Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 2, 2025 p: 113-127 OPEN ACCESS

Research Paper

Exploring Sugar Beet Traits and Molecular, Quantitative, and Qualitative Analysis with a Focus on Bolting Resistance

Peyman Norouzi[1], Saead Yarahmadi[2], Ali Saremirad[3]

1- Associate Professor of Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: norouzi1389@gmail.com)
2- Assistant professor of Horticulture–Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
3- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 25 September, 2024 Revised: 18 October, 2024 Accepted: 5 February, 2025

Extended Abstract

Background: Sugar beet has various applications and nutritional benefits. It contains a high concentration of sucrose, making it a significant source of sugar. Autumn sugar beet is superior to spring cultivation due to its high production potential, optimal use of seasonal rains, low water requirement, and fewer pests and diseases. Considering the above-mentioned advantages, besides Khuzestan, the issue of autumn beet cultivation is discussed in other regions of the country, such as Fars, Kerman, Kermanshah, Ilam, Golestan, Khorasan, and Ardabil (Moghan) provinces. Resistant plants to bolting should be used due to planting in autumn and wintering of the plant. The bolting phenomenon, as one of the limiting factors in autumn sugar beet cultivation, severely affects the quantitative and qualitative performance of the product, especially in early planting fields. In years with cold and long winters, foreign and domestic sugar beet varieties depend on the existing weather conditions and face different bolt percentages. Therefore, foreign seed-producing companies send their bred varieties to the sugar beet seed institute every year to evaluate the bolting rate and quantitative and qualitative performance. This research was carried out at the request of the representative of Lion Seed Company in Iran to explore the hybrid varieties in the Golestan region as autumn cultivation. This research aims to firstly introduce a superior hybrid resistant to bolting and then investigate the relationship of the candidate molecular markers with the tolerance of genotypes to bolting. In the future, therefore, it can be used for the molecular screening of genotypes resistant to bolting in the institute.

Methods: The present study was conducted by evaluating six different sugar beet cultivars at the Gonbad Agricultural Research Station during the 2022-2023 cropping season. The experiment was based on a randomized complete block design with four replications. The evaluated traits included root yield, white sugar yield, sugar content, sodium content, potassium, alpha amino nitrogen, white sugar content, extraction coefficient of sugar, and bolting percentage. The disease severity of the experimental cultivars to Cercospora was also recorded in this study. To genotype the studied cultivars, leaf samples were collected from bolting-sensitive and resistant plants in spring for a molecular assay using candidate markers. After obtaining the phenotypic data, the normality of the data was examined before any analysis. After confirming the normality of the experimental data, analysis of variance and mean comparison were performed using the least significant difference test for the studied traits. The simultaneous selection index of the multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI) was calculated in R software to rank and select the superior cultivars based on all studied traits.

Results: The results of the analysis of variance for the traits showed that the experimental cultivars were significantly different in all traits, including root yield, white sugar yield, sugar content, sodium content, potassium, alpha amino nitrogen, white sugar content, extraction coefficient of sugar, and bolting percentage, except for the Cercospora score. The mean comparison results of the experimental cultivars in terms of root yield confirmed the superiority of the Jerra cultivar with an average yield of 34.97 tons per hectare. The lowest root yield was obtained by the SHR01-P.12 cultivar with a yield of 47.25 tons per hectare. Among the six studied cultivars, five cultivars, including Jerra, Klara, Juncal, Shannon, and Granate, contained the highest values of white sugar yield with averages of 71.10, 22.10, 74.9, 69.9, and 36.9 tons per hectare, respectively. The SHR01-P.12 cultivar contained the lowest white sugar yield. According to the results, Klara, Granate, Juncal, and Shannon cultivars ranked first with 61.16, 39.15, 30.15, and 16.15% sugar content and 93.13, 26.12, 48.12, and 05.12% white sugar content, respectively. Klara, Juncal, Shannon, Granate, and Jerra cultivars had the lowest sodium content, while SHR01-

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

Copyright ©2025 Norouzi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 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.

P.12 had the highest level. In terms of potassium impurity, Klara, Juncal, Jerra, and Granate cultivars had the lowest values. The highest value of this trait belonged to the SHR01-P.12 cultivar. The SHR01-P.12 cultivar had the lowest alpha amino nitrogen content with an average of 12.1 milliequivalents per 100 g of root pulp. The highest alpha amino nitrogen content was recorded for the Granate cultivar. The highest extraction coefficients of sugar in the experimental cultivars were observed in Klara, Juncal, Granate, Shannon, and Jerra with averages of 82.83, 37.81, 64.79, 49.79, and 43.77%, respectively. The Jerra cultivar had no bolting and ranked first in terms of the lowest value of this trait. The Granate and Juncal cultivars ranked second with averages of 69.2 and 49.5%, respectively. The highest bolting percentage was recorded for the SHR01-P.12 cultivar with an average of 42.93%. Based on the MGIDI selection index, with a selection pressure of 30%, the Juncal cultivar ranked first with an MGIDI value of 21.0, followed by the Shannon cultivar with a value of 25.0. The SHR01-P.1 cultivar had the highest MGIDI value (56.2) and was considered an undesirable cultivar. Regarding the candidate molecular markers associated with bolting tolerance, two candidate markers showed relevant polymorphism, two candidate markers presented random polymorphism, and five other candidate markers were devoid of polymorphism.

Conclusion: The results showed that the genetic diversity among the experimental cultivars caused different responses in the evaluated traits. However, the extent of the impact of genetic diversity on traits can vary depending on the conditions. The newly introduced cultivars are suitable for autumn sugar beet cultivation in Golestan Province, aiding in bolstering the nation's sugar production. Moreover, the polymorphic markers linked to bolting tolerance identified in this study can serve as valuable tools for upcoming research endeavors and the selection of bolting-resistant sugar beet breeding lines.

Keywords: Autumn cultivation, Bolting, Hybrid, Molecular markers, Sugar

How to Cite This Article: Norouzi, P., Yarahmadi, S., & Saremirad, A. (2025). Exploring Sugar Beet Traits and Molecular, Quantitative, and Qualitative Analysis with a Focus on Bolting Resistance. *J Crop Breed,* 17(2), 113-127. DOI: 10.61882/jcb.2024.1541

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

مقاله پژوهشی

بررسی صفات چغندرقند و تجزیه و تحلیل کمی و کیفی و مولکولی با تمرکز بر مقاومت به ساقه‌روی

پیمان نوروزی[۱]، سعید یاراحمدی[۲] و علی صارمی‌راد[۳]

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: norouzi1389@gmail.com)
۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷
صفحه: ۱۱۳ تا ۱۲۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: اهمیت چغندرقند در کاربردهای مختلف و فواید تغذیه‌ای آن نهفته است. این گیاه حاوی غلظت بالایی از ساکارز است که آن را به منبع قابل توجهی از قند تبدیل می‌کند. کشت چغندرقند در فصل پاییز به‌دلیل عوامل متعددی از جمله افزایش بهره‌وری، افزایش اتکا به بارندگی‌های فصلی، کاهش نیاز آبی و کاهش بروز بیماری‌ها و آفات، نسبت به کشت بهاره مزیت دارد. این امر باعث شده است که کشت پاییزه چغندرقند در استان‌های مختلف کشور برای سرمایه‌گذاری جهت بهره‌وری از این مزایا در نظر گرفته شود؛ اما در این ارتباط، پدیده ساقه‌روی به‌عنوان محدودیتی حیاتی در کشت پاییزه چغندرقند مطرح است که می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد و کیفیت محصول تأثیر بگذارد. لذا، در این مطالعه به بررسی میزان ساقه‌روی در برخی از ارقام خارجی پرداخته شد. در این راستا، اولین هدف شناسایی رقم برتری بود که مقاومت در برابر ساقه‌روی نشان می‌دهد. علاوه بر این، این مطالعه به دنبال روشن کردن همبستگی بین نشانگرهای مولکولی کاندیدا و مقاومت ارقام مختلف در برابر ساقه‌روی بود.

