Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 2, 2026 p: 103-116

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of the Genetic Potential and Selection of Superior Sugar Beet Hybrids Based on Root Yield and Technological Quality

Roohallah Jafari Solhdarkalaee[1], Saeed Sadeghzadeh Hemayati[2], Khodadad Mostafavi[3], Ali Saremirad[4] and Abdollah Mohammadi[5]

1, 3 & 5- Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran
2- Professor, Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)
4- Assistant Professor, Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 12 October, 2025 Revised: 18 January, 2026 Accepted: 20 February, 2026

Extended Abstract

Background: Sugar beet, as one of the two main sources of sugar production in the world, plays a vital role in food security and the sustainability of the agricultural economy in various countries. Given the growing global population and increasing demand for sugar, the continuous improvement of this plant's genetic potential is an undeniable necessity to achieve higher yield, desirable quality, and adaptation to changing climatic conditions. The primary goal in sugar beet breeding programs is the simultaneous improvement of root yield and technological quality (high sugar content and low impurities). However, achieving this goal has always been a fundamental challenge in breeding programs due to the physiological negative correlation between these two traits. This physiological trade-off necessitates the use of advanced statistical and selection methods to identify genotypes with an optimal balance between traits. Nevertheless, the cornerstone of any successful breeding program and the efficiency of selection methods depend on the existence of sufficient genetic diversity in the base population. Accordingly, the accurate evaluation of germplasm and the estimation of genetic parameters provide valuable information for breeders to formulate the most effective selection program. In this context, the present study was designed and conducted to evaluate the genetic potential and select superior sugar beet hybrids based on the analysis of quantitative and qualitative traits to identify superior hybrids for introduction into advanced trials and to select promising parents for future crosses and the development of new genotypes.

Methods: This study was conducted at the Motahari Sugar Beet Research Station in Karaj, affiliated with the Sugar Beet Seed Institute (SBSI), during the 2023 growing season. The plant materials consisted of 140 experimental hybrids, along with four foreign check varieties. A preliminary yield trial using an augmented design with five incomplete blocks was employed to accurately evaluate this large number of genotypes. By replicating the check varieties in all blocks, this design allowed for the control of environmental error and the estimation of adjusted trait values for the unreplicated hybrids. All agronomic practices were carried out according to the standard protocols for the region. Key traits, including root yield, sugar content, and sugar yield, were evaluated at the harvest stage. Statistical analyses were performed using R software. Data were first adjusted based on the statistical model of the augmented design. Then, an analysis of variance was conducted to assess the significance of genetic differences. Genetic parameters, including phenotypic and genotypic variances, phenotypic and genotypic coefficients of variation, broad-sense heritability, and expected genetic advance from selection, were estimated afterward. The selection index of ideal genotype (SIIG) was applied for simultaneous selection based on multiple traits and to identify genotypes close to the ideal genotype. Finally, to classify the genotypes and investigate the genetic structure of the population, cluster analysis was performed using Ward's method based on Euclidean distance.

Results: The results of the analysis of variance indicated significant genetic variation for root yield and sugar yield among the studied genotypes, which is the primary prerequisite for successful genotype selection. In contrast, no significant differences were observed for sugar content, neither among the entire set of genotypes nor within the hybrid and check groups, which could be attributed to the limited range of genetic diversity for this trait in the experimental materials or the predominant effect of the environment during the experimental year. The estimation of genetic parameters provided deeper insights into the genetic control of the traits.

Copyright ©2026. Seifolahpour et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

Root yield and sugar yield exhibited very high broad-sense heritability along with considerable expected genetic advance. This finding, particularly when combined with the considerable expected genetic advance, indicates the predominance of additive genetic effects in the control of these traits and implies that direct phenotypic selection can lead to their genetic improvement with high efficiency. Conversely, the low heritability estimated for sugar content demonstrated its greater susceptibility to environmental factors and the complexity of its genetic control in this set of plant materials. In the mean comparison, hybrids (such as 35458 and 37350) exhibited a significant superiority over the checks, with root yields exceeding 114 $t.ha^{-1}$. In terms of sugar yield, genotype 35458 recorded 17.61 $t.ha^{-1}$, a performance on par with the best commercial check. The SIIG index was employed for multi-trait selection. The check variety BTS6975N (with a score of 0.88) and the hybrid 35458 (with a score of 0.85) were identified as the closest genotypes to the ideal genotype. The high consistency between the results of this index and the mean comparison analysis further validated the superiority of the identified elite genotypes. Finally, cluster analysis classified the genotypes into five distinct groups. The superior genotypes were mainly placed in the high root yield and balanced and high-quality clusters. The significant genetic distance between these clusters promises a high potential for heterosis in future crosses utilizing the parental lines of these hybrids.

Conclusion: This research successfully demonstrated that the studied germplasm is a rich source of genetic diversity for sugar beet improvement. Elite hybrids (such as 35458, 37412, and 37352) were identified as superior candidates for advanced stages of breeding programs or for introduction to farmers. The results clearly indicate that, within this genetic collection, focusing on selection for high root yield is the most effective and efficient strategy for achieving maximum sugar yield. The genetic grouping obtained can also serve as a practical roadmap for designing targeted crosses and exploiting the existing genetic potential to produce the next generation of superior hybrids.

Keywords: Cluster analysis, Genotype selection, Genetic parameters, Root yield, Sugar beet, Selection index

How to Cite This Article: Jafari Solhdarkalaee, R., Sadeghzadeh Hemayati, S., Mostafavi, Kh., Saremirad, A., & Mohammadi, A. (2026). Evaluation of the Genetic Potential and Selection of Superior Sugar Beet Hybrids Based on Root Yield and Technological Quality. *J Crop Breed,* 18(2), 103-116. DOI: 10.61882/jcb.2026.1625

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل ژنتیکی و گزینش هیبریدهای برتر چغندرقند بر پایه عملکرد و کیفیت تکنولوژیک

روح‌اله جعفری صلحدارکلائی[۱]، سعید صادق‌زاده حمایتی[۲]، خداداد مصطفوی[۳]، علی صارمی‌راد[۴] و عبداله محمدی[۵]

۱، ۳ و ۵- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)

۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱

صفحه: ۱۰۳ تا ۱۱۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: چغندر قند به‌عنوان یکی از دو منبع اصلی تولید شکر در جهان، نقشی حیاتی را در امنیت غذایی و پایداری اقتصاد کشاورزی کشورها ایفا می‌کند. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز فزاینده به شکر، بهبود مستمر پتانسیل ژنتیکی این گیاه برای دستیابی به عملکرد بالاتر، کیفیت مطلوب و سازگاری با شرایط متغیر اقلیمی، یک ضرورت انکارناپذیر است. هدف اصلی در برنامه‌های به‌نژادی چغندرقند، بهبود هم‌زمان عملکرد ریشه و کیفیت تکنولوژیک (درصد قند بالا و ناخالصی‌های کم) است. با این حال، دستیابی به این هدف به‌دلیل وجود همبستگی منفی فیزیولوژیک بین این دو صفت، همواره یکی از چالش‌های اساسی در برنامه‌های به‌نژادی بوده است. این تضاد فیزیولوژیک، به‌کارگیری روش‌های آماری و گزینشی پیشرفته را برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با تعادل بهینه بین صفات اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. ارزیابی دقیق ژرم‌پلاسم و برآورد پارامترهای ژنتیکی اطلاعاتی ارزشمندی را در اختیار به‌نژادگران قرار می‌دهد تا بتوانند مؤثرترین برنامه گزینش را تدوین نمایند. در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل ژنتیکی و گزینش هیبریدهای برتر چغندرقند بر پایه تجزیه و تحلیل صفات کمی و کیفی طراحی و اجرا گردید تا از یک سو برترین هیبریدها برای معرفی و ورود به مراحل بعدی ارزیابی شناسایی شوند و از سوی دیگر، والدین امیدبخش برای تلاقی‌های آینده و ایجاد ژنوتیپ‌های جدید انتخاب گردند.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سال ۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات چغندرقند مهندس مطهری کرج وابسته به مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند انجام شد. مواد گیاهی شامل ۱۴۰ هیبرید آزمایشی به‌همراه چهار رقم شاهد خارجی بودند. به‌دلیل تعداد زیاد ژنوتیپ‌ها، جهت ارزیابی دقیق آن‌ها، از طرح مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت) در قالب پنج بلوک ناقص استفاده شد. این طرح با تکرار ارقام شاهد در تمام بلوک‌ها، امکان کنترل خطای محیطی و در نتیجه، برآورد مقادیر تصحیح شده صفات برای هیبریدهای آزمایشی (بدون تکرار) را فراهم آورد. کلیه عملیات زراعی بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد منطقه اجرا گردیدند. در مرحله برداشت، صفات کلیدی شامل عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R انجام شدند. تجزیه واریانس برای ارزیابی معنی‌داری تفاوت‌های ژنتیکی انجام گرفت. پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس‌های فنوتیپی و ژنتیکی، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار از گزینش برآورد شدند. برای گزینش هم‌زمان بر اساس چند صفت و شناسایی ژنوتیپ‌های نزدیک به ژنوتیپ ایده‌آل، شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) به‌کار گرفته شد. در نهایت، به‌منظور طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward بر اساس فاصله اقلیدسی انجام پذیرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس حاکی از وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار برای صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند که پیش‌نیاز اصلی برای موفقیت در گزینش ژنوتیپ‌ها است. در مقابل، برای صفت درصد قند تفاوت معنی‌داری چه در بین کل ژنوتیپ‌ها و چه در مقایسه درون‌گروهی هیبریدها و شاهدها مشاهده نشد که می‌تواند به‌دلیل دامنه محدودتر تنوع ژنتیکی برای این صفت در مواد آزمایشی یا اثر غالب محیط در سال اجرای آزمایش باشد. برآورد پارامترهای ژنتیکی، اطلاعات عمیق‌تری را در خصوص کنترل ژنتیکی صفات فراهم آورد. صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر، وراثت‌پذیری عمومی بسیار بالایی (بیش از ۷۰ درصد) را به‌همراه پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار قابل‌توجهی نشان دادند. این نتیجه، به‌ویژه هنگامی که همراه با پیشرفت ژنتیکی بالای مورد انتظار در نظر گرفته شود، قویاً بر اهمیت بالای اثرات ژنتیکی افزایشی در کنترل این صفات دلالت دارد و نشان می‌دهد که گزینش مستقیم فنوتیپی می‌تواند با کارایی بالا منجر به بهبود ژنتیکی آن‌ها شود. در مقابل، وراثت‌پذیری پایین برآورد شده برای درصد قند ناخالص، تأثیرپذیری بیشتر این صفت از عوامل محیطی و پیچیدگی کنترل ژنتیکی آن را در این مجموعه مواد گیاهی نشان داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که هیبریدهای ۳۵۴۵۸ و ۳۷۳۵۰ با عملکرد ریشه بیش از ۱۱۴ تن در هکتار، برتری قابل توجهی نسبت به شاهدها داشتند. از نظر عملکرد شکر نیز ژنوتیپ ۳۵۴۵۸ با تولید ۱۷/۶۱ تن در هکتار، عملکردی هم‌تراز با بهترین شاهد خارجی یعنی BTS6975N به ثبت رساند. برای گزینش بر مبنای چندصفت، شاخص SIIG به کار گرفته شد. شاهد BTS6975N با امتیاز شاخص SIIG ۰/۸۸ و هیبرید ۳۵۴۵۸ با امتیاز شاخص SIIG ۰/۸۵ به‌عنوان نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل شناسایی شدند. همخوانی بالای نتایج این شاخص با نتایج مقایسه میانگین، اعتبار ژنوتیپ‌های برتر شناسایی‌شده را دوچندان کرد. در نهایت، تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را در پنج گروه متمایز طبقه‌بندی نمود. ژنوتیپ‌های برتر عمدتاً در دو خوشه با ویژگی‌های عملکرد ریشه بالا و عملکرد ریشه متعادل و با کیفیت تکنولوژیک بالا قرار گرفتند. فاصله ژنتیکی قابل توجه بین این خوشه‌ها، پتانسیل بالایی را برای ایجاد هتروزیس در صورت استفاده از لاین‌های والدی این هیبریدها در تلاقی‌های آینده نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهند که ژرم‌پلاسم مورد بررسی، منبع غنی از تنوع ژنتیکی برای بهبود صفات در چغندرقند است. هیبریدهای مطلوبی همچون ۳۵۴۵۸، ۳۷۴۱۲ و ۳۷۳۵۲ به‌عنوان کاندیداهای مناسبی برای پیشبرد مراحل بعدی برنامه‌های اصلاحی و یا معرفی برای کشت شناسایی شدند. نتایج به‌وضوح نشان می‌دهند که در این مجموعه مواد ژنتیکی، تمرکز بر گزینش برای عملکرد ریشه بالا، مؤثرترین و کارآمدترین راه برای دستیابی به حداکثر عملکرد شکر است. گروه‌بندی ژنتیکی به‌دست‌آمده نیز می‌تواند به‌عنوان یک نقشه راه عملی برای طراحی تلاقی‌های هدفمند و بهره‌گیری از پتانسیل ژنتیکی موجود برای تولید نسل بعدی هیبریدهای برتر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ژنتیکی، تجزیه خوشه‌ای، چغندرقند، شاخص گزینش، عملکرد ریشه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

مقدمه

امنیت غذایی جهانی در مواجهه با چالش‌هایی همچون رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و تخریب منابع طبیعی، به یک اولویت حیاتی تبدیل شده است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، تولید غذا باید تا سال ۲۰۵۰ نزدیک به ۷۰ درصد افزایش یابد تا پاسخگوی نیاز بیش از ۹ میلیارد نفر باشد (FAO, 2009; United Nations, 2017). این امر مستلزم بهره‌گیری از رویکردهای نوآورانه در کشاورزی و به‌نژادی گیاهان زراعی است تا بتوان بر محدودیت‌های موجود غلبه کرد (Voss-Fels *et al.*, 2019). در این میان، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) به‌عنوان یک محصول صنعتی راهبردی، نقشی محوری در اقتصاد کشاورزی و امنیت غذایی ایفا می‌کند (Ribeiro *et al.*, 2016). این گیاه با تأمین حدود ۲۰ درصد از شکر جهان، پس از نیشکر دومین منبع تولید این کالای اساسی به شمار می‌رود (FAO, 2023; Monteiro *et al.*, 2018). صنعت قند چغندرقند مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی را نیز تولید می‌کند که می‌توانند به طرق مختلف ارزش‌گذاری شوند (Sadeghzadeh Hemayati *et al.*, 2022). علاوه بر نقش مستقیم در تولید شکر، چغندرقند به دلیل سازگاری با مناطق معتدل، اثرات مثبت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و جایگاه ارزشمند در تناوب زراعی، یکی از ارکان کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (Hamed *et al.*, 2025). از این‌رو، هرگونه بهبود در پتانسیل تولید این گیاه، تأثیر مستقیمی بر پایداری زنجیره تأمین غذا و اقتصاد جوامع خواهد داشت.

هدف غایی در برنامه‌های به‌نژادی چغندرقند، افزایش عملکرد شکر قابل استحصال در واحد سطح است که خود ترکیبی پیچیده از دو مؤلفه اصلی عملکرد ریشه (کمیت) و کیفیت تکنولوژیک آن است (Hassani *et al.*, 2024a; Panella and Lewellen, 2011). عملکرد ریشه، به‌عنوان یک صفت کمی، تحت کنترل چندین ژن است و به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی قرار دارد (Saremirad *et al.*, 2023). از سوی دیگر، کیفیت تکنولوژیک که با شاخص‌هایی نظیر درصد قند، خلوص شربت و میزان ناخالصی‌های ملاس‌زا (سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه) سنجیده می‌شود، تعیین‌کننده راندمان استحصال شکر در کارخانه‌های قند است (Gippert *et al.*, 2022; Hoffmann, 2010; Martínez-Arias *et al.*, 2017). چالش اصلی در این مسیر، وجود یک همبستگی ژنتیکی منفی و شناخته‌شده بین عملکرد ریشه و درصد قند است (Hassani *et al.*, 2024a)؛ به این معنی که افزایش یکی غالباً به قیمت کاهش دیگری تمام می‌شود. این تضاد فیزیولوژیک، فرآیند گزینش ژنوتیپ‌های ایده‌آل را به یک برنامه پیچیده تبدیل کرده است و شناسایی ارقامی که بتوانند تعادل مطلوبی بین این صفات متضاد برقرار کنند، نیازمند ارزیابی‌های دقیق و جامع است (Hassani *et al.*, 2024a; Taleghani *et al.*, 2023).

در طول قرن گذشته، به‌نژادی چغندرقند به موفقیت‌های چشمگیری دست یافته است. عیار قند از حدود ۸ درصد در ارقام اولیه به بیش از ۱۸ درصد در هیبریدهای پیشرفته افزایش یافته است (Dohm *et al.*, 2014) و مقاومت به بیماری‌های مهمی مانند ریزومانیا، ریزوکتونیا، نماتد و لکه برگی سرکوسپورایی به‌طور گسترده‌ای در ارقام تجاری وارد شده است (Ebrahimi Koulaei *et al.*, 2019; Hassani *et al.*, 2024b; Mahmoudi *et al.*, 2019; Sadeghzadeh Hemayati *et al.*, 2025a; Sadeghzadeh Hemayati *et al.*, 2025b). صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2023) در ارزیابی ۱۵۵ هیبرید چغندرقند، وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی را برای صفات کلیدی همچون عملکرد ریشه و شکر گزارش کردند. آن‌ها همچنین نشان دادند که عملکرد ریشه بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد شکر داشت که این امر اهمیت گزینش بر اساس این صفت را نمایان می‌سازد. در مطالعه‌ای دیگر، حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2024c) با ارزیابی ۴۹ ژنوتیپ جدید، بر وجود تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه در میان هیبریدهای اصلاحی اذعان کردند و با استفاده از شاخص‌های گزینشی موفق به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد شکر سفید بالا شدند. این مطالعات مؤید آن است که ژرم‌پلاسم چغندرقند ایران از تنوع غنی و ارزشمندی برخوردار است که می‌تواند موفقیت برنامه‌های گزینش را افزایش دهد. با این وجود، فشار دائمی برای افزایش بهره‌وری و نیاز به سازگاری با شرایط اقلیمی متغیر، ایجاب می‌کند که فرآیند ارزیابی و معرفی هیبریدهای جدید یک چرخه مستمر داشته باشد.

