین می‌کند (Commission, 2018; Mohr & Raman, 2013). در این راستا صنعت قند چغندرقند مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی تولید می‌کند که می‌توانند به طرق مختلف ارزش‌گذاری شوند. لذا با توجه به اهمیت چغندرقند اصلاح این گیاه برای بهبود عملکرد کمی و کیفی محصول می‌تواند نقش اساسی در تضمین امنیت انرژی غذایی و حتی انرژی سوختی داشته باشد؛ بنابراین، افزایش بهره‌وری چغندرقند و کارایی استفاده از منابع ژنتیکی با توسعه و آزادسازی هیبریدهای با عملکرد کمی و کیفی مطلوب برای حفظ عرضه جهانی غذا و انعطاف زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. اصلاح‌کنندگان محصولات زراعی به دنبال مناسب‌ترین مواد ژنتیکی برای اصلاح و راهی برای ارائه واضح نتایج هستند. در این مسیر اغلب اصلاحگران با مشکل گزینش والدین و تلاقی‌ها مواجه می‌گردند. در این رابطه به اطلاعات جامعی در رابطه با ساختار ژنتیکی والدین به‌کار رفته در تلاقی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

و نیز قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها مورد نیاز است. در سال ۱۹۴۲ اسپرگ و تاتوم (Sprague & Tatum, 1942) مفهوم قابلیت ترکیب را اصلاح نمودند و اصطلاح قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی را به‌کار بردند. در واقع ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی مرتبط با تیپ عمل ژن‌های دخیل در کنترل صفات هستند. ترکیب‌پذیری عمومی بخش افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی بخش غیر افزایشی واریانس کل را شامل می‌گردد که به‌میزان بالایی ناشی از انحرافات غالبیت و اپیستازی می‌باشد (Rojas & Sprague, 1952). برای تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی لاین‌ها، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که در این راستا می‌توان به طرح‌های دو والدی، تلاقی‌های چندگانه، تلاقی‌های آزمون، تجزیه لاین- تستر و طرح‌های دی‌آلل اشاره کرد (Nduwumuremyi et al., 2013). هدف اصلی این طرح‌ها علاوه بر درک وراثت صفات، تعیین قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها می‌باشد. برای نیل به این اهداف، معمولاً تجزیه لاین- تستر که یک نسخه اصلاح‌شده از طرح تاپ‌کراس است (Sharma, 2006) و برای اولین‌بار توسط کمپتورن (Kempthorne, 1957) ارائه شد، استفاده می‌شود. در حقیقت روش تجزیه لاین- تستر یکی از ابزارهای قدرتمند موجود برای تخمین اثرات ترکیب‌پذیری است که به گزینش والدین و تلاقی‌های مطلوب در اصلاح شجره‌ای کمک می‌کند (Jain & Sastry, 2012; Rashid et al., 2007). امکان حصول اطلاعات ژنتیکی کافی ضمن استفاده از تعداد زیاد رقم و تعداد محدود تلاقی، مهم‌ترین مزیت این روش در مقایسه با سایر طرح‌های ژنتیکی است. از سوی دیگر، در صورتی که والدین در آزمایش به کار رفته باشند، برآورد هتروزیس نیز با این روش قابل انجام است.

تحقیقات متعددی با اهداف مختلف جهت مطالعات ژنتیکی و تولید ارقام با پتانسیل ژنتیکی مطلوب در ذرت (Amin et al., 2014; Bekele & Rao, 2013; Elmyhum, 2013; Ghorbani et al., 2013; برنج (Mahesh et al., 2014)، جو (Pradhan et al., 2006; Rahimi et al., 2008; Amiruzzaman et al., 2008; Istipliler et al., 2015)، گندم (Abdel Ali Saremirad & Mostafavi, 2018b) و سورگوم (Nour et al., 2011; Fellahi et al., 2013; Thakare et al., 2014; Williams-Alanís et al., 2022) با استفاده از روش لاین- تستر انجام شده است. در رابطه با چغندرقند کاسیس و همکاران (Cacic et al., 1999) بیان کردند که در تمامی صفات کمی و کیفی چغندرقند به‌جز میزان ماده خشک، ژن‌های با اثر غالبیت نقش بیشتری ایفا می‌کنند. آن‌ها گزارش نمودند که نتایج حاصل از تلاقی یک والد با توانایی ترکیب‌پذیری عمومی بالا با یک والد با توانایی ترکیب‌پذیری عمومی پایین از توانایی ترکیب‌پذیری خصوصی بالایی برخوردار خواهند بود. دونی و همکاران (Doney et al., 1985) نشان دادند که تقسیم سلولی در ریشه چغندرقند به‌میزان قابل‌توجهی تحت کنترل اثر غالبیت ژنی قرار دارد. در مطالعه دیگری که به‌منظور بررسی تأثیر ژن‌ها در مقاومت به بیماری لکه برگی انجام شد (Orazizade et al., 2002)، مشخص گردید که در واکنش گیاهان به بیماری هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها دخیل هستند. نتایج مطالعه محمودی و عباسی (Mahmudi & Abbasi, 2018) نشان داد که تلاقی والد مادری حساس به ریزومانیا با والد پدری حائز ژن‌های مقاومت به بیماری‌های ریزومانیا، ریزوکتونیا و نماتد سیستی بهترین هیبرید را از نظر عملکرد در بین سایر تلاقی‌ها ایجاد کرد. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) هیبریدهای حاصل از تلاقی چهار والد مادری نر عقیم و ۱۰ والد پدری گرده‌افشان را از نظر تحمل به شوری تحت بررسی قرار دادند. برآورد اجزای ژنتیکی برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید نشان داد که در هر دو شرایط تنش شوری و نرمال سهم واریانس غالبیت نسبت به واریانس افزایشی بیشتر است و به‌طور کلی وراثت‌پذیری خصوصی صفات فیزیولوژیکی در شرایط تنش بیشتر بود، اما برای صفات عملکردی عکس این موضوع صادق بود. نتایج ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات عملکردی، روندی ناسازگار را در شرایط نرمال و تنش نشان داد. لذا هر دو قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای عملکرد هر یک از هیبریدها مهم هستند.

مطالعه حاضر با اهداف مختلفی اجرا شد که مهم‌ترین آن‌ها ارزیابی قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها، تعیین ماهیت و میزان عمل ژن و در نهایت برآورد وراثت‌پذیری صفات کمی و کیفی هیبریدهای چغندرقند از طریق تجزیه تلاقی لاین- تستر بود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تعداد نه لاین پدری برگزیده چغندرقند که از گروه‌های مختلف گزینش شده بودند، با دو لاین مادری در قالب تجزیه لاین- تستر در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند با یکدیگر تلاقی داده شدند (جدول ۱). کلیه تلاقی‌ها برای تولید بذر هیبرید با استفاده از گرده‌افشانی کنترل‌شده بین آن‌ها انجام شد. به این منظور لاین‌های مادری در خطوط میانی و لاین‌های پدری در دو خط جانبی کشت شدند و با رعایت نکات مربوط به ایزولاسیون، کلیه تلاقی‌ها انجام گردید. F1های حاصله در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شیراز طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفتند. این منطقه در ارتفاع ۱۴۸۴ متری از سطح دریا قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی آن عبارت از ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی می‌باشد.