مواد و روش‌ها: فنوتیپ‌سنجی مطالعه حاضر با آزمایش شش رقم مختلف چغندرقند در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، محتوی سدیم، پتاسیم، نیتروژن آمینه، درصد قند خالص، ضریب استحصال شکر و درصد ساقه‌روی بود. به‌منظور ژنوتیپ‌سنجی ارقام مورد بررسی، در فصل بهار از بوته‌های حساس و مقاوم به ساقه‌روی، نمونه‌برداری برگ برای آزمون مولکولی با استفاده از نشانگرهای کاندیدا انجام شد. پس از حصول داده‌های فنوتیپ‌سنجی، در ابتدا پیش از انجام هرگونه تجزیه و تحلیلی، فرض نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. با تأیید نرمال بودن داده‌های آزمایشی، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار برای صفات مورد مطالعه انجام شد. شاخص گزینش همزمان فاصله چندمتغیره از لاین ایده‌آل (MGIDI) به‌منظور رتبه‌بندی و گزینش ارقام برتر بر اساس تمامی صفات مورد مطالعه در نرم‌افزار R محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان دادند که ارقام آزمایشی از نظر همه صفات شامل عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، محتوی سدیم، پتاسیم، نیتروژن آمینه، درصد قند خالص، ضریب استحصال شکر و درصد ساقه‌روی به‌جز نمره سرکوسپورا اختلاف معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین ارقام آزمایشی از نظر عملکرد ریشه مؤید برتری رقم Jerra با میانگین عملکرد ۹۷/۳۴ تن در هکتار بودند. در این میان، رقم SHR01-P.12 پایین‌ترین میزان عملکرد ریشه را به میزان ۲۵/۴۷ تن در هکتار به‌خود اختصاص داد. از بین شش رقم مورد بررسی، پنج رقم شامل Jerra، Klara، Juncal، Shannon و Granate به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۷۱، ۱۰/۲۲، ۹/۷۴، ۹/۶۹ و ۹/۳۶ تن در هکتار بیشترین مقادیر صفت نامبرده را از آن خود کردند و رقم SHR01-P.12 کمترین میزان عملکرد شکر سفید را به‌خود اختصاص داد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، ارقام Klara، Granate، Juncal و Shannon به‌ترتیب با ثبت ۱۶/۶۱، ۱۵/۳۹، ۱۵/۳۰ و ۱۵/۱۶ درصد قند ناخالص و ۱۳/۹۳، ۱۲/۲۶، ۱۲/۴۸ و ۱۲/۰۵ درصد قند خالص رتبه‌های نخست را به‌خود اختصاص دادند. ارقام Klara، Juncal، Shannon، Granate و Jerra کمترین و SHR01-P.12 بیشترین میزان سدیم را از آن خود نمودند. از نقطه‌نظر ناخالصی مربوط به پتاسیم، ارقام Klara، Juncal، Jerra و Granate کمترین مقادیر را به‌همراه داشتند. در این رابطه، بیشترین میزان صفت مذکور به رقم SHR01-P.12 متعلق بود. رقم SHR01-P.12 با میانگین ۱/۱۲ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه کمترین مقدار نیتروژن آمینه را از آن خود کرد. بالاترین میزان نیتروژن آمینه به رقم Granate اختصاص پیدا کرد. بیشترین میزان ضریب استحصال شکر ارقام آزمایشی در Klara، Juncal، Granate، Shannon و Jerra به‌ترتیب با میانگین ۸۳/۸۲، ۸۱/۳۷، ۷۹/۶۴، ۷۹/۴۹ و ۷۷/۴۳ درصد مشاهده شد. رقم Jerra بدون هیچ‌گونه ساقه‌روی در رتبه نخست از نظر کمترین میزان این صفت قرار گرفت. پس از آن ارقام Granate و Juncal با میانگین ۲/۶۹ و ۵/۴۹ درصد رتبه‌های بعدی را به‌خود اختصاص دادند. بیشترین میزان ساقه‌روی در رقم SHR01-P.12 با میانگین ۹۳/۴۲ درصد ثبت شد. بر اساس شاخص گزینش MGIDI، با اعمال فشار گزینشی ۳۰ درصد، رقم Juncal با مقدار شاخص MGIDI ۰/۲۱ در رتبه نخست و رقم Shannon با مقدار ۰/۲۵ در رتبه بعدی برترین ارقام قرار گرفت. از سوی دیگر، رقم SHR01-P.1 بیشترین مقادیر MGIDI (۲/۵۶) را به‌خود اختصاص داد و رقم نامطلوبی شناخته شد. در رابطه با نشانگرهای مولکولی کاندیدای مرتبط با تحمل به ساقه‌روی، دو نشانگر کاندیدای پلی‌مورف مرتبط و دو نشانگر کاندیدای پلی‌مورف تصادفی و تعداد پنج نشانگر کاندیدای دیگر فاقد چندشکلی بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که تنوع ژنتیکی میان ارقام آزمایشی موجب بروز پاسخ‌های متفاوتی در صفات مورد ارزیابی شد؛ اما میزان تأثیرگذاری تنوع ژنتیکی ارقام بر صفات با توجه به شرایط می‌تواند تغییر یابد. از ارقام منتخب می‌توان به‌منظور کشت پاییزه چغندرقند در استان گلستان و افزایش تولید شکر کشور بهره‌برداری کرد. همچنین، از نشانگرهای چندشکل مرتبط با تحمل به ساقه‌روی حاصل از این تحقیق می‌توان برای برنامه‌های تکمیلی آتی و غربال لاین‌های اصلاحی چغندرقند مقاوم به ساقه‌روی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: چغندرقند، ساقه‌روی، هیبرید، کشت پاییزه، نشانگر مولکولی

مقدمه

چغندرقند به‌عنوان یک گیاه صنعتی با نیاز آبی زیاد به‌دلیل فصل رشد طولانی و پتانسیل عملکرد بالا شناخته می‌شود (Taleghani *et al*., 2023b). این گیاه به‌عنوان دومین منبع تولید قند پس از نیشکر شناخته می‌شود و نزدیک به ۲۰ درصد از تولید سالیانه قند جهان را تأمین می‌کند (Monteiro *et al*., 2018; Ribeiro *et al*., 2016). علاوه بر تولید قند، از برگ چغندرقند نیز می‌توان برای تأمین پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری استفاده کرد (Akyüz & Ersus, 2021). کشت پاییزه چغندرقند به‌عنوان راهکاری برای کاهش مصرف آب در مناطقی که با مشکلات کمبود آب روبرو هستند، مطرح شده است (Taleghani *et al*., 2023a).

در کشت پاییزه چغندرقند، نیاز آبی گیاهان به‌دلیل شرایط معتدل آب و هوایی و بارندگی‌های پاییزی و زمستانی کاهش

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

می‌یابد (Taleghani *et al*., 2011). این شرایط باعث افزایش راندمان مصرف آب و کنترل طبیعی آفات و بیماری‌ها می‌شود (Taleghani *et al*., 2011). با این حال، اگرچه کشت پاییزه چغندرقند در مقایسه با کشت بهاره دارای مزایا و برتری‌هایی است، اما پدیده ساقه‌روی یک محدودیت اساسی برای این نوع کشت محسوب می‌شود (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011; Taleghani *et al*., 2022). در مناطق با آب و هوای نسبتاً معتدل همچون کشورهای مدیترانه‌ای، ممکن است کشت پاییزه چغندرقند بدون مشکل ساقه‌روی انجام شود (Metzger *et al*., 2005; Schnepel & Hoffmann, 2016)؛ اما در شرایط سردتر، گیاهان با سرمای زمستان مواجه می‌شوند که منجر به بهاره‌سازی و گل‌دهی می‌شود (Schnepel & Hoffmann, 2016). این پدیده باعث تغییر در مسیر ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ریشه (Milford & Limb, 2008) و در نهایت کاهش غلظت قند و افزایش تفاله می‌شود (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011). شدت ساقه‌روی و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان ممکن است در مراحل مختلف رشد گیاهان متفاوت باشد؛ به‌طوری‌که در صورت وقوع ساقه‌روی زودهنگام، عملکرد ریشه تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011). در مجموع، این پدیده باعث تشکیل محصولی با ماده خشک حاوی درصد بالای بافت ساقه و مقدار اندک بافت ریشه شده، منجر به کاهش کیفیت قند تولیدی می‌شود (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011). از این‌رو، توسعه ارقام چغندرقند مقاوم در برابر ساقه‌روی برای حفظ عملکرد قند بالا و کیفیت کلی محصول بسیار مهم است (Reinsdorf *et al*., 2014). در این راستا، هدف برنامه‌های اصلاحی ترکیب ویژگی‌های ژنتیکی است که باعث به تأخیر انداختن یا جلوگیری از ساقه‌روی، تضمین رشد بهینه ریشه و تجمع قند می‌شود.