با عنایت به اهمیت راهبردی چغندرقند و چالش مستمر در دستیابی به ژنوتیپ‌هایی با تعادل مطلوب بین عملکرد کمی و کیفی، ارزیابی دقیق پتانسیل ژنتیکی هیبریدهای جدید یک گام اساسی در جهت پیشبرد اهداف به‌نژادی است؛ بنابراین، پژوهش حاضر با هدف اصلی ارزیابی پتانسیل ژنتیکی و گزینش هیبریدهای برتر چغندرقند بر پایه عملکرد و کیفیت تکنولوژیک طراحی و اجرا گردید. در این راستا، اهداف جزئی تعیین میزان تنوع ژنتیکی برای صفات مهم کمی و کیفی در بین هیبریدهای مورد ارزیابی و شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر جهت به‌کارگیری در برنامه‌های اصلاحی آینده و یا معرفی برای کشت در مناطق مشابه نیز دنبال شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این بررسی، از یک مجموعه شامل ۱۴۴ ژنوتیپ چغندرقند استفاده شد. این مجموعه متشکل از ۱۳۱ هیبرید آزمایشی جدید، نه رقم شاهد داخلی شامل آرتا، دنا، اکباتان، حسنا، کیمیا، نیکا، شکوفا، سینا و تارا و چهار رقم شاهد خارجی شامل Albus، BTS6975N، Denzel و Joker بود. هیبریدهای آزمایشی، حاصل برنامه‌های به‌نژادی با هدف انتقال ژن مقاومت به بیماری‌های ریزومانیا، ریزوکتونیا و نماتد به پس‌زمینه ژنتیکی ژنوتیپ‌های مطلوب از نظر عملکرد و کیفیت بودند.

طرح آزمایشی و مدیریت مزرعه

آزمایش حاضر در بهار سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه چغندرقند کرج وابسته به مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند اجرا گردید. این ایستگاه از نظر جغرافیایی در ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱۲۴۴ متری از سطح دریا قرار دارد. بر

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

اساس داده‌های هواشناسی بلندمدت (Anonymous, 2021)، منطقه کرج دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین دمای سالانه در این منطقه ۱۴/۴ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر هستند (Anonymous, 2021). دما و بارندگی ایستگاه منتخب در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

ژنوتیپ‌ها در قالب طرح آگمنت در پنج بلوک ناقص کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل یک ردیف به طول ۸ متر با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. ارقام شاهد خارجی در هر یک از پنج بلوک به‌صورت کامل و تصادفی تکرار شدند. به‌منظور اطمینان از استقرار مناسب بوته‌ها، کشت با تراکم بالا انجام و در مرحله دو تا چهار برگی، بوته‌ها تنک شدند تا تراکم نهایی به ۱۰۰ هزار بوته در هکتار برسد. کلیه عملیات زراعی شامل آبیاری، مدیریت تغذیه و کنترل علف‌های هرز بر اساس توصیه‌های فنی استاندارد برای منطقه انجام پذیرفت. پایش آفات و بیماری‌ها به‌صورت منظم در طول فصل رشد صورت گرفت.

جدول ۱- مشخصات آب و هوایی ایستگاه تحقیقات چغندرقند مهندس مطهری
Table 1. Weather characteristics at Motahari's Sugar Beet Research Stations

ماه Month	حداکثر دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	حداقل دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
۱۳ فروردین- ۱۱ اردیبهشت April	19.57	6.47	43.00
۱۲ اردیبهشت- ۱۱ خرداد May	24.77	10.61	21.00
۱۲ خرداد- ۱۰ تیر June	30.07	14.80	12.00
۱۱ تیر- ۱۰ مرداد July	33.00	18.65	0.00
۱۱ مرداد- ۱۰ شهریور August	31.19	17.71	1.00
۱۱ شهریور- ۹ مهر September	26.90	13.73	0.00
۱۰ مهر- ۱۰ آبان October	19.65	8.16	25.00

اندازه‌گیری صفات

برداشت در تاریخ دهم آبان ماه با حذف حاشیه ۰/۵ متری از ابتدا و انتهای هر ردیف انجام شد. ریشه‌های حاصل از سطح برداشت هر کرت شمارش و توزین شدند و عملکرد ریشه نهایی برحسب تن در هکتار محاسبه گردید. نمونه‌ای تصادفی از ریشه‌های هر کرت پس از شستشو، جهت تجزیه کیفی به آزمایشگاه منتقل شد. خمیر نمونه‌ها با استفاده از دستگاه خودکار ونما (Venema) تهیه و صفت کیفی درصد قند ناخالص با استفاده از دستگاه بتالایزر (Betalyzer) اندازه‌گیری شد. سپس، عملکرد شکر به‌عنوان یک شاخص کلیدی از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Cooke & Scott, 1993; Reinfeld *et al.*, 1974):

رابطه ۱: $$SY = SC \times RY$$

در این رابطه، SY عملکرد شکر برحسب تن در هکتار، SC درصد قند ناخالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه و RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار هستند.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش، پس از بررسی مفروضات آماری شامل آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها و همگنی واریانس‌ها، مورد تجزیه قرار گرفتند. ابتدا، تجزیه واریانس بر اساس مدل آماری طرح آگمنت با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد (R Core Team, 2018). سپس، میانگین‌های هیبریدهای آزمایشی برای اثرات بلوک، تصحیح و از این میانگین‌های تصحیح‌شده برای تجزیه‌های بعدی استفاده گردید. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفاتی که در تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری نشان دادند، با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

واریانس‌های ژنتیکی و فنوتیپی بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات حاصل از جدول تجزیه واریانس (Comstock & Robinson, 1952) برآورد شدند. سپس، ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی و پیش‌بینی پیشرفت ژنتیکی با شدت گزینش ۱۰ درصد طبق روابط ۲ تا ۵ پیشنهاد شده توسط فالکونر (Falconer, 1996) و سینگ و چادری (Singh & Chaudhary, 1996) محاسبه شدند.

رابطه ۲: $$PCV\ (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_P^2}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۳: $$GCV\ (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۴: $$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_n^2} \times 100$$

رابطه ۵: $$GA = k \times \sigma_p \times h^2$$

در این روابط، σ_p^2 واریانس فنوتیپی، σ_g^2 واریانس ژنتیکی، $\bar{X}$ میانگین صفت، h^2 وراثت‌پذیری عمومی، k شدت گزینش و σ_p انحراف معیار فنوتیپی هستند.

به‌منظور گزینش هم‌زمان ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت، از شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (Selection Index of Ideal Genotype - SIIG) استفاده شد. در این روش، ابتدا داده‌ها با استفاده از رابطه ۶ نرمال‌سازی شدند. سپس فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل طبق روابط ۷ و ۸ محاسبه گردید. در نهایت، مقدار شاخص SIIG برای هر ژنوتیپ بر اساس رابطه ۹ محاسبه شد. ژنوتیپی که بالاترین مقدار SIIG را کسب کند، به‌عنوان ژنوتیپ برتر و نزدیک‌ترین گزینه به ژنوتیپ ایده‌آل معرفی می‌شود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

رابطه ۶: $$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum X_{ij}^2}}$$

رابطه ۷: $$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{g} (r_{ij} - r_i^+)^2}$$

رابطه ۸: $$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{g} (r_{ij} - r_i^-)^2}$$

رابطه ۹: $$SIIG = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}$$

علاوه بر این، برای طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها و درک روابط بین آن‌ها، تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward بر اساس صفات عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای سه صفت عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر در جدول ۲ ارائه شده‌اند. معنی‌دار نبودن اثر بلوک تصحیح‌شده برای تمام صفات مورد بررسی، نشان‌دهنده همگنی نسبی شرایط محیطی در بلوک‌های آزمایشی و دقت مناسب در اجرای آزمایش بود. اثر تیمارهای تصحیح‌شده برای عملکرد شکر در سطح احتمال یک درصد و عملکرد ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید که این امر مؤید وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در بین کل ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی (هیبریدها و شاهدها) برای این دو صفت مهم است. وجود تنوع ژنتیکی، پیش‌نیاز اصلی برای موفقیت در برنامه‌های گزینش و اصلاح نباتات است و نشان می‌دهد که می‌توان ژنوتیپ‌های برتر را از میان این جمعیت شناسایی نمود (Rajabi *et al.*, 2023). در مقابل، عدم وجود تفاوت معنی‌دار برای صفت درصد قند ناخالص در بین تیمارها می‌تواند به دلیل فشار بالای گزینش در برنامه‌های اصلاحی گذشته برای این صفت باشد که منجر به کاهش دامنه تنوع آن در مواد ژنتیکی پیشرفته شده است.

تفکیک اثر تیمارها به هیبریدها و شاهدها نشان داد که منبع اصلی تنوع مشاهده‌شده، ناشی از تفاوت‌های درون‌گروهی هیبریدها و شاهدها بود، به‌طوری که اثر هیبریدها برای عملکرد شکر و عملکرد ریشه به‌ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. این نتیجه بسیار حائز اهمیت است، زیرا نشان می‌دهد که هیبریدهای آزمایشی جدید، خود دارای پتانسیل ژنتیکی متفاوتی برای بهبود عملکرد هستند. این نتیجه با نتایج مطالعه صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2023) که تنوع معنی‌داری را هم در بین هیبریدها و هم در بین شاهدها گزارش کردند، همخوانی دارد. در مقابل، حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2024c) تنوع معنی‌دار را عمدتاً ناشی از تفاوت بین ارقام شاهد دانستند و هیبریدهای آن‌ها از نظر عملکرد ریشه یکنواخت بودند که این تفاوت می‌تواند به ماهیت متفاوت مواد ژنتیکی والدینی مورد استفاده در هر مطالعه نسبت داده شود.