تعداد ۱۸ هیبرید به‌دست‌آمده از تلاقی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شش خط به طول ۱۰ متر کشت گردیدند. فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات داشت مطابق روش‌های متداول هر منطقه انجام گرفت. مقادیر آب مصرفی بر اساس میزان تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A و با احتساب راندمان ۹۰ درصد محاسبه و به‌طور مساوی در کلیه کرت‌های آزمایشی توزیع شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک برگ مزارع با وجین دستی و نیز طی چند مرحله با سموم علف‌کش انجام گرفت. به‌منظور ردیابی و پیشگیری از حمله آفات چغندرقند، مزارع به‌صورت مرتب تحت بازدید قرار گرفت. در پایان فصل رشد در دهه اول آبان‌ماه، از چهار خط میانی با رعایت ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها به‌عنوان حاشیه، عملیات برداشت همراه با شمارش و توزین ریشه‌ها انجام شد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

جدول ۱- اسامی و مشخصات لاین‌ها و تسترهای برگزیده چغندرقند

Table 1. Specifications of the sugar beet lines and testers

ردیف Row	لاین/تستر Line/tester	مشخصات لاین/تستر Characters of line/tester
	line	
1	SB 27	Multigerm, resistant to rhizomania and cyst nematode
2	920760	Multigerm, resistant to rhizomania and cyst nematode
3	S1- 24	Multigerm, resistant to rhizoctonia rot
4	920128	Multigerm, resistant to rhizomania and rhizoctonia rot
5	SB 33	Multigerm, resistant to rhizomania and cyst nematode
6	SB 51	Multigerm, resistant to cercospora
7	HSF-14- P.35	Multigerm, drought tolerant
8	950123	Multigerm, drought tolerant
9	33866- 94	Multigerm
	tester	
1	F- 21121	Monogerm, bolting tolerant
2	F- 21122	Monogerm

سپس ریشه‌ها شسته شده و با استفاده از دستگاه خودکار ونما نمونه خمیر از آن‌ها تهیه گردید و در آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند از نظر ویژگی‌های کیفی شامل درصد قند ناخالص، نیتروژن مضره و عنصرهای سدیم و پتاسیم ارزیابی شده (Kunz et al., 2002) و در نهایت از مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت تخمین سایر ویژگی‌ها از قبیل عملکرد شکر، درصد قند ملاس، درصد قند خالص (Reinfeld et al., 1974)، عملکرد شکر سفید (Cook & Scott, 1993)، ضریب استحصال شکر و ضریب آلکالیته (Cook & Scott, 1993) به‌ترتیب بر اساس روابط ۱ تا ۶ استفاده شد:

رابطه ۱: $$SY = RY \times SC$$

رابطه ۲:

$$MS = 0.0343(K^{+} + Na^{+}) + 0.094(\text{alpha amino N}) - 0.31$$

رابطه ۳: $$WSC = SC - (MS + 0.6)$$

رابطه ۴: $$WSY = WSC \times RY$$

رابطه ۵: $$ECS = \left(\frac{WSC}{SC}\right) \times 100$$

رابطه ۶: $$ALC = \frac{K^{+} + Na^{+}}{N}$$

در این روابط، SY عملکرد شکر برحسب تن در هکتار، RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار، SC درصد قند برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، MS درصد قند ملاس برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، alpha amino N نیتروژن مضره برحسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، K^{+} پتاسیم برحسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، Na^{+} سدیم برحسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSC درصد قند خالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار، ECS ضریب استحصال شکر برحسب درصد شکر و ALC ضریب آلکالیته می‌باشد.

ابتدا بر روی داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار R تجزیه واریانس انجام شد. با توجه به تأیید وجود تنوع میان ژنوتیپ‌ها، محاسبه ترکیب‌پذیری والدین و تأثیرات ژنی آن‌ها با تجزیه لاین- تستر بر اساس روش پیشنهادی کمپتورن (Kemptorn, 1957) با استفاده از رابطه ۷ به‌وسیله نرم‌افزار R صورت پذیرفت.

رابطه ۷: $$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + r_k + e_{ijk}$$

در این رابطه، Y_{ijk} مقدار مشاهده شده صفت در تلاقی iام j و تکرار kام، μ میانگین جمعیت، g_i اثر ترکیب‌پذیری عمومی مربوط به لاین iام، g_j اثر ترکیب‌پذیری عمومی مربوط به تستر jام، s_{ij} اثر ترکیب‌پذیری خصوصی مربوط به تلاقی ijام، r_k اثرات تکرار و e_{ijk} اثرات محیطی می‌باشد. با استفاده از روش تجزیه لاین- تستر مجموع مربعات تلاقی‌ها به دو جز مربوط به قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی تفکیک شده و اثرات ترکیب‌پذیری عمومی برای هر لاین و تستر و ترکیب‌پذیری خصوصی برای تلاقی‌ها به ترتیب بر اساس روابط ۸، ۹ و ۱۰ محاسبه گردید. واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی طبق روابط ۱۱ و ۱۲ برآورد شد و از مقادیر به‌دست‌آمده برای آن‌ها، به‌منظور بررسی نوع عمل ژن در بیان هر یک از صفات مورد مطالعه و نیز برآورد مقادیر واریانس افزایشی و غیر افزایشی در ایجاد تنوع ژنتیکی هر یک صفات بر اساس روابط ۱۳ و ۱۴ استفاده شد. به‌کارگیری این روابط بر این فرض استوار است که لاین‌ها کاملاً اینبرد هستند، لذا واریانس افزایشی دو برابر واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و واریانس غیر افزایشی معادل با واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی در نظر گرفته شد.

رابطه ۸: $$GCA_i = \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X_{...}}{ltr}$$

رابطه ۹: $$GCA_j = \frac{X_{.j.}}{lr} - \frac{X_{...}}{ltr}$$

رابطه ۱۰: $$SCA_{ij} = \frac{X_{ij.}}{r} - \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X_{.j.}}{lr} + \frac{X_{...}}{ltr}$$

رابطه ۱۱: $$\sigma^2_{GCA} = \overline{covHS}$$

رابطه ۱۲: $$\sigma^2_{SCA} = \frac{MS_{line\times tester} - MS_e}{r}$$

رابطه ۱۳: $$\sigma^2_A = 2\sigma^2_{GCA}$$

رابطه ۱۴: $$\sigma^2_D = \sigma^2_{SCA}$$

در این روابط، GCA_i اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین iام، GCA_j اثر ترکیب‌پذیری عمومی تستر jام، S_{ij} اثر ترکیب‌پذیری خصوصی مربوط به تلاقی ijام، t ،l و r به ترتیب تعداد لاین، تستر و تکرار، σ^2_{GCA} واریانس ترکیب‌پذیری عمومی، $\overline{covHS}$ میانگین کوواریانس خانواده‌های ناتنی، σ^2_{SCA} واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی، $MS_{line\times tester}$ میانگین مربعات

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

برهمکنش لاین- تستر، MS_e میانگین مربعات خطا، σ_A^2 واریانس مربوط به اثر افزایشی و σ_D^2 واریانس مربوط به اثر غیر افزایشی می‌باشد. نسبت بیکر به‌منظور بررسی اهمیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در تعیین عملکرد نتاج بر اساس رابطه ۱۵ محاسبه گردید (Farshadfar, 1998).