تمایل به ساقه‌روی در چغندرقند به‌طور ژنتیکی تحت تأثیر مکان B است که روی کروموزوم دو نقشه‌برداری شده است (Abe *et al*., 1997a, 1997b; Owen, 1941). گیاهان هموزیگوت غالب در مکان B در شرایط روز طولانی شروع به ساقه‌روی می‌کنند، در حالی که گیاهان حامل آلل‌های مغلوب در حالت هموزیگوت برای القای گل نیاز به بهاره شدن دارند. عوامل محیطی و ژنتیکی به‌شدت بر گیاهان هتروزیگوت که رفتار پیچیده‌تری از خود نشان می‌دهند، تأثیر می‌گذارند (Abe *et al*., 1997a; El-Mezawy *et al*., 2002; Owen, 1941; Shimamoto *et al*., 1990). به غیر از مکان B، ژن‌های جهش‌یافته B2 و B4 در یک نمونه یک‌ساله ایجاد شده‌اند که باعث ساقه‌روی می‌شوند (Abou-Elwafa *et al*., 2012; Büttner *et al*., 2010; Hohmann *et al*., 2005). در هر یک از این ژن‌ها، ژنوتیپ‌های هموزیگوت مغلوب باعث نیاز به بهاره شدن برای ساقه‌روی می‌شوند. اگرچه ارقام چغندرقند حامل آلل b هستند ولی سرمای پس از کشت بذر ممکن است باعث ساقه‌روی گیاهان قبل از زمستان شود (Chiurugwi *et al*., 2013) که به آن زود ساقه‌روی گفته می‌شود. برای اولین بار یک مکان کنترل‌کننده صفت کمی (QTL) برای مقاومت به ساقه‌روی پس از زمستان در چغندرقند به‌دست آمده است (Pfeiffer *et al*., 2014). رفتار ساقه‌روی چغندرقند پس از طی دوره زمستان بازتابی از دو عامل مختلف تأخیر در ساقه‌روی (تعداد روزهای لازم تا ساقه‌روی پس از تیمار سرمایی) و مقاومت به ساقه‌روی (درصد ساقه‌روی) پس از زمستان است (Pfeiffer *et al*., 2014). برای هر یک از دو عامل فوق، دو نشانگر مولکولی در مجاورت هم بر روی کروموزوم شماره نه به‌دست آمده است که حدود ۶۵ درصد تنوع فنوتیپی را توضیح می‌دهند (Pfeiffer *et al*., 2014). همچنین، یک نشانگر تک‌نوکلئوتیدی چند شکل موسوم به SNP-183 بر روی کروموزوم شماره شش گزارش شده است که با ساقه‌روی زودرس و دیررس در چغندرهایی که حامل آلل b دوساله در حالت هموزیگوت هستند، همراه است. برای جمعیت B2، یک جایگاه ژنی دخیل در صفات کمّی برای زمان ساقه‌روی فصلی تشخیص داده شد که ۴۴/۶ درصد از تغییرات فنوتیپی و ۶۶/۱ درصد از تنوع ژنوتیپی را توضیح می‌دهد. این جایگاه ژنی دخیل در صفات کمی در کروموزوم ۹ قرار گرفت و SBT-9B2 نام‌گذاری شد (Broccanello *et al*., 2015). همچنین، با آزمون ۱۰۹۲۴ نشانگر SNP در بوته‌های حساس و متحمل به ساقه‌روی موفق به شناسایی دو نشانگر SNP مرتبط با تحمل به ساقه‌روی شده‌اند که می‌توانند در گزینش به کمک نشانگر استفاده شوند (Ravi *et al*., 2021). در مجموع، با ادغام روش‌های اصلاح سنتی با روش‌های مولکولی مدرن، اصلاحگران می‌توانند ارقام چغندرقند با عملکرد بالا و مقاوم در برابر ساقه‌روی را توسعه دهند که نیازهای صنعت قند را برآورده می‌کند و در عین حال تولید محصول پایدار را در مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی تضمین می‌کند.

به‌طور کلی، شناسایی چندشکلی‌های ژنتیکی مرتبط با تمایل به ساقه‌روی در چغندرقند، نشان‌دهنده پیشرفت قابل توجهی در توسعه برنامه‌های اصلاحی برای مقاومت به ساقه‌روی است. با استفاده از نشانگرهای مولکولی و درک اساس ژنتیکی پدیده ساقه‌روی، اصلاح‌کنندگان می‌توانند کارایی انتخاب را بهبود و توسعه ارقام جدید چغندرقند را که تمایل کمی به ساقه‌روی دارند سرعت بخشند. در این راستا، مطالعه حاضر ابتدا با هدف شناسایی هیبرید برتر مقاوم به ساقه‌روی و سپس بررسی نشانگرهای مولکولی کاندیدا مرتبط با تحمل به ساقه‌روی به مرحله اجرا درآمد. در واقع، این مطالعه بر اهمیت ادامه تحقیقات در مورد مکانیسم‌های ژنتیکی ساقه‌روی که برای پیشرفت برنامه‌های اصلاحی چغندرقند ضروری هستند، تأکید می‌کند.

مواد و روش‌ها

شرایط اکولوژیکی منطقه اجرای پروژه

گنبد کاووس در بخش مرکزی استان گلستان در قسمت شمالی کشور قرار دارد. استان گلستان بین طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی واقع شده است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

میانگین سالانه دمای هوا در گنبد کاووس حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر سالانه دمای هوا ۳۵ و میانگین حداقل سالانه آن ۱۸ درجه است. اختلاف حداکثر و حداقل دمای سالانه ۱۷ درجه است.

مواد گیاهی

برای پژوهش حاضر، در مجموع از شش ژنوتیپ چغندرقند شامل سه هیبرید شرکت Lion Seeds با نام Shanon، Granate و Klara، دو شاهد مقاوم به ساقه‌روی Jerra و Juncal و یک شاهد حساس به ساقه‌روی SHR-01-P.12 به شرح مندرج در جدول ۱ استفاده شد.

فنوتیپ‌سنجی

این آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی یک سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۲) اجرا شد. برای اجرای آزمایش، در تابستان ۱۴۰۱ یک قطعه زمین (۵۵ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی) مسطح و یکنواخت انتخاب و پس از انجام آبیاری اولیه، عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق، دیسک و تسطیح زمین انجام گرفت. کاشت آزمایش توسط بذرکار آزمایشی ایورد در ۲۱ مهر انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایش سه ردیف کشت به طول هشت متر، فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف بعد از تنک ۱۶ سانتی‌متر بود. آزمایش به روش نشتی آبیاری گردید. زمان شروع آبیاری بر اساس میزان ۹۰ میلی‌متر تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A محاسبه و به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها توزیع شد. سایر عملیات داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در حد مطلوب و مطابق با عرف منطقه طبق نظر کارشناسان مربوطه انجام شد.