نتیجه قابل‌توجه دیگر این مطالعه، معنی‌دار بودن اثر تقابل هیبرید در برابر شاهد برای صفات عملکرد شکر و درصد قند ناخالص بود. این نتیجه نشان می‌دهد که هیبریدهای آزمایشی به‌طور میانگین از نظر این دو صفت، عملکرد متفاوتی نسبت به گروه شاهدها داشتند که این امر می‌تواند نویدبخش موفقیت در جایگزینی ارقام قدیمی با هیبریدهای جدید و برتر باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف مورد مطالعه ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی
Table 2. Analysis of variance for different studied traits in experimental sugar beet genotypes

عملکرد شکر Sugar yield	درصد قند ناخالص Sugar content	عملکرد ریشه Root yield	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
3.40^{ns}	0.83^{ns}	120.02^{ns}	4	بلوک Block (adj)
5.07**	1.32^{ns}	180.65*	143	تیمار Treatment (adj)
4.39**	0.99^{ns}	178.28*	139	هیبرید Hybrid
34.47**	1.73^{ns}	1081.67**	3	شاهد Check
52.25**	47.20**	150.24^{ns}	1	هیبرید: شاهد Hybrid vs. Check
1.14	0.83	52.95	12	خطا Error
8.46	5.96	8.82		ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.
ns, *, **: non-significant and significant at five and one percent probability levels, respectively.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها (جدول ۳) تنوع قابل‌توجهی را در صفات آشکار نمود. در صفت عملکرد ریشه، دامنه وسیعی از ۵۰/۸۰ تن در هکتار (ژنوتیپ ۳۷۴۲۱) تا ۱۱۴/۷۴ تن در هکتار (ژنوتیپ ۳۷۳۵۰) مشاهده شد. این اختلاف زیاد، پتانسیل بالای این ژنوتیپ‌ها را برای گزینش مستقیم جهت افزایش عملکرد ریشه نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های ۳۷۳۵۰ و ۳۵۴۵۸ به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۱۱۴/۷۴ و ۱۱۴/۱۸ تن در هکتار نه‌تنها پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌های این آزمایش از نظر عملکرد ریشه بودند، بلکه عملکردی فراتر از بهترین شاهد خارجی یعنی رقم BTS6975N با میانگین عملکرد ریشه ۱۰۵/۹۳ تن در هکتار از خود نشان دادند. علاوه بر این، ژنوتیپ‌های ۳۷۳۳۷ با میانگین عملکرد ۱۰۹/۹۹ تن در هکتار، ۳۷۳۳۱ با میانگین عملکرد ۱۰۷/۳۳ تن در هکتار و ۳۵۱۵۹ با میانگین عملکرد ۱۰۶/۲۴ تن در هکتار در گروه ژنوتیپ‌های پرمحصول از نظر عملکرد ریشه قرار گرفتند که نشان‌دهنده وجود چندین منبع ژنتیکی امیدبخش برای این صفت است.

در مقابل، برای صفت درصد قند ناخالص، اگرچه تنوع به‌اندازه عملکرد ریشه نبود، اما ژنوتیپ‌های شاخصی یافت شدند. ژنوتیپ ۳۷۳۳۳ با ثبت میزان ۱۷/۵۷ درصد، بالاترین عیار قند را داشت. ژنوتیپ‌های ۳۷۳۷۲ و ۳۷۳۶۱ به ترتیب با قند ناخالص ۱۷/۳۷ و ۱۷/۳۴ درصد، پس از ژنوتیپ ۳۷۳۳۳ بیشترین درصد قند را داشتند که از نظر آماری هم‌تراز با رقم شاهد BTS6975N با عیار قند ۱۷/۳۰ درصد بود. نتیجه جالب توجه، درصد قند ناخالص ژنوتیپ‌های ۳۷۳۱۶ (۱۷/۲۲ درصد) و ۳۷۴۱۳ (۱۷/۰۴ درصد) بود که با وجود عملکرد ریشه متوسط، پتانسیل ژنتیکی بالایی را برای ذخیره ساکارز نشان دادند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند منابع ژنی ارزشمندی برای برنامه‌های تلاقی با هدف بهبود مستقیم عیار قند باشند.

ارزیابی نهایی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد شکر که مهم‌ترین شاخص اقتصادی است، نتایج را غنی‌تر نمود. ژنوتیپ ۳۵۴۵۸ با عملکرد شکر ۱۷/۶۱ تن در هکتار به‌عنوان بهترین هیبرید آزمایشی، عملکردی معادل با بهترین شاهد خارجی یعنی رقم BTS6975N با میانگین عملکرد شکر ۱۷/۷۰ تن در هکتار داشت و به‌طور قابل ملاحظه‌ای از شاهدهای برتر داخلی نظیر تارا با میانگین عملکرد شکر ۱۴/۷۶ تن در هکتار و حسنا با میانگین عملکرد شکر ۱۴/۶۲ تن در هکتار پیشی گرفت. ژنوتیپ ۳۷۴۱۲ نیز با ثبت عملکرد شکر ۱۷/۰۲ تن در هکتار که حاصل ترکیب عملکرد ریشه بالا با میانگین ۹۸/۷۱ تن در هکتار و درصد قند ناخالص خوب به‌میزان ۱۶/۶۹ درصد بود، تحت عنوان یک ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شد. ژنوتیپ‌های ۳۷۳۵۰ و ۳۷۳۲۴ به ترتیب با میانگین‌های عملکرد شکر ۱۶/۷۲ و ۱۶/۶۶ تن در هکتار نیز در گروه بهترین ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند و توانایی بالای خود را برای تولید شکر به اثبات رساندند.

نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات پیشین همسو هستند. حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2024b; Hassani *et al.*, 2024c) و صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh Hemayati *et al.*, 2025b) نیز در پژوهش خود موفق به شناسایی هیبریدهایی شدند که از نظر عملکرد شکر بر شاهدهای داخلی برتری داشتند. موفقیت در شناسایی چندین هیبرید جدید با عملکرد شکر بالا که قادر به رقابت یا حتی برتری نسبت به ارقام تجاری خارجی هستند، نشان‌دهنده پویایی و موفقیت برنامه‌های اصلاحی چغندرقند در کشور است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که در این مجموعه ژنتیکی، عملکرد ریشه عامل تعیین‌کننده‌تری در عملکرد نهایی شکر است. بنابر این، گزینش بر پایه عملکرد ریشه بسیار بالا، ضمن حفظ درصد قند در سطح قابل قبول، می‌تواند مؤثرترین رویکرد برای دستیابی به حداکثر عملکرد شکر باشد.

به‌منظور درک بهتر اساس ژنتیکی تنوع مشاهده‌شده، پارامترهای ژنتیکی برآورد شدند و نتایج آن در شکل‌های ۱ تا ۳ نمایش داده شده‌اند. تجزیه ضرایب تنوع (شکل ۱) نشان داد که بیشترین تنوع فنوتیپی متعلق به صفت عملکرد شکر با مقدار تقریبی ۱۶/۵۰ درصد بود و پس از آن عملکرد ریشه با ۱۵/۵۰ درصد قرار داشت. ضریب تنوع ژنتیکی نیز همین روند را دنبال کرد و برای عملکرد شکر و عملکرد ریشه به ترتیب حدود ۱۴/۲۰ و ۱۳ درصد برآورد شد. این مقادیر، هر دو صفت را در دسته صفات با تنوع متوسط قرار می‌دهد (Saremirad *et al.*, 2023). نکته بسیار مهم، فاصله ناچیز بین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی برای این دو صفت بود که نشان می‌دهد بخش اعظم تنوع مشاهده شده (بیش از ۸۵ درصد برای هر دو صفت) منشأ ژنتیکی دارند و اثرات محیطی سهم اندکی در بروز آن‌ها داشته‌اند. در مقابل، صفت درصد قند با مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی بسیار پایین (به ترتیب ۷/۵۰ و ۳ درصد)، تنوع ژنتیکی محدودی را نشان داد و فاصله بیشتر بین این دو ضریب، بیانگر تأثیرپذیری بالاتر این صفت از عوامل محیطی بود. این نتایج کاملاً با نتایج صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2023) که آن‌ها نیز ضرایب تنوع بالا و نزدیک به هم را برای عملکرد ریشه و شکر گزارش کردند، همخوانی داشت.