رابطه ۱۵:
$$\text{Baker ratio} = \frac{(2 \times MS_{GCA})}{(2 \times MS_{GCA}) + MS_{SCA}}$$

در این رابطه MS_{GCA} و MS_{SCA} به‌ترتیب میانگین مربعات مربوط به ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی می‌باشد. درجه غالبیت با استفاده از رابطه ۱۶ برآورد گردید.

رابطه ۱۶:
$$D = \sqrt{\frac{\sigma_{SCA}^2}{\sigma_{GCA}^2}}$$

درصد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی به‌ترتیب به‌وسیله روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه شدند.

رابطه ۱۷:
$$h_b^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_p^2}$$

رابطه ۱۸:
$$h_n^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_p^2}$$

در این روابط h_b^2، σ_G^2، σ_p^2 و h_n^2 به‌ترتیب مربوط به وراثت‌پذیری عمومی، واریانس ژنتیکی، واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری خصوصی می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف مورد مطالعه شامل عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس نشان داد (جدول ۲) که در بین هیبریدها از نظر کلیه صفات به‌جز دو صفت درصد قند ناخالص و خالص تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. وجود تفاوت قابل ملاحظه در صفات مختلف، نشان‌دهنده تنوع برای این صفات و امکان گزینش از بین هیبریدها برای صفات مورد نظر می‌باشد. تنوع میان هیبریدهای به‌دست‌آمده از تلاقی با استفاده از روش تجزیه لاین- تستر به اجزای واریانس لاین، تستر و برهمکنش لاین- تستر تفکیک شد (جدول ۲). میانگین مربعات لاین برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، سدیم، نیتروژن، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس در سطح احتمال یک درصد و برای عملکرد شکر سفید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. میانگین مربعات تستر برای صفات عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، سدیم، پتاسیم و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و برای عملکرد ریشه، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد. برهمکنش لاین- تستر از میان صفات مورد مطالعه فقط برای دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد شکر تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد به همراه داشت. بر اساس نتایج، اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها به‌صورت توأم در بیان و توارث صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر دخیل هستند. عدم معنی‌داری برهمکنش لاین- تستر برای صفات عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس مؤید این امر است که در کنترل ژنتیکی این صفات، ژن‌های با اثر غیر افزایشی نقشی بر عهده نداشته‌اند و نظر به معنی‌داری اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین و یا تستر برای صفات مذکور، صرفاً ژن‌هایی با اثر افزایشی در کنترل این صفات دخالت دارند، این در حالی است که عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) گزارش کردند که صفات فیزیولوژیکی و صفات مرتبط با عملکرد توسط اثر غالبیت ژنی کنترل می‌شود. واکارو و همکاران (Vacaro et al., 2002) بیان داشتند که در اکثریت صفات، میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی بیشتر از میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی اهمیت دارد و این موضوع نقش ژن‌های با اثر افزایشی را در کنترل صفات نمایان می‌سازد. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در تحقیقات حیدری و همکاران (Heidari et al., 2006)، گل‌پرور و همکاران (Golparvar et al., 2012) و صارمی‌راد و مصطفوی (Saremirad & Mostafavi, 2018a) نیز معنی‌دار گزارش شده است. دهقانپور (Dehghanpour, 2013) نیز در مطالعه‌ای که با هدف برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی انجام داد، به نتایج مشابهی دست یافت. محمودی و عباسی (Mahmudi & Abbasi, 2018) بر اساس نتایج تحقیقاتی که انجام دادند، گزارش نمودند که میانگین مربعات لاین- تستر برای صفات کمی عملکرد ریشه و عملکرد شکر معنی‌دار شد، لذا اختلاف بین هیبریدها، ناشی از وجود برهمکنش لاین- تستر می‌باشد؛ بنابراین سهم اثر افزایشی در کنترل این صفات ناچیز است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۲) بیشترین میزان تنوع مشاهده‌شده در تلاقی‌ها از نظر کلیه صفات به‌جز میزان پتاسیم ناشی از تنوع میان لاین‌های آزمایشی می‌باشد. به بیان بهتر لاین‌های پدری دارای تنوع زیادی از نظر صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، سدیم، نیتروژن، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس هستند و بخش اعظمی از بیان صفات مذکور را در اختیار دارند. در خصوص میزان پتاسیم ریشه نتایج متفاوتی به‌دست آمد، به‌طوری‌که برخلاف سایر صفات مورد مطالعه، بخش قابل‌توجهی از این صفت تحت کنترل والد مادری (تستر) قرار داشت. سهم برهمکنش لاین- تستر از تنوع تلاقی‌ها در محدوده ۳/۷۵ درصد برای درصد قند خالص تا ۳۱/۲۰ درصد برای صفت عملکرد شکر قرار داشت. پس از اثر لاین، برهمکنش لاین- تستر بالاترین سهم را در بیان صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، میزان نیتروژن، ضریب آلکالیته و درصد قند ملاس از آن خود نمود. لذا با توجه به اهداف اصلاحی برای صفات مذکور، باید ضمن گزینش لاین مناسب، برهمکنش آن با والد مادری مدنظر قرار گیرد تا هیبریدهای مطلوبی به‌دست آید. محمودی و عباسی (Mahmudi & Abbasi, 2018) بیان کردند که برآورد سهم ناچیز اثرات والد مادری و پدری و سهم قابل توجه برهمکنش مادری- پدری در تولید هیبرید، مبین وجود اثر متفاوت لاین‌ها با گرده‌افشان‌های مختلف و در واقع بیانگر نقش اثر غالبیت ژنی است.

در رابطه با سهم واریانس‌های افزایشی و غیر افزایشی روند خاصی ملاحظه نگردید (جدول ۳). در تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز درصد قند ملاس، سهم واریانس غیر افزایشی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