میزان ساقه‌روی ارقام آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، در اوایل خردادماه کرت‌های آزمایشی از نظر تعداد بوته به ساقه‌رفته کنترل شدند. درصد ساقه‌روی بر اساس نسبت تعداد بوته‌های به ساقه‌رفته به کل بوته‌های هر کرت آزمایشی و حاصلضرب آن در عدد ۱۰۰ محاسبه گردید. برداشت محصول در هفته آخر خردادماه صورت پذیرفت. در این رابطه، ریشه‌های کرت‌های آزمایشی جمع‌آوری و توزین شدند. سپس ریشه‌ها برای ارزیابی ویژگی‌های کیفی به آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند منتقل شدند. ریشه‌ها شسته شدند و با استفاده از دستگاه خودکار ونما نمونه خمیر تهیه گردید و در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در زمان مناسب، از نمونه‌های خارج‌شده از حالت انجماد، ۲۶ گرم برداشت و با ۱۷۷ میلی‌لیتر سو استات سرب (lead (II) hydroxide acetate) به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط گردید. در نهایت، محلول حاصله از صافی گذرانده شد و مایع شفافی به دست آمد که از آن در دستگاه بتالایزر (Betalyser، سیستم خودکار تجزیه کیفیت چغندرقند) برای اندازه‌گیری درصد قند ناخالص، نیتروژن آمینه و عنصرهای سدیم و پتاسیم استفاده شد (Kunz *et al*., 2002). برای محاسبه عملکرد شکر سفید مربوط به هر ژنوتیپ، ابتدا درصد قند ملاس و درصد قند خالص به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ برآورد گردید (Reinfeld *et al*., 1974)؛ سپس با جایگذاری درصد قند خالص و عملکرد ریشه هر ژنوتیپ آزمایشی در رابطه ۳، مقدار عملکرد شکر سفید برای هر یک از آن‌ها به دست آمد (Cook & Scott, 1993):

رابطه ۱:

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

رابطه ۲: $$WSC = SC - (MS + 0.6)$$

رابطه ۳: $$WSY = WSC \times RY$$

در این روابط، MS درصد قند ملاس برحسب گرم قند 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، $alpha\ amino$ N نیتروژن مضره برحسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSC درصد قند خالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، SC درصد قند ناخالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار و RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار هستند.

ژنوتیپ‌سنجی

برای این‌منظور، در بهار از نمونه‌های برگی حاصل از گیاهان مقاوم و حساس مواد آزمایشی، DNA به روش تغییریافته دلاپورتا و همکاران (Dellaporta *et al*., 1983) استخراج شد. آزمون مولکولی PCR با هشت جفت آغازگر مربوط به نشانگرهای STS کاندیدا تحمل به ساقه‌روی (عمده توالی آغازگرهای این تحقیق از دانشگاه های کیل آلمان و پادوای ایتالیا با حفظ محرمانگی دریافت شده است، لذا اطلاعات آغازگرهای به کاررفته در این مقاله قابل ذکر نیستند و در صورت نیاز محققان به اطلاعات توالی‌ها پس از درخواست ایشان به نویسنده مسئول قابل بررسی و ارائه از طریق موسسه تحقیقات چغندرقند با رعایت حقوق مادی و معنوی خواهد بود) بر روی DNA بوته‌ها به شرح زیر انجام شد. آزمون مولکولی PCR با کیت خریداری‌شده از شرکت سیناکلون موسوم به Ready to use PCR Master Mix, 2X با شناسه MM2062 در حجم نهایی ۱۴ میکرولیتر برای هر واکنش شامل پنج میکرولیتر آب دیونیزه، شش میکرولیتر بافر 2X، یک میکرولیتر با غلظت پنج میکرومولار از هر یک از آغازگرهای اختصاصی نشانگرهای کاندیدا و یک میکرولیتر DNA الگو با غلظت ۵۰ ng/µl (غلظت‌سنجی با دستگاه نانودراپ مدل Thermo Scientific) انجام گرفت. مراحل واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز برای آزمون PCR در دستگاه ترموسایکلر شامل پنج دقیقه واسرشت‌سازی اولیه در ۹۴ °C، ۳۵ چرخه شامل واسرشت‌سازی به‌مدت ۲۵ ثانیه در دمای ۹۴ °C، اتصال آغازگر به‌مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۶۰-۵۴ °C بسته به نوع آغازگر، توسعه آغازگر در دمای ۷۲ °C به‌مدت ۵۰-۲۰ ثانیه بسته به‌اندازه باند نشانگر و یک مرحله ۱۰ دقیقه‌ای توسعه نهایی در دمای ۷۲ °C برای تکمیل طول قطعات تکثیرشده در واکنش انجام شد. جزئیات شرایط فوق در زیرنویس جدول ۴ آمده‌اند. سپس الکتروفورز محصولات PCR در ژل آگارز ۱/۲ تا ۲/۴ درصد بسته به‌اندازه و فاصله باندهای نشانگر و رنگ‌آمیزی ژل در محلول اتیدیوم بروماید انجام گرفت و نوارهای DNA توسط دستگاه مستندسازی ژل تحت نور ماورای بنفش رؤیت و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

عکس‌برداری شدند. در انتها، بر اساس الگوی نواربندی ژنوتیپ‌ها روی ژل الکتروفورز، ژنوتیپ هر یک از بوته‌ها از نظر نشانگرهای کاندیدا آزمون‌شده مشخص و ارتباط نشانگرها با صفت تحمل به ساقه‌روی چغندرقند بر اساس میزان توافق باند نشانگر با مقاومت و حساسیت به ساقه‌روی تک بوته‌ها بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در ابتدا، پیش از انجام هرگونه تجزیه و تحلیلی فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون گرابز (Grubbs, 1969) انجام شد. پس از تأیید نرمال بودن داده‌های آزمایشی، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار برای صفات مورد مطالعه انجام شدند. جهت محاسبه شاخص فاصله چندمتغیره از لاین ایده‌آل (MGIDI) از مدل پیشنهاد شده توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto & Nardino, 2021) در نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج فنوتیپ‌سنجی

تحلیل نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر همه صفات شامل عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، محتوی سدیم، پتاسیم، نیتروژن آمینه، درصد قند خالص، ضریب استحصال شکر و درصد ساقه‌روی، بین ارقام آزمایشی اختلافات معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). حمیدی و همکاران (Hamidi *et al*., 2022) طی مطالعه‌ای کشت زمستانه در منطقه تربت‌جام را بررسی و تأثیر تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های چغندرقند بر صفات مختلف را تأیید کردند. نتایج حاصل از مطالعه طالقانی و همکاران (Taleghani *et al*., 2022) نشان دادند که شرایط محیطی، نوع رقم و برهمکنش میان رقم و شرایط محیطی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد شکر سفید در کشت زمستانه ارقام چغندرقند در سطح احتمال یک درصد داشتند. آن‌ها اذعان نمودند که شرایط محیطی نقش بسزایی در بیان فنوتیپی صفت عملکرد شکر سفید در کشت زمستانه داشت. لذا، لازم است که ارقام بر اساس شرایط حاکم بر مناطق هدف برای کشت توصیه شوند.