وراثت‌پذیری عمومی، این نتایج را به شکل واضح‌تری آشکار کرد (شکل ۲). صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر، وراثت‌پذیری بسیار بالایی به‌ترتیب به میزان ۷۰/۸۰ و ۷۴/۳۰ درصد از خود نشان دادند. چنین مقادیر بالایی بیانگر کنترل غالب ژنتیکی و قابلیت اعتماد بالای فنوتیپ به‌عنوان نماینده ژنوتیپ برای این صفات است. در نقطه مقابل، وراثت‌پذیری صفت درصد قند ناخالص تنها ۱۵/۸۰ درصد بود که آن را در دسته صفات با وراثت‌پذیری پایین و پاسخ ضعیف به گزینش مستقیم قرار می‌دهد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند

Table 3. Mean comparisons of the studied traits in experimental sugar beet genotypes

عملکرد شکر (تن در هکتار) Sugar yield ($t.ha^{-1}$)	درصد قند ناخالص Sugar content (%)	عملکرد ریشه (تن در هکتار) Root yield ($t.ha^{-1}$)	ژنوتیپ Genotype	بلوک Block	عملکرد شکر (تن در هکتار) Sugar yield ($t.ha^{-1}$)	درصد قند ناخالص Sugar content (%)	عملکرد ریشه (تن در هکتار) Root yield ($t.ha^{-1}$)	ژنوتیپ Genotype	بلوک Block
8.78	14.39	62.55	37366	3	16.43	15.58	106.24	35159	1
9.12	14.39	64.80	37374	3	12.93	15.33	84.99	35170	1
9.77	13.59	72.80	37387	3	13.78	14.48	95.49	35253	1
10.93	13.99	78.80	37394	3	13.25	15.63	85.49	35439	1
11.00	14.59	76.30	37396	3	10.80	13.58	79.49	35454	1
14.21	15.49	92.05	37401	3	14.54	15.53	94.36	37312	1
12.77	14.99	85.68	37408	3	10.42	14.88	70.49	37317	1
12.12	14.84	82.30	37411	3	10.72	15.83	68.49	37321	1
12.07	15.39	79.30	37417	3	16.66	16.33	102.99	37324	1
10.65	14.69	73.55	37419	3	11.58	16.23	72.24	37325	1
7.55	15.54	50.80	37421	3	12.78	15.53	82.99	37329	1
13.51	14.79	91.55	Nika	3	13.10	14.88	88.49	37336	1
9.25	12.53	69.58	35235	4	15.46	14.08	109.99	37337	1
14.28	14.69	93.58	37315	4	10.31	14.53	71.24	37342	1
10.16	14.39	66.83	37320	4	9.03	14.43	62.86	37343	1
10.59	14.19	70.83	37330	4	16.72	14.63	114.74	37350	1
15.17	13.64	107.33	37331	4	12.15	16.48	74.74	37368	1
14.65	15.64	90.21	37334	4	11.32	15.18	75.11	37373	1
14.44	16.09	86.33	37338	4	8.13	12.43	64.74	37379	1
12.33	14.54	81.08	37339	4	12.85	14.03	91.74	37380	1
13.96	15.54	86.33	37345	4	10.92	15.33	71.86	37381	1
12.31	14.69	80.08	37348	4	13.33	15.73	85.49	37398	1
14.58	15.94	88.08	37358	4	14.16	15.63	91.36	37402	1
11.32	17.34	62.08	37361	4	11.82	13.83	85.49	37404	1
15.46	16.74	89.08	37362	4	15.36	15.03	102.74	37414	1
13.77	15.24	86.83	37369	4	12.05	14.53	83.24	37416	1
13.43	14.39	89.58	37370	4	14.62	16.33	90.49	Hosna	1
12.78	15.14	80.83	37371	4	14.76	14.53	101.99	Tara	1
12.39	15.19	77.96	37377	4	12.81	15.02	86.05	35285	2
10.22	15.04	64.33	37378	4	13.24	15.72	84.93	35442	2
12.45	16.74	71.08	37382	4	17.61	15.67	114.18	35458	2
12.62	14.94	80.83	37385	4	13.89	15.52	90.43	35474	2
12.74	13.94	87.58	37386	4	10.65	15.37	69.42	37310	2
13.78	15.14	87.46	37410	4	11.13	15.07	74.18	37311	2
17.02	16.69	98.71	37412	4	9.29	16.37	56.43	37313	2
14.18	17.04	79.96	37413	4	10.88	16.07	67.80	37314	2
13.83	15.09	88.08	37415	4	7.44	13.62	54.18	37319	2
12.47	14.34	83.21	Dena	4	14.23	14.87	96.93	37323	2
11.17	16.04	66.21	Kimya	4	14.02	15.87	89.18	37327	2
12.59	13.54	89.08	Shokoufa	4	10.08	16.57	60.68	37332	2
9.69	13.77	73.21	34031	5	12.78	17.57	72.93	37333	2
12.58	13.32	97.83	35473	5	10.94	14.22	77.42	37340	2
14.70	13.62	98.73	35481	5	11.63	17.07	68.18	37346	2
11.89	15.52	78.21	37309	5	10.51	15.72	66.93	37349	2
13.58	17.22	79.46	37316	5	14.22	15.97	89.93	37355	2
9.47	15.27	63.71	37318	5	14.94	17.37	86.68	37372	2
10.56	15.07	71.96	37326	5	11.11	14.22	78.68	37375	2
11.69	16.12	73.71	37328	5	12.96	15.37	85.05	37376	2
14.43	14.87	99.21	37347	5	11.79	15.02	79.05	37392	2
14.91	16.17	93.46	37352	5	11.50	14.32	80.93	37395	2
12.33	15.87	79.08	37354	5	13.10	14.77	89.68	37399	2
13.46	14.82	92.96	37360	5	14.93	16.32	92.43	37400	2
14.91	15.37	98.73	37363	5	15.94	15.37	105.18	37403	2
13.83	15.57	90.46	37367	5	12.27	16.77	73.43	37406	2
10.94	14.47	77.96	37383	5	14.61	15.37	96.18	37418	2
12.26	14.92	84.21	37384	5	9.83	15.87	61.80	Sina	2
12.83	15.62	83.71	37388	5	14.32	14.89	96.17	35167	3
8.91	15.17	60.46	37389	5	14.09	14.74	95.55	35169	3
8.73	12.72	72.46	37390	5	10.82	11.99	89.80	35195	3
8.78	13.27	69.46	37391	5	11.81	12.79	92.05	35270	3
13.57	14.37	96.96	37393	5	13.56	13.89	97.30	35468	3
11.73	15.12	79.46	37397	5	14.03	13.89	100.55	37322	3
8.80	14.97	60.71	37405	5	13.41	14.59	92.05	37335	3
14.83	16.37	91.71	37407	5	10.75	15.34	71.30	37341	3
11.97	16.07	75.71	37409	5	11.70	13.99	84.05	37344	3
9.86	15.42	65.58	37420	5	14.20	15.19	93.68	37351	3
12.77	14.57	89.96	Arta	5	13.78	16.04	86.55	37353	3
10.41	14.42	74.58	Ekbatan	5	12.40	15.69	79.93	37356	3
11.43	15.99	71.4	Albus	-	10.81	15.59	70.68	37357	3
17.70	17.3	105.93	BTS6975N	-	9.19	14.39	65.30	37359	3
14.01	17.09	82.08	Denzel	-	10.32	14.89	70.55	37364	3
13.31	16.54	80.80	Joker	-	10.02	15.59	65.80	37365	3
					مقایسه میانگین Mean comparison				
1.31	1.12	8.91			یک تیمار آزمایشی و یک تیمار شاهد A test treatment and a control treatment				
0.67	0.58	4.60			تیمارهای شاهد Control treatments				
1.69	1.44	11.51			دو تیمار آزمایشی در بلوک‌های مختلف Two test treatments in different blocks				
1.51	1.29	10.29			دو تیمار آزمایشی در بلوک‌های مشابه Two test treatments in same block)				

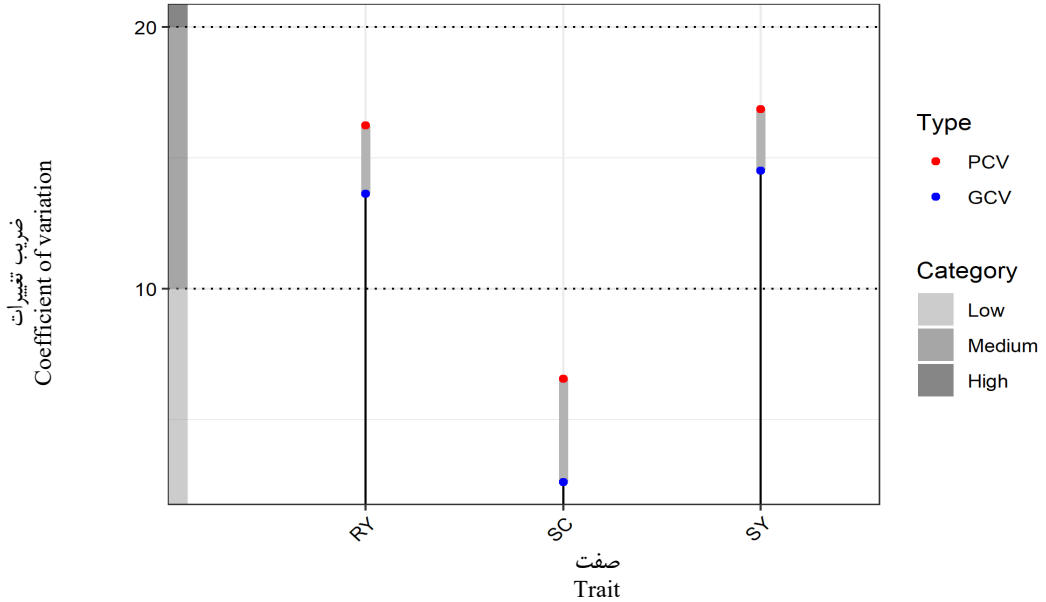
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

برای پیش‌بینی پاسخ به گزینش، پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار به‌عنوان درصدی از میانگین محاسبه شد (شکل ۳). عملکرد ریشه با مقدار پیشرفت ژنتیکی حدود ۲۲ درصد و عملکرد شکر با ۲۵ درصد، هر دو در دسته صفات با پیشرفت ژنتیکی بالا قرار گرفتند. ترکیب وراثت‌پذیری بالا با پیشرفت ژنتیکی بالا، قوی‌ترین دلیل مبنی بر غلبه اثرات افزایشی ژن‌ها در کنترل یک صفت است (Johnson *et al.*, 1955) و نشان می‌دهد که گزینش فنوتیپی ساده می‌تواند منجر به بهبود ژنتیکی قابل توجهی در نسل‌های بعد شود. این موضوع مجدداً یافته‌های صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2023) را تأیید کرد. در مقابل، پیشرفت ژنتیکی ناچیز برای درصد قند ناخالص (کمتر از ۲ درصد) نشان‌دهنده عدم کارایی گزینش مستقیم برای بهبود این صفت در این مجموعه ژنتیکی خاص است.