بیشتر از واریانس افزایشی برآورد شد؛ اما برای درصد قند ملاس این موضوع متفاوت بود، یعنی سهم واریانس افزایشی ژن‌ها برابر با واریانس غیر افزایشی به دست آمد. واریانس‌های ناشی از ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی نیز این موضوع را تأیید کردند و نشان دادند، در همه صفات به‌جز درصد قند ملاس واریانس ترکیب‌پذیری عمومی کم‌تر از واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی است که بیانگر برتری اثر غیر افزایشی ژن‌های کنترل‌کننده این صفات می‌باشد. مطالعات پیشین (Adebayo et al., 2014; Betran et al., 2003; Makumbi et al., 2011) نیز گزارش کرده‌اند که اثرات غیر افزایشی ژن‌ها بر روی صفات مرتبط با عملکرد در مقایسه با اثرات افزایشی بیشتر است. نسبت بیکر اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها را به شکل آشکارتری نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که اگر این نسبت برای صفتی برابر یک باشد، به مفهوم آن است که آن صفت به‌صورت کامل توسط اثرات افزایشی ژن‌ها کنترل می‌گردد. در صورتی‌که این نسبت برابر ۰/۵ برآورد شود، نشان‌دهنده برابری اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل صفت می‌باشد. چنانچه این نسبت به پایین‌تر از ۰/۵ کاهش یابد، مبین نقش مؤثرتر و مهم‌تر اثرات غیر افزایشی (غالبیت، فوق غالبیت و اپیستازی) در کنترل صفت است (Baker, 1978). بر اساس این نسبت، اثر غیر افزایشی ژن‌ها نقش بیشتری در کنترل تمامی صفات به‌جز درصد قند ملاس دارند، زیرا مقادیر پایینی از این نسبت را به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳)؛ اما در کنترل درصد قند ملاس سهم اثرات افزایشی ژن‌ها بیشتر از اثر غیر افزایشی بود. کاسیس و همکاران (Cacic et al., 1999) گزارش کردند که در تمامی صفات کمی و کیفی چغندرقند، اثر غیر افزایشی ژن‌ها دخالت بیشتری دارد. صارمی‌راد و مصطفوی (A. Saremirad & Mostafavi, 2018a) به‌منظور تعیین میزان دخالت هر یک از اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مختلف از نسبت بیکر استفاده نمودند و بیان کردند که اثرات افزایشی در کنترل برخی صفات سهم بیشتری دارند.

درجه غالبیت صفات مختلف مورد مطالعه در دامنه ۱/۰۷ برای درصد قند ملاس تا ۴/۱۳ برای عملکرد شکر قرار داشت (جدول ۳). اگرچه در صفت درصد قند ملاس واریانس افزایشی بر واریانس غالبیت چیرگی داشت، اما درجه غالبیت این صفت نزدیک به یک بود که بیانگر غالبیت کامل در این صفت می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که علاوه بر چیرگی واریانس افزایشی بر واریانس غالبیت، این صفت تحت تأثیر اثر غالبیت ژنی نیز قرار دارد، لذا مطلوب است که به‌منظور بهبود عملکرد با تولید ارقام هیبرید و بهره‌گیری از پدیده هتروزیس از این اثرات بهره برد. مقادیر درجه غالبیت صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، پتاسیم، نیتروژن و ضریب آلکالیته بالاتر از عدد یک بود که نشان‌دهنده اثر فوق غالبیت در این صفات است. مقادیر وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی نیز در جدول ۳ آورده شده است. وراثت‌پذیری عمومی از ۲۶/۲۴ تا ۶۰/۷۹ درصد متغیر بود که به‌ترتیب به صفات ضریب استحصال شکر و عملکرد ریشه تعلق داشت که نشان می‌دهد اهمیت واریانس ژنتیکی پایین است. وراثت‌پذیری عمومی صفات مورد مطالعه به‌طور کلی متوسط به پایین بود. دامنه تغییرات وراثت‌پذیری خصوصی نیز در بازه ۲/۶۰ درصد برای ضریب آلکالیته تا ۶/۱۶ درصد برای میزان سدیم برآورد گردید. وراثت‌پذیری خصوصی در واکنش صفات به انتخاب در سطح اینبرد دخیل است. از آنجایی که وراثت‌پذیری خصوصی نسبت واریانس افزایشی به واریانس ژنتیکی را به نمایش می‌گذارد، لذا در پیشبرد اهداف اصلاحی از نظر گزینش دارای اهمیت زیادی است. وراثت‌پذیری تمامی صفات تحت مطالعه پایین بود که علت آن می‌تواند ناشی از تأثیر اثرات غیر افزایشی ژن‌ها باشد. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) گزارش کردند که سهم واریانس غالبیت برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد شکر سفید نسبت به واریانس افزایشی بیشتر است و به‌طور کلی وراثت‌پذیری خصوصی صفات فیزیولوژیکی در شرایط تنش شوری بالا می‌باشد، اما برای صفات عملکردی عکس این موضوع صدق می‌کند. طبق نتایج آن‌ها ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات عملکردی، روند ناسازگاری را در شرایط نرمال و تنش داشت؛ بنابراین هر دو قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای عملکرد هر یک از هیبریدها مهم هستند. دهقانپور (Dehghanpour, 2007) بیان کرد که پائین بودن وراثت‌پذیری خصوصی عملکرد، نشانگر این نکته است که گزینش برای عملکرد بدون بهره‌وری از اثرات غالبیت ژنی چندان مؤثر نخواهد بود. در چندین گزارش نشان داده شده است که وراثت‌پذیری یک صفت ثابت نیست، بلکه ممکن است تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته و تغییر کند (Alza & Fernandez-Martinez, 1997; Galloway & Etterson, 2007; Riginos et al., 2007). از طرفی تخمین وراثت‌پذیری صفات گاهی در معرض خطاهای قابل‌توجهی قرار می‌گیرند (Falconer, 1981)، از این‌رو، باید در تعمیم نتایج به دامنه وسیع‌تری از شرایط محیطی احتیاط کرد (Abbasi et al., 2019).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف در ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی بر اساس روش تجزیه لاین- تستر

Table 2. Analysis of variance for different traits in experimental sugar beet genotypes by line× tester analysis

درصد قند ملاس Molasse sugar	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	ضریب آلکالیته Alkalinity	نیتروژن مضره N	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	درصد قند خالص White sugar content	درصد قند ناخالص Sugar content	عملکرد شکر سفید White sugar yield	عملکرد شکر Sugar yield	عملکرد ریشه Root yield	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
0.81	13.76	0.16	0.25	6.70	0.40	0.52	0.27	6.02	12.05	243.22	3	تکرار Replication
0.72**	30.06**	0.96**	1.14**	3.71**	2.69**	3.97^{ns}	1.74^{ns}	3.21**	5.53**	165.73**	17	تلاقی Crosses
1.04**	49.99**	1.34**	1.29**	1.71^{ns}	3.76**	6.95^{ns}	2.88^{ns}	3.23*	6.25**	249.38**	8	لاین Lines
1.30*	60.65*	0.78^{ns}	4.43**	37.98**	11.70**	9.40^{ns}	3.71^{ns}	15.73**	14.74**	163.50*	1	تستر Testers
0.33^{ns}	6.32^{ns}	0.60^{ns}	0.58^{ns}	1.44^{ns}	0.49^{ns}	0.32^{ns}	0.35^{ns}	1.63^{ns}	3.67*	82.36*	8	برهمکنش لاین× تستر Lines × Testers
0.30	12.41	0.37	0.43	0.71	0.90	2.65	1.99	1.25	1.27	23.01	51	خطا Error
12.28	4.68	18.88	16.16	8.89	29.25	10.55	6.89	10.48	7.94	6.91		ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)
67.82	78.24	65.65	53.22	21.66	65.83	82.34	77.95	47.29	53.13	70.81		سهم لاین Contribution of line
10.60	11.87	4.79	22.79	60.15	25.63	13.91	12.57	28.80	15.67	5.80		سهم تستر Contribution of tester
21.58	9.89	29.56	23.99	18.19	8.53	3.75	9.48	23.91	31.20	23.39		سهم برهمکنش لاین× تستر Contribution of line× tester