نتایج مقایسه میانگین ارقام آزمایشی از نظر عملکرد ریشه حاکی از برتری رقم Jerra با میانگین عملکرد ۹۷/۳۴ تن در هکتار بود (جدول ۳). در مقابل، رقم SHR01-P.12 پایین‌ترین میزان عملکرد ریشه را به میزان ۲۵/۴۷ تن در هکتار را داشت. از شش رقم مورد بررسی، پنج رقم Jerra، Klara، Juncal، Shannon و Granate به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۷۱، ۱۰/۲۲، ۹/۷۴، ۹/۶۹ و ۹/۳۶ تن در هکتار بیشترین مقادیر صفت نامبرده را داشتند. در این بین، رقم SHR01-P.12 کمترین میزان عملکرد شکر سفید را داشت. طبق نتایج به‌دست‌آمده، ارقام Klara، Granate، Juncal و Shannon به‌ترتیب با ثبت ۱۶/۶۱، ۱۵/۳۹، ۱۵/۳۰ و ۱۵/۱۶ درصد قند ناخالص و ۱۳/۹۳، ۱۲/۲۶، ۱۲/۴۸ و ۱۲/۰۵ درصد قند خالص رتبه نخست را به‌خود اختصاص دادند. ارقام Klara، Juncal، Shannon، Granate و Jerra کمترین و SHR01-P.12 بیشترین میزان سدیم را از آن خود نمودند. از نقطه‌نظر ناخالصی مربوط به پتاسیم، ارقام Klara، Juncal، Jerra و Granate کمترین مقادیر را داشتند. در این رابطه، بیشترین میزان صفت مذکور به رقم SHR01-P.12 تعلق داشت. رقم SHR01-P.12 با میانگین ۱/۱۲ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه کمترین مقدار نیتروژن آمینه را ثبت کرد. بالاترین میزان نیتروژن آمینه به رقم Granate اختصاص داشت. بیشترین میزان ضریب استحصال شکر ارقام آزمایشی در Klara، Juncal، Granate، Shannon و Jerra به‌ترتیب با میانگین‌های ۸۳/۸۲، ۸۱/۳۷، ۷۹/۶۴، ۷۹/۴۹ و ۷۷/۴۳ درصد به‌دست آمد. رقم Jerra بدون هیچ‌گونه ساقه‌روی در رتبه نخست از نظر کمترین میزان این صفت قرار گرفت. پس از آن، ارقام Granate و Juncal با میانگین ۲/۶۹ و ۵/۴۹ درصد رتبه‌های بعدی را به‌خود اختصاص دادند. بیشترین میزان ساقه‌روی در رقم SHR01-P.12 با میانگین ۹۳/۴۲ درصد مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که تنوع ژنتیکی میان ارقام آزمایشی موجب بروز پاسخ‌های متفاوتی در صفات مورد ارزیابی شد؛ اما میزان تأثیرگذاری تنوع ژنتیکی ارقام بر صفات با توجه به شرایط محیطی و مدیریتی مزرعه تغییر می‌یابد (Sadeghzadeh Hemayati *et al*., 2012; Taleghani *et al*., 2011; Taleghani *et al*., 2023c). مطالعه بیات و همکاران (Bayat *et al*., 2000) نیز نشان داد که در کشت زمستانه و کشت زودهنگام، برخی از ارقام دارای تحمل به تنش سرما بودند و از عملکرد ریشه و عملکرد قند قابل استحصال بالاتری برخوردار بودند. این موضوع در خصوص ارقام مورد مطالعه در این پژوهش نیز دور از انتظار نیست.

گزینش لاین‌های مطلوب بر اساس شاخص فاصله چندمتغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI)

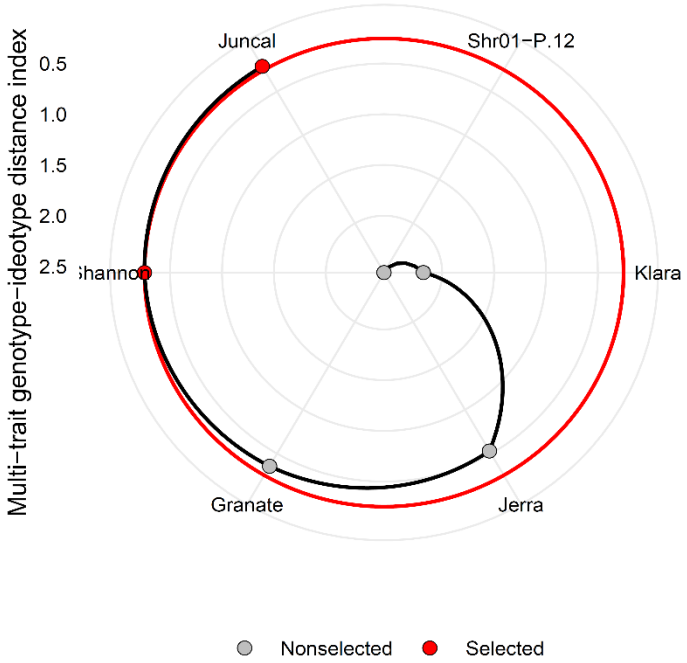
شاخص MGIDI برای تسهیل گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس اطلاعات مربوط به چند صفت توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto & Nardino, 2021) معرفی شد. در واقع، این شاخص بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که در آن صفات متعدد اندازه‌گیری شده است، تمرکز دارد. اخیراً از این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر توت‌فرنگی (Olivoto *et al*., 2019)، غربالگری ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری در مراحل اولیه رشد (Pour-Aboughadareh *et al*., 2021) و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی جو (Shirzad *et al*., 2022) و چغندرقند (Taleghani & Saremirad, 2023) و آفتابگردان (Golestani 2023) استفاده شده است. نتایج هر سه مطالعه مذکور نشان دادند که این شاخص می‌تواند به‌طور همزمان بسیاری از صفات و یا شاخص‌ها را در نظر گرفته، نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را ارزیابی کند. شاخص MGIDI به‌منظور شناسایی ارقام مقاوم به ساقه‌روی و بیماری سرکوسپورا با در نظر گرفتن اثر همزمان عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، محتوای سدیم، پتاسیم، نیتروژن آمینه، و ضریب استحصال شکر محاسبه گردید. طبق شاخص MGIDI، هرچه رقمی مقدار کمتری از این شاخص را دارا باشد، فاصله کمتری از رقم برتر و قرابت بیشتری با رقم برتر دارد. از سوی دیگر، هر چه مقدار MGIDI برای رقمی بیشتر باشد، به این معنی است که فاصله آن از رقم

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

برتر بیشتر است و نباید انتخاب شود (Olivoto & Nardino, 2021). در شکل ۱، ارقام آزمایشی از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار شاخص MGIDI رتبه‌بندی شده‌اند؛ به‌طوری که رقم دارای بیشترین مقدار شاخص مذکور در مرکز و رقم دارای کمترین مقدار شاخص مذکور در خارجی‌ترین مدار قرار گرفته‌اند. بر این اساس، با اعمال فشار گزینشی ۳۰ درصد، رقم Juncal با مقدار شاخص MGIDI ۰/۲۱ در رتبه نخست و رقم Shannon با مقدار ۰/۲۵ در رتبه بعدی برترین ارقام قرار گرفت. از سوی دیگر، رقم SHR01-P.1 بیشترین مقادیر MGIDI (۲/۵۶) را به‌خود اختصاص داد و رقم نامطلوبی بود. مقایسه ارزش صفات ارقام منتخب بر اساس شاخص MGIDI با ارزش آن‌ها در همه ارقام آزمایشی نشان داد که میانگین ارزش صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، نیتروژن آمینه و راندمان استحصال شکر در ژنوتیپ‌های منتخب افزایش یافت. این افزایش ارزش صفات به‌جز صفت نیتروژن آمینه در جهت اهداف مدنظر قرار داشتند. اهدافی‌که در صفات سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، درصد ساقه‌روی و آلودگی به بیماری سرکوسپورا دنبال می‌شوند، کاهش ارزش آن‌ها است که ارقام منتخب از نظر این صفات به جز صفت نیتروژن آمینه کاهش نشان دادند. به‌طور کلی، ژنوتیپ‌های انتخابی سبب ایجاد دیفرانسیل گزینش مطلوبی در تمامی صفات به‌جز صفت نیتروژن آمینه شدند (جدول ۴).

نتایج ارزیابی مولکولی

بر اساس آزمون مولکولی برای شش ژنوتیپ با نشانگرهای مولکولی کاندیدای مرتبط با تحمل به ساقه‌روی، الگوی الکتروفورزی نشانگرهای به کاررفته در شکل‌های ۲ تا ۹ و وضعیت چندشکلی نشانگرهای مذکور در جدول ۵ آمده‌اند.