در مجموع، پایین بودن وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی برای صفت درصد قند در این ژرم‌پلاسم می‌تواند ناشی از موفقیت برنامه‌های اصلاحی گذشته باشد که با گزینش شدید برای این صفت، آلل‌های مطلوب را تثبیت کرده‌اند و در نتیجه تنوع را کاهش داده‌اند. در مقابل، تنوع بالا برای عملکرد ریشه نشان می‌دهد که هنوز پتانسیل قابل توجهی برای بهبود این صفت از طریق گزینش وجود دارد. این موضوع، راهبرد تمرکز بر عملکرد ریشه ضمن حفظ درصد قند را از نظر ژنتیکی توجیه می‌کند.

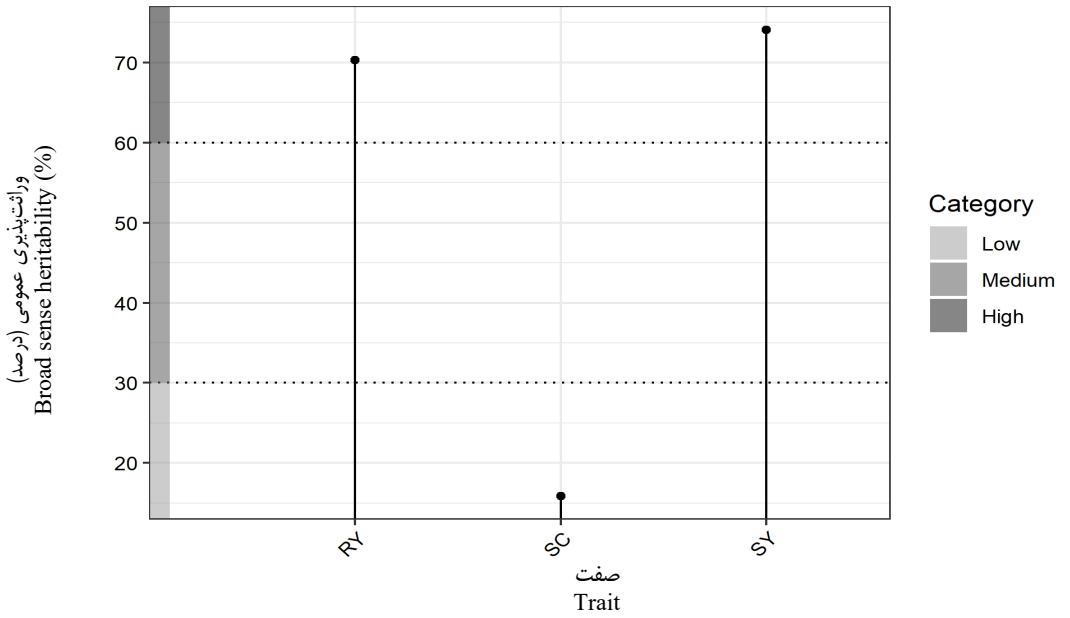
تفاوت در نتایج مطالعات مختلف، مثلاً مطالعه طالقانی و همکاران (Taleghani *et al.*, 2024) که بر نقش اثرات غیر افزایشی تأکید داشتند، می‌تواند به ساختار ژنتیکی متفاوت مواد گیاهی بازگردد. می‌توان نتیجه گرفت که موفقیت هیبریدهای برتر در این مطالعه، حاصل ترکیبی از تجمع آلل‌های مطلوب با اثر افزایشی که منجر به وراثت‌پذیری بالا در صفات عملکردی شده و احتمالاً بهره‌گیری از ترکیب‌های هتروتیک مطلوب بوده است. در نهایت، تجزیه پارامترهای ژنتیکی نشان می‌دهد که گزینش مستقیم برای افزایش عملکرد ریشه، به‌دلیل کنترل ژنتیکی ساده‌تر و پاسخ قابل پیش‌بینی‌تر به گزینش، مؤثرترین و کارآمدترین راه برای دستیابی به عملکرد شکر بالاتر در این ژرم‌پلاسم است.



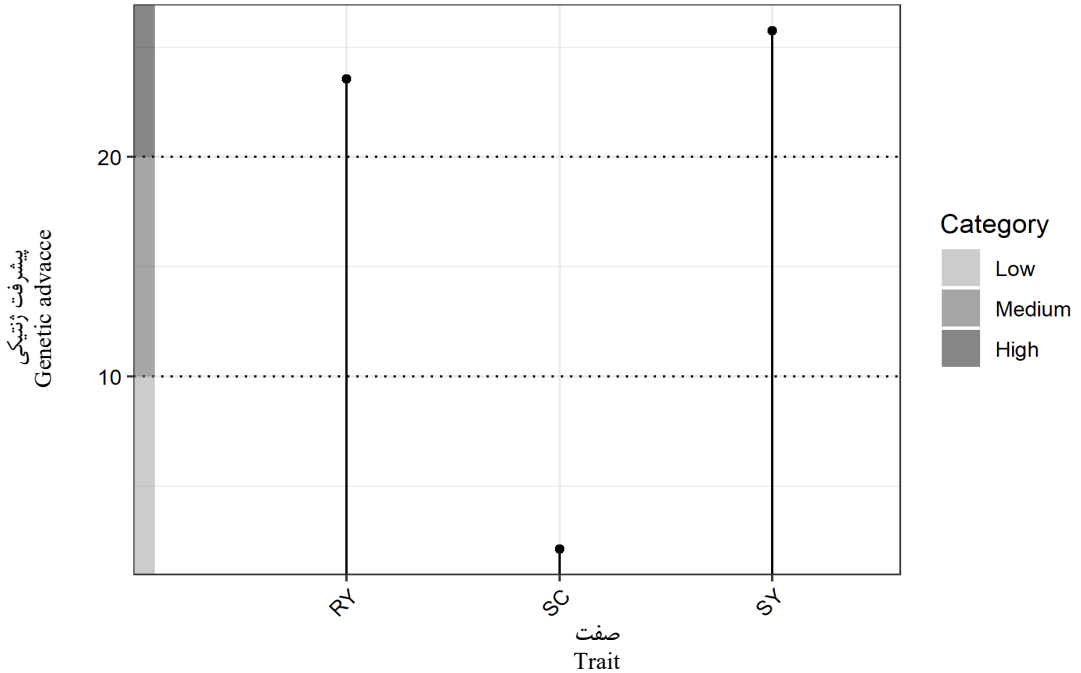
شکل ۱- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی (RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، SY: عملکرد شکر، PCV: ضریب تغییرات فنوتیپی، GCV: ضریب تغییرات ژنتیکی)

Figure 1. Grouping of different studied traits based on the phenotypic and genotypic coefficients (RY: Root yield, SC: Sugar content, SY: Sugar yield, PCV: Phenotipic coefficient of variation, GCV, Genotipic coefficient of variation)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]



شکل ۲- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس وراثت‌پذیری (RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، SY: عملکرد شکر)
Figure 2. Grouping of different studied traits based on the heritability (RY: Root yield, SC: Sugar content, SY: Sugar yield)



شکل ۳- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس پیشرفت ژنتیکی (RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، SY: عملکرد شکر)
Figure 3. Grouping of different studied traits based on the genetic advance (RY: Root yield, SC: Sugar content, SY: Sugar yield)

برای دستیابی به یک گزینش جامع و همزمان بر اساس صفات کلیدی و مستقلِ عملکرد ریشه و درصد قند، از شاخص SIIG استفاده شد. این شاخص با رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس فاصله آن‌ها از یک ژنوتیپ ایده‌آل فرضی، ابزاری قدرتمند را برای شناسایی ژنوتیپ‌های متعادل و برتر فراهم می‌کند. نتایج رتبه‌بندی ۱۴۴ ژنوتیپ در جدول ۴ ارائه شده‌اند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، شاهد برتر خارجی BTS6975N با کسب بالاترین امتیاز شاخص SIIG (۰/۸۸) به‌عنوان نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شد. نتیجه بسیار امیدوارکننده، قرار گرفتن هیبرید آزمایشی ۳۵۴۵۸ با امتیاز ۰/۸۵ در رتبه دوم بود. این ژنوتیپ که در مقایسه میانگین نیز بالاترین عملکرد شکر را داشت، در اینجا نیز برتری خود را به‌عنوان یک ژنوتیپ امیدبخش به اثبات رساند. شباهت بالای بین نتایج گزینش بر اساس عملکرد شکر و رتبه‌بندی SIIG، اعتبار ژنوتیپ‌های

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

شناسایی‌شده را دوچندان می‌کند و نشان می‌دهد که این هیبریدها نه‌تنها در یک صفت، بلکه در مجموعه‌ای از صفات مهم برتری دارند.