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

*, ** and ns: Significant at 5%, 1% and non- significant.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ژنتیکی مختلف صفات در ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی بر اساس روش تجزیه لاین- تستر

Table 3. Values of different genetical parameters for different traits in experimental sugar beet genotypes by line× tester analysis

درصد قند ملاس Molasse sugar	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	ضریب آلکالیته Alkalinity	نیتروژن مضره N	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	عملکرد شکر سفید White sugar yield	عملکرد شکر Sugar yield	عملکرد ریشه Root yield	مؤلفه‌های واریانس Variance component
0.01	0.90	0.01	0.02	0.09	0.08	0.06	0.07	3.15	واریانس افزایشی δ^2_A
0.01	–	0.06	0.04	0.18	–	0.10	0.60	14.84	واریانس غالبیت δ^2_D
0.01	0.45	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.04	1.57	واریانس ترکیب‌پذیری عمومی δ^2_{GCA}
0.01	-	0.06	0.04	0.18	–	0.10	0.60	14.84	واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی δ^2_{SCA}
0.63	–	0.19	0.36	0.32	–	0.38	0.10	0.18	نسبت بیکر Baker ratio
1.07	-	2.93	1.89	2.06	-	1.80	4.13	3.07	درجه عالبیت Degree of dominance
26.35	26.24	28.37	29.20	51.58	33.03	28.26	45.75	60.79	وراثت‌پذیری عمومی h^2_b
3.66	5.33	2.60	3.47	5.90	6.16	3.43	3.02	5.37	وراثت‌پذیری خصوصی h^2_n

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

معنی‌داری اثرات لاین و تستر حاکی از اثر افزایشی ژن‌ها است. مقادیر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی صفات معنی‌دار برای لاین و تستر در جدول ۴ ارائه شده است. دامنه تغییرات قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها برای عملکرد ریشه بین ۱۰/۹۱- (لاین 920760) تا ۷/۱۵ (لاین 94 -33866) متغیر بود. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی سه لاین P.35 -HSF-14، 950123 و 94 -33866 برای صفت مذکور در جهت مثبت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. استفاده از این لاین‌ها به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده عمومی سهم واریانس افزایشی و بازده گزینش را افزایش خواهد داد؛ بنابراین می‌توان برای افزایش عملکرد ریشه در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر گزینش از این لاین‌ها که دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت هستند، استفاده کرد. همچنین می‌توان از این لاین‌ها جهت افزایش ژن‌هایی با اثر افزایشی و بهره‌برداری از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی سود جست. لاین‌های 24 -S1 و 920128 برای صفت عملکرد ریشه در جهت منفی به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند؛ بنابراین این لاین‌ها باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان صفت مزبور می‌گردند. در میان دو تستر مورد استفاده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما آنچه مسلم است این است که تستر 21121 -F بر روی عملکرد ریشه اثر مثبت و تستر 21122 -F اثر منفی بر جای می‌گذارد. برای دو صفت عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید تا حدودی نتایج یکسانی به‌دست آمد. در هر دو صفت یادشده لاین 950123 قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. به‌کارگیری لاین مذکور در برنامه‌های اصلاحی سبب خواهد شد تا میزان عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید به‌مقدار قابل‌توجهی افزایش یابد. در مقابل استفاده از لاین 24 -S1 این دو صفت را با کاهش مواجه می‌سازد. علاوه بر لاین 24 -S1، لاین 920128 نیز عملکرد شکر را تحت‌الشعاع قرار داده و باعث افت آن می‌شود. نتایج قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها نیز برای عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید مشابه بود، به‌طوری‌که تستر 21121 -F برای صفات مذکور در جهت مثبت در سطح احتمال پنج درصد و تستر 21122 -F در جهت منفی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود؛ بنابراین در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر گزینش برای افزایش عملکرد شکر از تستر 21121 -F می‌توان بهره برد. در خصوص محتوی سدیم ریشه، لاین 94 -33866 و تستر 21121 -F از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد و لاین‌های 920760 و 33 SB و تستر 21122 -F از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد برخوردار بودند. برای صفت محتوی پتاسیم تنها یکی از لاین‌ها (SB 33) قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. این لاین سبب شد تا محتوی پتاسیم ریشه با کاهش مواجه گردد. تسترهای آزمایشی از نظر صفت مذکور قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در خلاف جهت یکدیگر داشتند، به‌طوری که تستر 21121 -F با اثر منفی که داشت سبب کاهش محتوی پتاسیم و تستر 21122 -F با اثر مثبت باعث افزایش محتوی پتاسیم ریشه شد. در خصوص نیتروژن، لاین‌های 24 -S1 و 920128 و تستر 21122 -F دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد و لاین SB 33 و تستر 21121 -F دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بودند. افزایش محتوی سدیم، پتاسیم و نیتروژن منجر به بالا رفتن ناخالصی‌های ریشه می‌شود، در نتیجه باعث کاهش عملکرد شکر سفید می‌گردد، بنابراین کاهش محتوی سدیم، پتاسیم و نیتروژن جز اهداف اصلاحی می‌باشد که برای این منظور استفاده از لاین‌ها و تسترهایی که دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری هستند، می‌تواند سبب افزایش سهم آثار افزایشی ژن‌ها شده و بازدهی انتخاب را بالا برد. در رابطه با ضریب آلکالیته، لاین‌های P.35 -HSF-14 و SB 51 دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بودند. در مقابل آن‌ها لاین‌های 24 -S1 و 920760 قرار داشتند که دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد بودند. برای ضریب استحصال شکر لاین SB 33 دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و لاین‌های 94 -33866 و P.35 -HSF-14 دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بودند. در خصوص درصد قند ملاس، دو لاین 94 -33866 و SB 33 در مقابل یکدیگر قرار داشتند. این تقابل به‌گونه‌ای بود که لاین 94 -33866 دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود و افزایش درصد قند ملاس را باعث می‌گردید، اما لاین SB 33 دارای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود و کاهش درصد قند ملاس را به‌همراه داشت. لذا قرار دادن لاین SB 33 در برنامه‌های اصلاحی باعث خواهد شد تا مقدار قند کمتری به‌صورت ملاس از دسترس خارج شود؛ بنابراین هرچه قدر قند در ملاس کم باشد کیفیت محصول بیشتر شده و به اصطلاح ضریب استحصال افزایش می‌یابد. در مجموع از لاین‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، لاین 950123 و از تسترهای آزمایشی تستر 21121 -F اثرات مثبتی را با توجه به اهداف اصلاحی چغندرقند در پی داشتند. لاین 24 -S1 و تستر 21122 -F در کل با اثرات منفی همراه بودند و سبب کاهش ارزش اصلاحی صفات گردیدند. نظر به اینکه قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مبین اثرات افزایشی ژن‌ها است، بنابراین والدهایی که از قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالایی برخوردارند، اثر افزایشی زیادی نیز به همراه دارند که می‌توان از آن‌ها در تولید ارقام سینتتیک بهره برد. از سوی دیگر این والدها می‌توانند از طریق گزینش مکرر در توسعه لاین‌های اینبرد و نیز به‌عنوان تستر برای ارزیابی لاین‌های اینبرد جدید استفاده شوند (Makumbi et al., 2011). عباسی و همکاران بر اساس نتایج مطالعه‌ای که در دو شرایط نرمال و تنش شوری انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که ژنوتیپ‌های والدینی اثرات ترکیب‌پذیری عمومی ثابتی را در محیط‌های نرمال و تنش ندارند؛ از این‌رو انتخاب ژنوتیپ مطلوب به شرایط محیطی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