شکل ۱- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی به‌صورت صعودی بر اساس شاخص MGIDI
Figure 1. Ranking of the experimental genotypes in an ascending order based on MGIDI

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

جدول ۱- اطلاعات ارقام استفاده شده در این پژوهش

Table 1. Information of the varieties tested in this research

نام تجاری رقم Commercial name of the variety	نام رقم به فارسی Persian name of the variety	کشور Country	نام شرکت Company name	سال معرفی Introduction year	خصوصیات ویژه رقم Specific characteristics of the variety	منطقه پیشنهادی کشت توسط مؤسسه ثبت و گواهی بذر و نهال Suggested cultivation region by the Seed and Plant Certification and Registration Institute
Jerra	جرا	آلمان	KWS	1400	مقاوم به ساقه‌روی (شاهد مقاوم)	مقاوم به ریزومانیا- مناسب کشت در منطقه دزفول و کاشمر
Juncal	جونکال	بلژیک	Sesvanderhave	1399	مقاوم به ساقه‌روی (شاهد مقاوم)	مناسب کشت در منطقه دزفول
SHR01-P.12	-	ایران	SBSI	-	حساس به ساقه‌روی (شاهد حساس)	-
Klara	کلارا	انگلیس	Lion seeds	1402	مقاوم به ساقه‌روی	مناسب کشت در منطقه دزفول
Shanon	شنون	انگلیس	Lion seeds	1396	مقاوم به ساقه‌روی	مناسب کشت در منطقه دزفول
Granate	گراناته	انگلیس	Lion seeds	1396	مقاوم به ساقه‌روی	مناسب کشت در منطقه دزفول

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی ارقام مورد بررسی

Table 2. Summary of the analysis of variance for quantitative and qualitative traits of the investigated varieties

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		عملکرد ریشه Root yield	عملرد شکر سفید White sugar yield	درصد قند ناخالص Sugar content	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن آمینه N	درصد قند خالص White sugar content	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	ساقه‌روی Bolting
تکرار Replication	3	222.143	0.823	5.289	4.416	0.038	0.038	9.017	414.374	106.485
رقم Cultivar	5	2356.362**	56.494**	23.691**	17.463**	13.268**	13.268*	55.681**	1885.025**	4968.571**
خطا Error	15	67.392	1.415	1.486	1.771	0.264	0.264	2.543	317.203	46.192
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		11.410	14.124	8.468	47.191	8.328	16.949	14.663	24.899	27.810

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین ارقام به روش LSD از نظر صفات مورد ارزیابی در آزمایش

Table 3. Mean comparison of the varieties by the LSD method in terms of evaluated traits in the experiment

رقم Cultivar	عملکرد ریشه Root yield ($t.\ ha^{-1}$)	عملکرد شکر سفید White sugar yield ($t.\ ha^{-1}$)	درصد قند ناخالص Sugar content (%)	درصد قند خالص White sugar content (%)	سدیم Na^+ (meq.100 g-1 pulp)	پتاسیم K^+ (meq.100 g-1 pulp)	نیتروژن آمینه N (meq.100 g-1 pulp)	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (%)	ساقه‌روی Bolting (%)
Shannon	80.53b	9.69a	15.16ab	12.05ab	2.04a	5.75b	1.60b	79.49a	19.75b
Granate	76.44b	9.36a	15.39ab	12.26ab	2.08a	5.65ab	1.98c	79.64a	2.69a
Klara	73.28b	10.22a	16.61a	13.93a	1.48a	5.06a	1.63b	83.82a	25.28b
Jerra	97.34a	10.71a	14.24b	11.04b	2.64a	5.44ab	1.52b	77.43a	0.00a
Juncal	78.63b	9.74a	15.30ab	12.48ab	1.68a	5.26ab	1.69bc	81.37a	5.49a
SHR01-P.12	25.47c	0.81b	9.68c	3.50c	7.01b	9.85c	1.12a	27.43c	93.42c
Mean	71.95	8.42	14.40	10.87	2.82	6.17	1.59	71.53	24.44

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف یکسان، باهم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

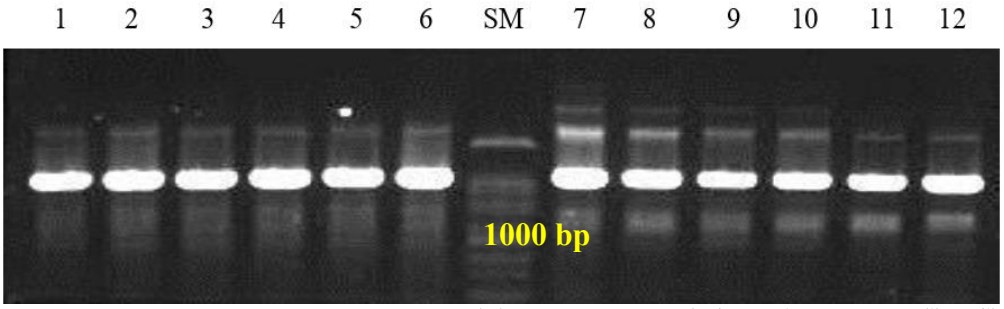
In each column, the means with at least one similar letter are not significantly different at the probability level of 0.05.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

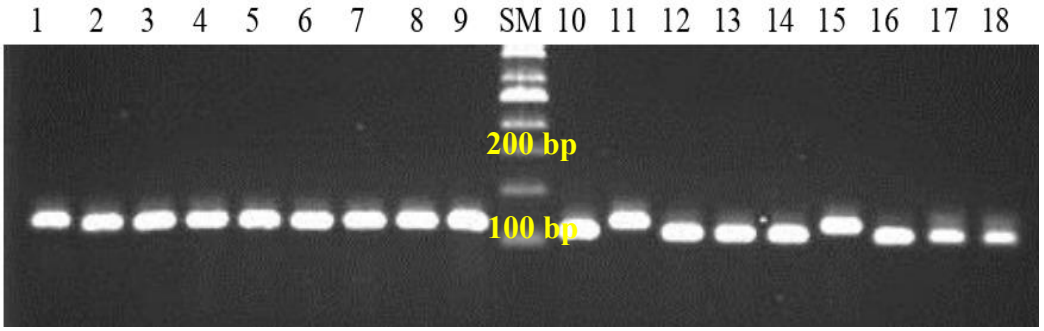
جدول ۴- پیش‌بینی بازده گزینش برای صفات مختلف مورد مطالعه در ارقام چغندرقند بر اساس شاخص MGIDI
Table 4. Prediction of selection differential for studied traits in sugar beet cultivars based on the MGIDI index

درصد بازده گزینش Selection differential in percentage	بازده گزینش Selection differential	ارزش ارقام منتخب Selected value	ارزش اولیه جمعیت Original value	صفت Trait
10.30	7.41	79.4	71.9	عملکرد ریشه Root yield (t. ha^{-1})
14.90	1.26	9.68	8.42	عملکرد شکر سفید White sugar yield (t. ha^{-1})
5.44	0.78	15.2	14.4	درصد قند ناخالص Sugar content (%)
12.20	1.32	12.2	10.9	درصد قند خالص White sugar content (%)
-30.60	-0.86	1.96	2.82	سدیم Na^+ (meq.100 g-1 pulp)
-10.50	-0.65	5.52	6.17	پتاسیم K^+ (meq.100 g-1 pulp)
2.62	0.04	1.63	1.59	نیتروژن آمینه N (meq.100 g-1 pulp)
10.30	7.40	78.9	71.5	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (%)
-47.90	-11.70	12.7	24.4	ساقه‌روی(%) Bolting



شکل ۲- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید Bol-1-1053 با اندازه باند ۱۰۵۳ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی
آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۶ مربوط به شش تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۷ تا ۱۲ مربوط به شش تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 2. The electrophoresis pattern related to the candidate marker Bol-1-1053 with a band size of 1053 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 6 correspond to six single plants without bolt in the field, and columns 7 to 12 correspond to six single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.