استفاده از شاخص SIIG برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر چغندرقند در مطالعات دیگر نیز با موفقیت همراه بوده است. به‌عنوان مثال، حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2024c) با استفاده از این شاخص که صفات کیفی ناخالصی را نیز در بر می‌گرفت، موفق به شناسایی ژنوتیپ‌های برتری شدند که فاصله کمی از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند. موفقیت این شاخص در شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب در محصولات مختلفی مانند گندم (Najafi Mirak *et al.*, 2018)، عدس (Amiri *et al.*, 2021) و کلزا (Abdollahi Hesar *et al.*, 2021) تحت شرایط نرمال و تنش نیز توسط محققان متعددی گزارش شده است. این گستردگی کاربرد، مؤید کارایی و اعتبار شاخص SIIG به‌عنوان یک ابزار گزینش چندمعیاره است که با تبدیل چندین صفت به یک شاخص واحد، فرآیند تصمیم‌گیری را برای به‌نژادگران تسهیل می‌کند. در مجموع، نتایج این بخش نشان می‌دهند که ژنوتیپ‌های قرار گرفته در صدر از نظر شاخص SIIG، بهترین کاندیداها برای ورود به آزمایش‌های پیشرفته‌تر، معرفی به کشاورزان و یا استفاده به‌عنوان والدین در دور بعدی تلاقی‌ها هستند.

جدول ۴- مقادیر و رتبه شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند

Table 4. Values and ranks of the selection index of the ideal genotype (SIIG) in experimental sugar beet genotypes

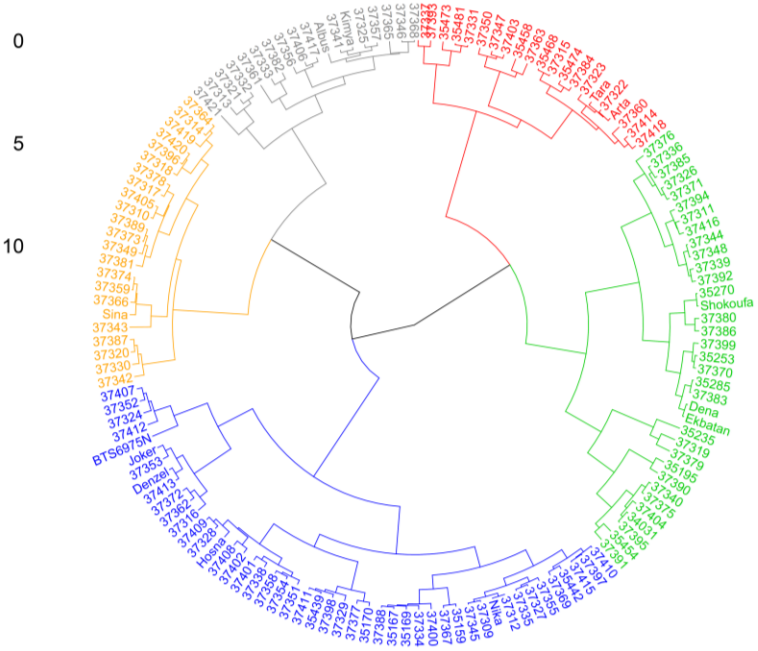
رتبه Rank	امتیاز Score	ژنوتیپ Genotype	رتبه Rank	امتیاز Score	ژنوتیپ Genotype
3	0.82	37363	88	0.48	34031
123	0.35	37364	10	0.76	35159
127	0.33	37365	26	0.67	35167
140	0.25	37366	28	0.66	35169
12	0.75	37367	87	0.49	35170
108	0.40	37368	77	0.51	35195
55	0.59	37369	133	0.30	35235
48	0.60	37370	49	0.60	35253
76	0.51	37371	64	0.56	35270
39	0.63	37372	66	0.56	35285
119	0.36	37373	80	0.50	35439
138	0.27	37374	62	0.56	35442
99	0.44	37375	115	0.37	35454
67	0.55	37376	2	0.85	35458
89	0.47	37377	31	0.66	35468
132	0.30	37378	18	0.71	35473
143	0.15	37379	38	0.63	35474
72	0.54	37380	17	0.73	35481
128	0.33	37381	54	0.59	37309
100	0.44	37382	121	0.36	37310
65	0.56	37383	107	0.41	37311
33	0.65	37384	42	0.61	37312
79	0.50	37385	139	0.26	37313
63	0.56	37386	118	0.36	37314
126	0.34	37387	29	0.66	37315
27	0.66	37388	34	0.64	37316
120	0.36	37389	134	0.30	37317
97	0.44	37390	110	0.40	37318
104	0.42	37391	144	0.11	37319
92	0.47	37392	130	0.31	37320
11	0.76	37393	129	0.31	37321
103	0.43	37394	21	0.69	37322
90	0.47	37395	23	0.68	37323
106	0.41	37396	13	0.75	37324
50	0.60	37397	116	0.37	37325
78	0.50	37398	81	0.50	37326
52	0.59	37399	41	0.62	37327
24	0.68	37400	68	0.55	37328
36	0.64	37401	93	0.47	37329
58	0.58	37402	122	0.35	37330
8	0.78	37403	15	0.74	37331
95	0.45	37404	131	0.31	37332
124	0.35	37405	94	0.47	37333
96	0.45	37406	35	0.64	37334
7	0.79	37407	43	0.61	37335
71	0.54	37408	73	0.52	37336
59	0.57	37409	16	0.73	37337
51	0.60	37410	46	0.61	37338
83	0.49	37411	82	0.50	37339
9	0.78	37412	102	0.43	37340
69	0.55	37413	113	0.38	37341
20	0.70	37414	135	0.29	37342
47	0.60	37415	142	0.19	37343
98	0.44	37416	84	0.49	37344
91	0.47	37417	53	0.59	37345
22	0.69	37418	109	0.40	37346
111	0.38	37419	5	0.80	37347
101	0.43	37420	86	0.49	37348
141	0.24	37421	125	0.34	37349
105	0.41	Albus	6	0.80	37350
19	0.70	Arta	32	0.65	37351
1	0.88	BTS6975N	4	0.80	37352
74	0.52	Dena	57	0.58	37353
60	0.57	Denzel	45	0.61	37354
75	0.51	Ekbatan	37	0.63	37355
56	0.58	Hosna	85	0.49	37356
70	0.54	Joker	112	0.38	37357
117	0.36	Kimya	40	0.63	37358
44	0.61	Nika	137	0.28	37359
61	0.57	Shokoufa	14	0.74	37360
136	0.29	Sina	114	0.37	37361
25	0.67	Tara	30	0.66	37362

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

به‌منظور درک ساختار ژنتیکی جمعیت مورد مطالعه و طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شباهت در عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص، از تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward استفاده شد. نتایج این تجزیه که در قالب یک دندروگرام دایره‌ای نمایش داده شده است (شکل ۴)، ژنوتیپ‌ها را به پنج خوشه کاملاً متمایز تفکیک کرد. این گروه‌بندی به‌وضوح نشان‌دهنده وجود الگوهای فنوتیپی متفاوت و تنوع ژنتیکی قابل توجه در بین هیبریدهای آزمایشی و شاهدها است. خوشه اول (قرمز رنگ) که می‌توان آن را خوشه ژنوتیپ‌های با عملکرد ریشه بالا نامید، شامل ژنوتیپ‌های برتر از نظر میزان عملکرد ریشه مانند ژنوتیپ‌های ۳۵۴۵۸، ۳۷۳۵۰ و ۳۷۴۰۳ به همراه شاهد داخلی تارا بود. در مقابل، خوشه دوم (آبی رنگ)، گروهی است که ژنوتیپ‌های با عملکرد ریشه متعادل و با درصد قند بالا را در خود جای داده بود. حضور رقم شاهد خارجی BTS6975N و هیبریدهایی مانند ۳۷۴۱۲، ۳۷۳۵۲ و ۳۷۴۰۷ در این گروه، گویای توانایی این ژنوتیپ‌ها در برقراری تعادل مطلوب بین عملکرد ریشه بالا و درصد قند بسیار خوب است. جالب توجه است که اکثر ژنوتیپ‌های دارای بالاترین رتبه در شاخص SIIG، در این خوشه قرار گرفته‌اند که اعتبار این گروه را به‌عنوان یک منبع ژنی ایده‌آل نشان می‌دهد.

خوشه سوم (سبز رنگ) عمدتاً ژنوتیپ‌های با عملکرد متوسط را شامل می‌شود. دو خوشه باقی‌مانده (نارنجی و خاکستری)، ژنوتیپ‌های با عملکرد ضعیف‌تر را در بر می‌گیرند. خوشه نارنجی عمدتاً شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکرد ریشه پایین مانند رقم شاهد سینا بود، در حالی که خوشه خاکستری مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های با عملکرد ریشه پایین اما درصد قند نسبتاً خوب را شامل شد. تفکیک واضح ژنوتیپ‌ها به خوشه‌های متمایز، فاصله ژنتیکی قابل توجه بین گروه‌ها را اثبات می‌کند که این امر برای به‌نژادگران بسیار ارزشمند است. انجام تلاقی بین والدین منتخب از خوشه‌های ژنتیکی دور از هم به‌خصوص تلاقی بین ژنوتیپ‌های خوشه اول (عملکرد ریشه بالا) و خوشه دوم (کیفیت بالا) می‌تواند پتانسیل بالایی برای بروز پدیده هتروزیس و ایجاد نوترکیبی‌های ژنی مطلوب در نسل‌های بعدی داشته باشد. بنابراین، نتایج این تجزیه نه‌تنها ساختار جمعیت را روشن می‌سازند، بلکه یک نقشه راه عملی برای طراحی تلاقی‌های هدفمند در برنامه‌های اصلاحی آینده ارائه می‌دهند.