بستگی دارد. بر اساس نتایج آن‌ها والد پدری 7233-P.29 و والد مادری MS-26039 بیشترین میزان قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی را برای صفات مرتبط با عملکرد داشتند. مصطفوی و همکاران (Mostafavi et al., 2008b) گزارش کردند که لاین‌های K166B، K3615/2 و K3653/2 از بهترین ترکیب‌پذیرهای عمومی هستند، لذا استفاده از آن‌ها جهت بهبود ژنتیکی صفات مفید خواهد بود. طی مطالعه دیگر (Dehghanpour, 2002) که به‌منظور بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی انجام شد، صفات مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه‌گیری شد که اثرات افزایشی در بیان کلیه صفات مورد اندازه‌گیری دخیل هستند.

معنی‌داری همزمان اثرات لاین، تستر و برهمکنش لاین- تستر تنها برای دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص بیانگر دخالت توأم اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها است. مقادیر قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی لاین- تستر در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که در نتایج قابل مشاهده است مقادیر قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها فقط برای عملکرد ریشه و عملکرد شکر معنی‌دار بود و در سایر صفات هیچ‌یک از ترکیبات لاین- تستر دارای قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری نبود. در رابطه با عملکرد ریشه و عملکرد شکر نتایج مشابهی به دست آمد. قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبرید حاصل از تلاقی لاین S1- 24 و تستر F- 21122 مثبت و معنی‌دار و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبرید حاصل از تلاقی لاین S1- 24 و تستر F- 21121 منفی و معنی‌دار برآورد شد؛ بنابراین استفاده از این هیبریدهایی که از قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بالایی برخوردار هستند، می‌تواند در افزایش ژن‌هایی با اثر غیر افزایشی جهت تولید هیبرید مفید واقع شود. نتایج مشابهی توسط چوکان و مساوات (Choukan & Mosavat, 2005) و مصطفوی و همکاران (Mostafavi et al., 2008b) گزارش شده است. دهقانپور و اهدایی (Dehghanpour & Ehdaie, 2013) ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی را در لاین‌های زودرس ذرت آزمایش کردند، نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش نشان داد که فقط دو لاین KE75039 و K1264/5-1 برای صفت عملکرد دانه بالاترین پایداری قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی را دارند و حداقل مشارکت را در برهمکنش محیط- قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی ایفا نمودند. در آزمایش‌هایی که انجام شد، بیان گردید که میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی نقش معنی‌داری را در کنترل صفات دارند (Choukan & Mosavat, 2005; Mostafavi et al., 2008a; Mostafavi et al., 2008b).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج تأییدکننده وجود تنوع میان هیبریدهای حاصل از تلاقی بین والدین تحت بررسی بود. بر اساس نتایج، صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر به‌وسیله ژن‌های با هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی کنترل می‌شوند، اما در وراثت صفات عملکرد شکر خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، ضریب آلکالیته، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس تنها ژن‌هایی با اثر افزایشی دخیل هستند. به‌طور کلی در میان لاین‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، لاین 950123 و از تسترهای آزمایشی تستر F- 21121 اثرات مثبتی را با توجه به اهداف اصلاحی چغندرقند در پی داشتند. لذا زمانی که تهیه ارقام هیبرید مدنظر باشد، می‌توان از این لاین‌ها بهره برد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

جدول ۴- برآورد مقادیر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترهای چغندرقند آزمایشی بر اساس روش تجزیه لاین- تستر

Table 4. Estimate of general combining ability (GCA) effects of experimental sugar beet lines and testers by line× tester analysis

درصد قند ملاس Molasse sugar	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	ضریب آلکالیته Alkalinity	نیتروژن مضره N	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	عملکرد شکر سفید White sugar yield	عملکرد شکر Sugar yield	عملکرد ریشه Root yield	لاین/تستر Line/Tester
				Line					
-0.08^{ns}	0.92^{ns}	0.17^{ns}	-0.33^{ns}	0.37^{ns}	-0.53^{ns}	0.35^{ns}	0.29^{ns}	0.22^{ns}	SB 27
-0.27^{ns}	1.65^{ns}	-0.46*	0.27^{ns}	-0.14^{ns}	-0.71*	0.25^{ns}	0.06^{ns}	-0.53^{ns}	920760
-0.21^{ns}	1.89^{ns}	-0.66**	0.65**	-0.29^{ns}	-0.51^{ns}	-1.06**	-1.75**	-10.91**	S1- 24
0.07^{ns}	-0.22^{ns}	-0.35^{ns}	0.46*	0.09^{ns}	-0.01^{ns}	-0.66^{ns}	-0.85*	-4.28*	920128
-0.54**	3.33**	-0.05^{ns}	-0.46*	-0.75*	-0.70*	0.30^{ns}	-0.20^{ns}	-2.85^{ns}	SB 33
0.29^{ns}	-1.78^{ns}	0.43*	-0.19^{ns}	0.42^{ns}	0.50^{ns}	-0.24^{ns}	0.00^{ns}	1.09^{ns}	SB 51
0.27^{ns}	-2.45*	0.47*	-0.34^{ns}	0.29^{ns}	0.58^{ns}	-0.02^{ns}	0.43^{ns}	5.15**	HSF-14- P.35
-0.18^{ns}	1.24^{ns}	0.12^{ns}	-0.27^{ns}	-0.56^{ns}	0.11^{ns}	1.15**	1.26**	4.97**	950123
0.65**	-4.58**	0.33^{ns}	0.21^{ns}	0.57^{ns}	1.27**	-0.08^{ns}	0.75^{ns}	7.15**	33866- 94
									خطای استاندارد
0.19	1.25	0.22	0.23	0.30	0.34	0.39	0.40	1.70	Standard error
				Tester					
-0.13^{ns}	0.92^{ns}	0.10^{ns}	-0.25*	-0.73**	0.40*	0.47*	0.45*	1.51^{ns}	F- 21121
0.13^{ns}	-0.92^{ns}	-0.10^{ns}	0.25*	0.73**	-0.40*	-0.47*	-0.45*	-1.51^{ns}	F- 21122
									خطای استاندارد
0.09	0.59	0.10	0.11	0.14	0.16	0.19	0.19	0.80	Standard error

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

*, ** and ns: Significant at 5%, 1% and non- significant.