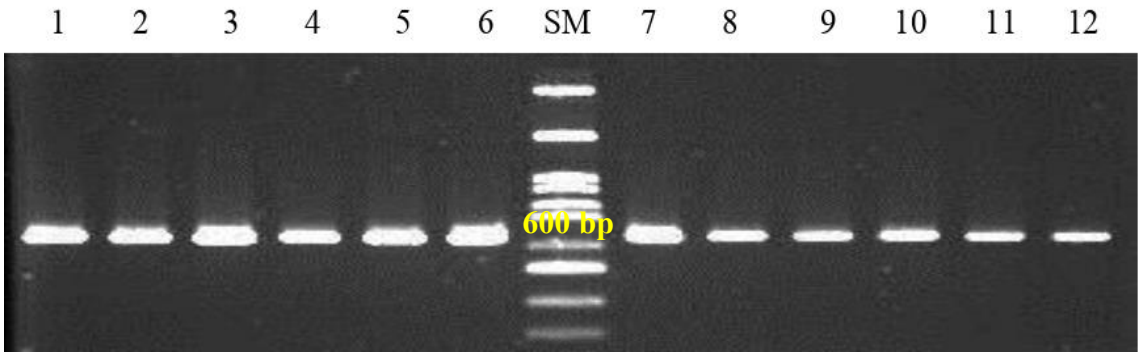


شکل ۳- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگرهای کاندید Bol-2-1~130 و Bol-2-2~110
به‌ترتیب با اندازه باندهای حدود ۱۳۰ و ۱۱۰ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۹ مربوط به نه تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۱۰ تا ۱۸ مربوط به نه تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 3. The electrophoresis pattern related to the candidate markers Bol-2-1~130 and Bol-2-2~110, respectively, with an approximate band size of 130 bp and 110 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 9 correspond to nine single plants without bolt in the field, and columns 10 to 18 correspond to nine single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.

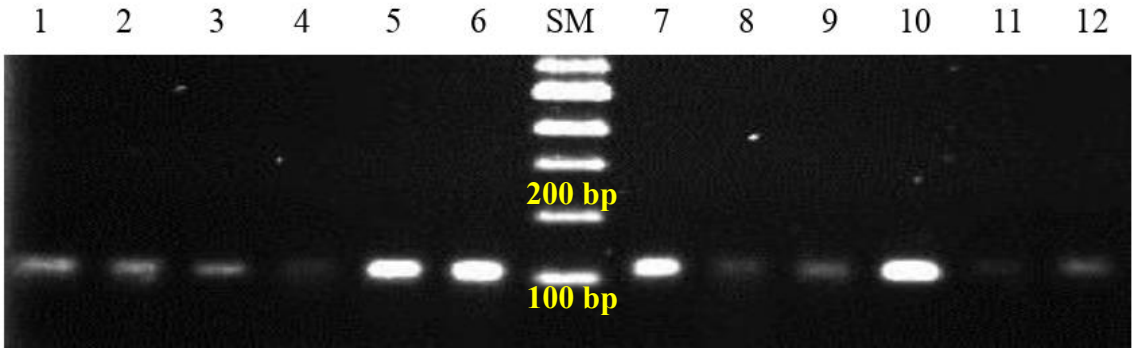
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]



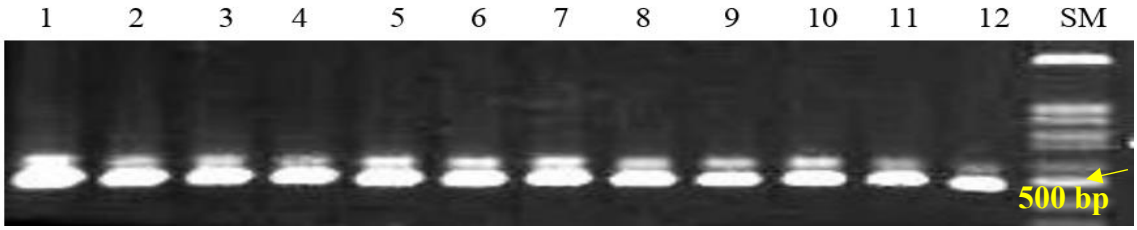
شکل ۴- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید Bol-3~630 با اندازه باند حدود ۶۳۰ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۶ مربوط به شش تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۷ تا ۱۲ مربوط به شش تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 4. The electrophoresis pattern related to the candidate marker Bol-3~630 with an approximate band size of 630 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 6 correspond to six single plants without bolting in the field, and columns 7 to 12 correspond to six single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.



شکل ۵- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید Bol-4~110 با اندازه باند حدود ۱۱۰ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۶ مربوط به شش تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۷ تا ۱۲ مربوط به شش تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

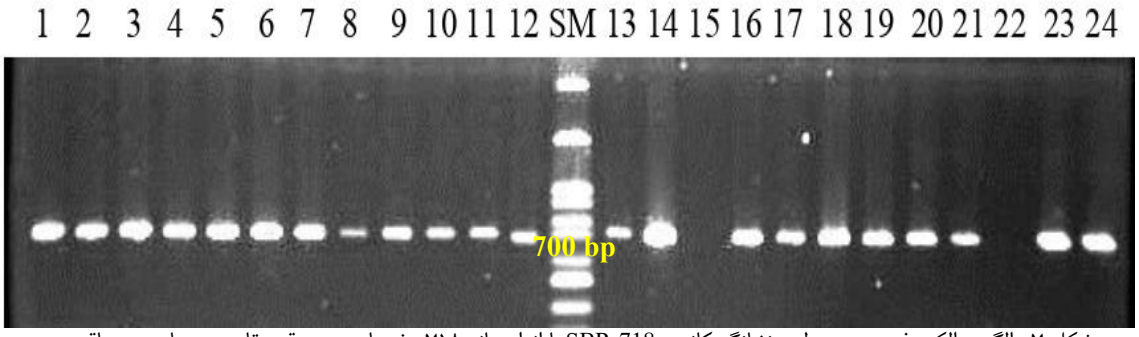
Figure 5. The electrophoresis pattern related to the candidate marker Bol-4~110 with an approximate band size of 110 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 6 correspond to six single plants without bolting in the field, and columns 7 to 12 correspond to six single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.



شکل ۶- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید SBS-489 با اندازه باند ۴۸۹ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۶ مربوط به شش تک‌بوته بدون بولت و ستون‌های ۷ تا ۱۲ مربوط به شش تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

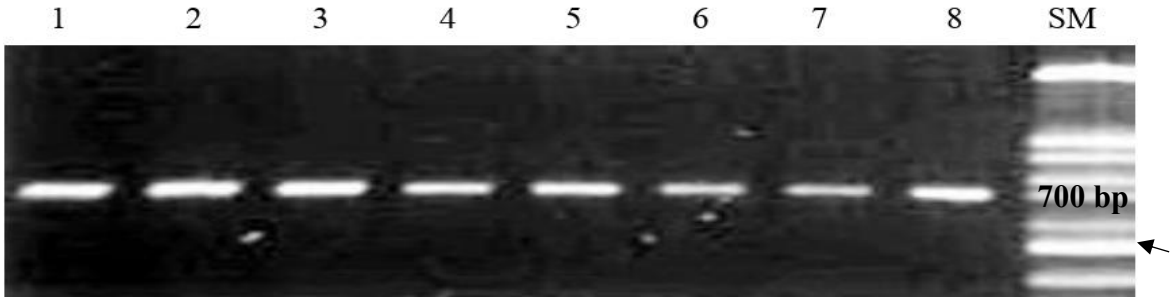
Figure 6. The electrophoresis pattern related to the candidate marker SBS-489 with a band size of 489 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 6 correspond to six single plants without bolting in the field, and columns 7 to 12 correspond to six single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]