شکل ۴- تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند بر اساس عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص
Figure 4. Cluster analysis of different sugar beet genotypes based on the root yield and sugar content

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه با هدف ارزیابی و گزینش هیبریدهای جدید چغندرقند انجام شد و نتایج آن نشان می‌دهند که ژرم‌پلاسم مورد مطالعه از تنوع ژنتیکی قابل توجهی برای صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر برخوردار است. این تنوع، یک فرصت ارزشمند را برای بهبود ژنتیکی این محصول راهبردی از طریق گزینش فراهم می‌آورد. نتایج پارامترهای ژنتیکی، با نشان دادن وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالای مورد انتظار، مؤید آن بودند که بخش بزرگی از واریانس ژنتیکی صفات مرتبط با عملکرد از نوع افزایشی است. این امر نشان می‌دهد که انتخاب مستقیم بر مبنای عملکرد فنوتیپی می‌تواند به پیشرفت ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در نسل‌های بعدی (از طریق استفاده از والدین هیبریدهای برتر) منجر شود. در این میان، هیبریدهای آزمایشی ۳۵۴۵۸، ۳۷۴۱۲ و ۳۷۳۵۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش شناسایی شدند که توانستند عملکردی هم‌تراز یا حتی برتر از بهترین شاهدهای تجاری داخلی و خارجی را از خود به نمایش بگذارند. این هیبریدها تعادل مطلوبی را بین عملکرد بالای ریشه و کیفیت تکنولوژیک قابل قبول برقرار کرده بودند که

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

آن‌ها را به ژنوتیپ‌های ایده‌آل برای ورود به مراحل بعدی آزمایش‌های به‌نژادی و معرفی برای کشت در مناطق مشابه تبدیل می‌کند. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که مؤثرترین برنامه برای افزایش عملکرد شکر در این مجموعه ژنتیکی، تمرکز بر گزینش برای عملکرد ریشه بالا ضمن حفظ عیار قند در سطح مطلوب است. علاوه بر این، شناسایی گروه‌های ژنتیکی متمایز از طریق تجزیه خوشه‌ای، یک نقشه راه عملی برای طراحی تلاقی‌های هدفمند در آینده ارائه می‌دهد تا از طریق ترکیب منابع ژنی متنوع، به هیبریدهایی با پتانسیل تولید حتی فراتر از والدین دست یافت.

References

Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A., & Zali, H. (2021). Investigation of Frost Stress Tolerance in Some Promising Rapeseed Genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 271–288.

Amiri, R., Pezeshkpour, P., & Karami, I. (2021). Identification of Lentil Desirable Genotypes Using Multivariate Statistical Methods and Selection Index of Ideal Genotype under Rainfed Conditions. *Journal of Crop Breeding*, *13*(39), 140–151. http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1250-en.html

Anonymous. (2021). *Climatic features of Karaj*. http://www.alborz-met.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&sub=0&tempname=Default&PageID=7971

Comstock, R., & Robinson, H. (1952). Genetic parameters, their estimation and significance. Proceedings of the 6th international Grassland Congress.

Cooke, D. A., & Scott, R. K. (1993). *The Sugar Beet Crop: Science Into Practice*. Chapman & Hall. https://books.google.com/books?id=r0hDnQAACAAJ

Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T. R., Stracke, R., & Reinhardt, R. (2014). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, *505*(7484), 546–549.

Ebrahimi Koulaei, H., Mansouri, H., Soltani, J., Mahmoudi, S. B., Aghaeezadeh, M., Hasani, M., Orazizadeh, M. R., & Pedram, A. (2019). Ekbatan: The First Iranian Sugar beet Cultivar with Resistance to Rhizoctonia and Tolerance to Rhizomania. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *8*(1), 117–134.

Falconer, D. S. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Pearson Education India.

FAO. (2009). Global agriculture towards 2050. How to feed the world 2050: High-level expert forum.

FAO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World. Building Climate Resilience for Food Security and Nutrition. The State of the World.*

Gippert, A.-L., Madritsch, S., Woryna, P., Otte, S., Mayrhofer, M., Eigner, H., Garibay-Hernández, A., D'Auria, J. C., Molin, E. M., & Mock, H.-P. (2022). Unraveling metabolic patterns and molecular mechanisms underlying storability in sugar beet. *BMC Plant Biology*, *22*(1), 430.

Hamed, L. M. M., El-Manhaly, M. M. M., El-Kady, M. S., El-Mogy, M. M., El-Beltagi, H. S., & Emara, E. I. R. (2025). Assessment of sugar beet agricultural practices for sustainable production under semi-arid environments. *Cogent Food & Agriculture*, *11*(1), 2449200.

Hassani, M., Mahmoudi, S. B., Saremirad, A., & Taleghani, D. (2024a). Genotype by environment and genotype by yield*trait interactions in sugar beet: analyzing yield stability and determining key traits association. *Scientific Reports*, *13*(1), 23111. https://doi.org/10.1038/s41598-023-51061-9

Hassani, M., Norouzi, P., Soltani, J., Jalilian, A., Kakoueinezhad, M., Rezaei, J., Darabi, S., Taleghani, D., Mahmoudi, S. B., Hamzeh, H., & Saremirad, A. (2024b). Hosna: Monogerm sugar beet cultivar with dual resistance to rhizomania and cyst nematode. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *13*(1), 133–158. https://doi.org/10.22092/rafhc.2024.364574.1338

Hassani, M., Saremirad, A., & Mansouri, H. (2024c). Selection of superior sugar beet genotypes using the analysis of quantitative and qualitative traits. *Journal of Crop Breeding*, *16*(4), 64–76. [In Persian]

Hoffmann, C. (2010). Sucrose accumulation in sugar beet under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *196*(4), 243–252.

Johnson, H. W., Robinson, H., & Comstock, R. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans 1. *Agronomy Journal*, *47*(7), 314–318.

Mahmoudi, S., Aghaeezadeh, M., Mehdikhani, P., Ahmadi, M., Soltani, J., Ghaemi, A., Bazrafshan, M., Fotohi, K., Darabi, S., & Matloubi, F. (2019). Shokoufa, sugar beet monogerm variety resistant to rhizomania and cyst nematode. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *8*(1), 145–156.

Martínez-Arias, R., Müller, B. U., & Schechert, A. (2017). Near-infrared determination of total soluble nitrogen and betaine in sugar beet. *Journal of Sugar Tech*, *19*(5), 526–531.

Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M. C., Paulo, O. S., Loureiro, J., & Romeiras, M. M. (2018). Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 74–89.

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. *Journal of Crop Breeding*, *10*(28), 1–12. [In Persian]

Panella, L. W., & Lewellen, R. T. (2011). Beta maritima: The origin of beets. Springer Science & Business Media.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]

R Core Team. (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing. In. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M., & Saremirad, A. (2023). Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. *Food Science & Nutrition*, *11*(3), 1403–1414. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3180

Reinfeld, E., Emmerich, A., Baumgarten, G., Winner, C., & Beiss, U. (1974). Zur voraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. *Zucker*, *27*, 2–15.

Ribeiro, I. C., Pinheiro, C., Ribeiro, C. M., Veloso, M. M., Simoes-Costa, M. C., Evaristo, I., Paulo, O. S., & Ricardo, C. P. (2016). Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 193305.

Sadeghzadeh Hemayati, S., Bazrafshan, M., Hassanvandi, M. S., & Saremirad, A. (2025a). Evaluation of quantitative and qualitative yield, bolting rate and Cercospora leaf spot disease severity of different sugar beet genotypes in autumn cultivation. *Journal of Sugar Beet*, *40*(2), 149–164. https://doi.org/10.22092/jsb.2025.368599.1382

Sadeghzadeh Hemayati, S., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Jalilian, A., Ahmadi, M., Azizi, H., Hamidi, H., Hamdi, F., & Matloubi Aghdam, F. (2022). Evaluation of white sugar yield stability of some commercially released sugar beet cultivars in Iran from 2011-2020. *Seed and Plant Journal*, *38*(3), 339–364. https://doi.org/10.22092/spj.2023.362024.1305

Sadeghzadeh Hemayati, S., Taleghani, D., Soltani idliki, J., Darabi, S., Hassani, M., Fasahat, P., Rezaei, J., Sharifi, M., Azizi, H., Hamzeh, H., Nadali, F., & Saremirad, A. (2025b). Ziba and Yalda, the first sugar beet monogerm hybrids of the fourth generation with dual resistance to rhizomania and cyst nematode. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *13*(2), 159–175. https://doi.org/10.22092/rafhc.2025.367748.1352

Saremirad, A., Hamdi, F., & Taleghani, D. (2023). Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids in terms of yield, qualitative and germination traits. *Applied Field Crops Research*, *35*(3), 87–67. https://doi.org/10.22092/aj.2023.357194.1580

Singh, A., & Chaudhary, R. (1996). Dithizone and thiosemicarbazide as inhibitors of corrosion of type 304 stainless steel in 1· 0M sulphuric acid solution. *British Corrosion Journal*, *31*(4), 300–304.

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & Darabi, S. (2024). Estimation of gene action and genetic parameters of some quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) by line × tester analysis. *Journal of Crop Breeding*, *15*(48), 201–212. [In Persian]

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & Fasahat, P. (2023). Stability analysis and selection of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using AMMI, BLUP, GGE biplot and MTSI. *Scientific Reports*, *13*(1), 10019. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37217-7

United Nations. (2017). *World Population Prospects: the 2017 Revision*. United Nations. Department of International Economic. https://population.un.org/wpp/

Voss-Fels, K. P., Stahl, A., & Hickey, L. T. (2019). Q&A: Modern crop breeding for future food security. *BMC Biology*, *17*(1), 1–7.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1625]