جدول ۵- برآورد مقادیر قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی در هیبریدهای چغندرقند آزمایشی بر اساس روش تجزیه لاین- تستر

Table 5. Estimate of specific combining ability (SCA) effects in experimental sugar beet hybrids by line× tester analysis

درصد قند ملاس Molasse sugar	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	ضریب آلکالیته Alkalinity	نیتروژن مضره N	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	عملکرد شکر سفید White sugar yield	عملکرد شکر Sugar yield	عملکرد ریشه Root yield	تستر Tester	لاین Line
0.17^{ns}	-0.36^{ns}	-0.12^{ns}	0.31^{ns}	0.35^{ns}	0.04^{ns}	0.05^{ns}	0.13^{ns}	-0.63^{ns}	F- 21121	SB 27
0.22^{ns}	-0.79^{ns}	0.10^{ns}	0.04^{ns}	0.56^{ns}	0.08^{ns}	0.27^{ns}	0.50^{ns}	1.49^{ns}	F- 21121	920760
0.01^{ns}	-0.32^{ns}	0.06^{ns}	-0.13^{ns}	-0.23^{ns}	0.31^{ns}	-0.87^{ns}	-1.12*	-5.26*	F- 21121	S1- 24
-0.02^{ns}	0.11^{ns}	0.01^{ns}	-0.08^{ns}	-0.01^{ns}	-0.01^{ns}	0.65^{ns}	0.86^{ns}	4.12^{ns}	F- 21121	920128
-0.23^{ns}	1.07^{ns}	-0.05^{ns}	-0.16^{ns}	-0.29^{ns}	-0.35^{ns}	-0.36^{ns}	-0.66^{ns}	-3.19^{ns}	F- 21121	SB 33
-0.21^{ns}	0.76^{ns}	0.06^{ns}	-0.23^{ns}	-0.58^{ns}	0.02^{ns}	-0.19^{ns}	-0.38^{ns}	-0.76^{ns}	F- 21121	SB 51
-0.27^{ns}	1.32^{ns}	-0.21^{ns}	0.10^{ns}	-0.45^{ns}	-0.36^{ns}	-0.14^{ns}	-0.45^{ns}	-2.07^{ns}	F- 21121	HSF-14- P.35
0.05^{ns}	-0.44^{ns}	-0.43^{ns}	0.50^{ns}	0.09^{ns}	-0.08^{ns}	0.36^{ns}	0.56^{ns}	3.49^{ns}	F- 21121	950123
0.28^{ns}	-1.34^{ns}	0.58^{ns}	-0.36^{ns}	0.56^{ns}	0.35^{ns}	0.22^{ns}	0.56^{ns}	2.81^{ns}	F- 21121	33866- 94
-0.17^{ns}	0.36^{ns}	0.12^{ns}	-0.31^{ns}	-0.35^{ns}	-0.04^{ns}	-0.05^{ns}	-0.13^{ns}	0.63^{ns}	F- 21122	SB 27
-0.22^{ns}	0.79^{ns}	-0.10^{ns}	-0.04^{ns}	-0.56^{ns}	-0.08^{ns}	-0.27^{ns}	-0.50^{ns}	-1.49^{ns}	F- 21122	920760
-0.01^{ns}	0.32^{ns}	-0.06^{ns}	0.13^{ns}	0.23^{ns}	-0.31^{ns}	0.87^{ns}	1.12*	5.26*	F- 21122	S1- 24
0.02^{ns}	-0.11^{ns}	-0.01^{ns}	0.08^{ns}	0.01^{ns}	0.01^{ns}	-0.65^{ns}	-0.86^{ns}	-4.12^{ns}	F- 21122	920128
0.23^{ns}	-1.07^{ns}	0.05^{ns}	0.16^{ns}	0.29^{ns}	0.35^{ns}	0.36^{ns}	0.66^{ns}	3.19^{ns}	F- 21122	SB 33
0.21^{ns}	-0.76^{ns}	-0.06^{ns}	0.23^{ns}	0.58^{ns}	-0.02^{ns}	0.19^{ns}	0.38^{ns}	0.76^{ns}	F- 21122	SB 51
0.27^{ns}	-1.32^{ns}	0.21^{ns}	-0.10^{ns}	0.45^{ns}	0.36^{ns}	0.14^{ns}	0.45^{ns}	2.07^{ns}	F- 21122	HSF-14- P.35
-0.05^{ns}	0.44^{ns}	0.43^{ns}	-0.50^{ns}	-0.09^{ns}	0.08^{ns}	-0.36^{ns}	-0.56^{ns}	-3.49^{ns}	F- 21122	950123
-0.28^{ns}	1.34^{ns}	-0.58^{ns}	0.36^{ns}	-0.56^{ns}	-0.35^{ns}	-0.22^{ns}	-0.56^{ns}	-2.81^{ns}	F- 21122	33866- 94
0.27	1.76	0.30	0.33	0.42	0.48	0.56	0.56	2.40		خطای استاندارد Standard error

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

*, ** and ns: Significant at 5%, 1% and non- significant.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

منابع

Abbasi, Z., Arzani, A., Majidi, M. M., Rajabi, A., & Jalali, A. (2019). Genetic analysis of sugar yield and physiological traits in sugar beet under salinity stress conditions. *Euphytica*, *215*, 1-12.

Abdel Nour, N. A., El–Fateh, H. S., & Mostafa, A. K. (2011). Line x Tester analysis for yield and its traits in bread wheat. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *89*(3), 979-992.

Adebayo, M., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., & Hearne, S. (2014). Genetic analysis of drought tolerance in adapted× exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. *Euphytica*, *196*, 261-270.

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.

Alza, J., & Fernandez-Martinez, J. (1997). Genetic analysis of yield and related traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) in dryland and irrigated environments. *Euphytica*, *95*, 243-251.

Amin, M., Amiruzzaman, M., Ahmed, A., & Ali, M. (2014). Evaluation of inbred lines of maize (*Zea mays* L.) through line× tester method. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *39*(4), 675-683.

Amiruzzaman, M., Akond, M., & Uddin, M. (2008). Line× tester analysis of combining ability in hulled and hull-less crosses of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Bangladesh J. Agri*, *33*, 15-20.

Baker, R. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science*, *18*(4), 533-536.

Bekele, A., & Rao, T. N. (2013). Heterosis study for grain yield, protein and oil improvement in selected genotypes of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Sciences*, *1*(4), 57-63.

Betran, F., Beck, D., Bänziger, M., & Edmeades, G. (2003). Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Science*, *43*(3), 807-817.

Cacic, N., Kovacev, L., Mezei, S., Sklenar, P., & Nagl, N. (1999). Mode of inheritance and combining abilities for some sugar beet traits (*Beta vulgaris* L.). *Zbornik radova-Naucni institut za ratarstvo i povrtarstvo (Yugoslavia)*.

Choukan, R., & Mosavat, S. A. (2005). Mode of Gene Action of Different Traits in Maize Tester Lines. *Seed and Plant Journal*, *21*(4), 547-556. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110659

Commission, E. (2018). A sustainable Bioeconomy for Europe. *Strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. Luxembourg. doi*, *10*, 478385.

Commission, E. (2021). *EU sugar* https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/plants-and-plant-products/plant-products/sugar_en

Cook, D., & Scott, R. (1993). *The sugar beet crop: science into practice*. Champan and Hall Press.

Dehghanpour, Z. (2002). General and specific combining ability and genetic parameters of maize inbreed lines for different triats. *Seed and Plant Improvment Journal*, *18*(1), 49-61.

Dehghanpour, Z. (2007). *Evaluation of the compatibility of selected early maize lines using diallel crossing* (Final report of the project, Issue.

Dehghanpour, Z. (2013). Diallel analysis of grain yield, number of kernel rows per ear and number of kernels per row in early maturity maize hybrids. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*(4).

Dehghanpour, Z., & Ehdaie, B. (2013). Stability of general and specific combining ability effects for grain yield in elite Iranian maize inbred lines. *Journal of Crop Improvement*, *27*(2), 137-152.

Doney, D. L., Theurer, J. C., & Wyse, R. E. (1985). Respiration Efficiency and Heterosis in Sugarbeet 1. *Crop Science*, *25*(3), 448-450.

Elmyhum, M. (2013). Estimation of combining ability and heterosis of quality protein maize inbred lines. *African journal of agricultural research*, *8*(48), 6309-6317.

Falconer, D. (1981). Introduction to Quantitative Genetics. 2nd EdLongman. *London, UK*.

FAO. (2021). *Crops production and area harvested* http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Farshadfar, E. (1998). *Application of biometrical genetics in plant breeding*. Razi University of Kermanshah Publications.

Fellahi, Z. E. A., Hannachi, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013). Line × Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*, *2013*, 201851. https://doi.org/10.1155/2013/201851

Galloway, L. F., & Etterson, J. R. (2007). Transgenerational plasticity is adaptive in the wild. *Science*, *318*(5853), 1134-1136.

Ghorbani, H. R., Samizadeh Lahiji, H., Rabiei, B., & Allah Gholipour, M. (2013). Line × Tester Analysis for Yield and Yield Components in Rice Lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *44*(4), 683-692. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.50337

Golparvar, A., Mottaghi, S., & Lotfifar, O. (2012). Diallel Analysis of Grain Yield and its Components in Bread Wheat Genotypes under Drought Stress Conditions. *Plant production technology*, *3*(1), 51-62.

Heidari, B., Rezaie, A., & Maibody, S. M. (2006). Diallel analysis for the estimation of the genetic parameters of grain yield and grain yield components in bread wheat. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*.

Istipliler, D., Ilker, E., Tonk, F. A., Gizem, C., & Tosun, M. (2015). Line× tester analysis and estimating combining abilities for yield and some yield components in bread wheat. *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(1), 72-77.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]

Jain, S., & Sastry, E. (2012). Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agriculture and Allied Science*, *1*(1), 17-22.
Kempthorne, O. (1957). An introduction to genetic statistics.
Kemptorn, O. (1957). An introduction to genetic statistics. New York: Jhon Wiley and Nordskog. In: Inc.
Kunz, M., Martin, D., & Puke, H. (2002). Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie*, *127*(1), 13-21.
Mahesh, N., Wali, M., Gowda, M., Motagi, B., & UPPINAL, N. F. (2014). Genetic analysis of grain yield, starch, protein and oil content in single cross hybrids of maize. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, *26*(2).
Mahmudi, S. B., & Abbasi, Z. (2018). Evaluation combining ability of sugar beet breeding lines for qualitative and quantitative traits and resistant to Rhizomania disease. *Journal of Crop Breeding*, *9*(24), 112-118.
Makumbi, D., Betrán, J. F., Bänziger, M., & Ribaut, J.-M. (2011). Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. *Euphytica*, *180*, 143-162.
Mohr, A., & Raman, S. (2013). Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. *Energy Policy*, *63*, 114-122.
Mostafavi, K., Choukan, R., Bihamta, M., Heravan, E. M., & Taeb, M. (2008a). *Evaluation and Identification of Iranian Corn Inbred Lines for Heterotic Patterns and Heterotic Groups* Islamic Azad University, Science and Research Branch]. Tehran, Iran.
Mostafavi, K., Choukan, R., Taeb, M., & Bihamta, M. R. (2008b). Investigation of combining ability in Iranian Corn inbred lines (*Zea mays* L.)using a diallel cross design. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *4*(2), 1-17.
Nduwumuremyi, A., Tongoona, P., & Habimana, S. (2013). Mating designs: helpful tool for quantitative plant breeding analysis. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, *1*(3), 117-129.
Orazizade, M., Motahar, S. S., & Mesbah, M. (2002). Genetic parameters of resistance to agent of leaf spot (*cercospora beticola*) of sugar beet. *Sugar beet Journal*, *18*, 15-27.
Pradhan, S., Kumar Bose, L., & Meher, J. (2006). Studies on gene action and combining ability analysis in Basmati rice. *Journal of Central European Agriculture*, *7*(2), 267-272.
Rahimi, M., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H., & Kafi Ghasemi, A. (2008). Evaluation of combining ability in rice cultivars based on second and fourth griffing methods. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *12*(43), 129-141.
Rashid, M., Cheema, A. A., & Ashraf, M. (2007). Line x tester analysis in basmati rice. *Pakistan Journal of Botany*, *39*(6), 2035-2042.
Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner, & Beiss, U. (1974). *Zur Voraussage des Melassez zuckersaus Ruben analysen Zucker*. Chapman & Hall, World Crop Series, .
Riginos, C., Heschel, M. S., & Schmitt, J. (2007). Maternal effects of drought stress and inbreeding in Impatiens capensis (Balsaminaceae). *American Journal of Botany*, *94*(12), 1984-1991.
Rojas, B. A., & Sprague, G. F. (1952). A Comparison of Variance Components in Corn Yield Trials: III. General and Specific Combining Ability and Their Interaction with Locations and Years 1. *Agronomy Journal*, *44*(9), 462-466.
Salazar-Ordóñez, M., Pérez-Hernández, P. P., & Martín-Lozano, J. M. (2013). Sugar beet for bioethanol production: An approach based on environmental agricultural outputs. *Energy Policy*, *55*, 662-668.
Saremirad, A., & Mostafavi, K. (2018a). Genetic analysis of important agronomic traits in some of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under normal and drought stress conditions. *Cereal Research*, *8*(3), 397-408. https://doi.org/doi: 10.22124/c.2018.10345.1393
Saremirad, A., & Mostafavi, K. (2018b). Genetic analysis of important agronomic traits in some of barley (Hordeumvulgare L.) cultivars under normal and drought stressconditions. *Cereal Research*, *8*(3), 397-408.
Sharma, J. R. (2006). *Statistical and biometrical techniques in plant breeding*. New Age International.
Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy*.
Thakare, D., Ghorade, R., & Bagade, A. (2014). Combining ability studies in grain sorghum using line× tester analysis. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *3*(10), 594-603.
Vacaro, E., Barbosa Neto, J. F., Pegoraro, D. G., Nuss, C. N., & Conceição, L. D. H. (2002). Combining ability of twelve maize populations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *37*, 67-72.
Williams-Alanís, H., Aranda, U., Cavazos, G. Á., Garcia, F. Z., Júarez, M. G., Vázquez, M. d. C. R., & Barrón, J. E. (2022). Line x tester analysis to estimate combining ability in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, *54*(2), 12-21.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.201]