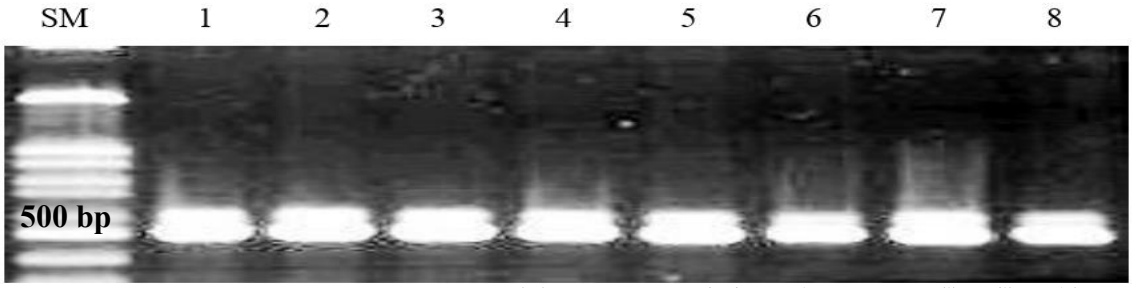
شکل ۷- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید SBR-718 با اندازه باند ۷۱۸ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی
آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۶ مربوط به شش تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۷ تا ۲۴ مربوط به ۱۸ تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 7. The electrophoresis pattern related to the candidate marker SBR-718 with a band size of 718 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 6 correspond to six single plants without bolting in the field, and columns 7 to 24 correspond to 18 single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.



شکل ۸- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید SR3-705 با اندازه باند ۷۰۵ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی
آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۴ مربوط به چهار تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۵ تا ۸ مربوط به چهار تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 8. The electrophoresis pattern related to the candidate marker SR3-705 with a band size of 705 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 4 correspond to four single plants without bolting in the field, and columns 5 to 8 correspond to four single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.



شکل ۹- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر کاندید SR4-500 با اندازه باند ۵۰۰ جفت‌باز در دو رقم مقاوم و حساس به ساقه‌روی
آزمایش: ستون‌های ۱ تا ۴ مربوط به چهار تک‌بوته بدون بولت در مزرعه و ستون‌های ۵ تا ۸ مربوط به چهار تک‌بوته به بولت رفته در مزرعه هستند. SM: نشانگر تعیین اندازه DNA.

Figure 9. The electrophoresis pattern related to the candidate marker SR4-500 with a band size of 500 bp in two bolting-resistant and susceptible varieties: columns 1 to 4 correspond to four single plants without bolting in the field, and columns 5 to 8 correspond to four single plants with bolting in the field. SM: DNA size marker.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

جدول ۵- نتایج نشانگرهای مولکولی کاندیدا مرتبط با تحمل به ساقه‌روی در نمونه‌های حساس و مقاوم از آزمایش کشت پاییزه گنبد ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 5. The results of candidate molecular markers related to bolting tolerance in susceptible and resistant samples from the Gonbad experiment of autumn cultivation, 2022-2023

نشانگرهای کاندیدا (Candidate markers)									درصد ساقه‌روی Bolting (%)	رقم Cultivar
SR-4 (500)	SR-3 (705)	SBR (718)	SBS (489)	Bol-4 (~110)	Bol-3 (~630)	Bol-2-2 (~110)	Bol-2-1 (~130)	Bol-1 (1053)		
تعداد بوته آزمون‌شده از برخی ژنوتیپ‌ها برای هر نشانگر کاندیدا Number of tested plants of some genotypes for each candidate marker										
…	…	…	…	…	…	9 resistant, 9 susceptible	9 resistant, 9 susceptible	…	19.75	Shannon
…	…	…	…	…	…	9 resistant, 9 susceptible	9 resistant, 9 susceptible	…	2.69	Granate
…	…	…	…	…	…	9 resistant, 9 susceptible	9 resistant, 9 susceptible	…	25.28	Klara
4 resistant	4 resistant	6 resistant	6 resistant	6 resistant	6 resistant	18 resistant	18 resistant	6 resistant	0	Jerra
…	…	…	…	…	…	9 resistant, 9 susceptible	9 resistant, 9 susceptible	…	5.49	Juncal
4 susceptible	4 susceptible	18 susceptible	6 susceptible	6 susceptible	6 susceptible	18 susceptible	18 susceptible	6 susceptible	93.42	SHR01-P.12
منومورف Monomorph	منومورف Monomorph	پلی مورف تصادفی Random Polymorph	منومورف Monomorph	پلی مورف تصادفی Random Polymorph	منومورف Monomorph	پلی مورف مرتبط Relevant Polymorph	پلی مورف مرتبط Relevant Polymorph	منومورف Monomorph	نتیجه‌گیری آزمون نشانگرهای کاندیدا The conclusion of the candidate markers test	
---	---	---	---	---	---	۸۳ درصد توافق	۷۸ درصد توافق	---	درصد توافق نشانگرهای پلی‌مورف مرتبط با فنوتیپ حساس یا مقاوم بوته‌ها Agreement percentage of relevant polymorph markers with resistant and susceptible phenotypes in single plants	

نشانگر Bol-1 (1053) حاصل جفت آغازگر Bol-1-F و Bol-1-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۵۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۲ درصد بوده است.

نشانگرهای Bol-2-1 (~130) و Bol-2-2 (~110) حاصل جفت آغازگر Bol-2-F و Bol-2-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۴ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۲۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۲/۴ درصد بوده است.

نشانگر Bol-3 (~630) حاصل جفت آغازگر Bol-3-F و Bol-3-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۴۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۶ درصد بوده است.

نشانگر Bol-4 (~110) حاصل جفت آغازگر Bol-4-F و Bol-4-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۴ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۲۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۶ درصد بوده است.

نشانگر SBS (489) حاصل جفت آغازگر SBS-F و SBS-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۴۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۲ درصد بوده است.

نشانگر SBR (718) حاصل جفت آغازگر SBR-F و SBR-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۴۵ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۲ درصد بوده است.

نشانگر SR-3 (705) حاصل جفت آغازگر SR-3-F و SR-3-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۴ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۴۵ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۲ درصد بوده است.

نشانگر SR-4 (500) حاصل جفت آغازگر SR-4-F و SR-4-R در واکنش PCR با دمای اتصال ۵۶ درجه سانتی‌گراد و زمان توسعه آغازگر ۴۰ ثانیه و الکتروفورز محصول PCR در ژل آگارز ۱/۲ درصد بوده است.

همان‌طور که از نتایج جدول ۵ مشخص است، از بین نشانگرهای کاندیدا مرتبط با تحمل به ساقه‌روی که بر طبق مرور منابع انتخاب شده بودند، با آزمون مولکولی در بین بوته‌های حساس و مقاوم به بولت از ارقام مختلف، تعداد پنج نشانگر کاندیدا، به‌صورت منومورف و چهار نشانگر کاندیدا، به‌صورت پلی‌مورف بودند. نشانگرهای پلی‌مورف شامل Bol-2-1، Bol-2-2، Bol-4 و SBR به‌ترتیب با اندازه‌های حدود ۱۳۰، ۱۱۰، ۱۱۰ و ۷۱۸ جفت‌باز تعیین شدند. نشانگر Bol-2-1 در تمام بوته‌های مقاوم و تنها در دو بوته حساس به ساقه‌روی مشاهده شد و لذا می‌توان آن را جفت و مرتبط با آلل مقاومت به ساقه‌روی عنوان کرد. نشانگر Bol-2-2 در هفت بوته حساس مشاهده شد و در هیچ‌یک از بوته‌های مقاوم مشاهده نشد و لذا می‌توان آن‌را ناجفت و مرتبط با آلل حساسیت به ساقه‌روی اطلاق کرد. نشانگر Bol-4 به‌صورت پلی‌مورف تصادفی و در هر دو گروه بوته‌های مقاوم و حساس به تعداد مساوی حضور داشت. نشانگر SB-R به‌صورت پلی‌مورف در هر دو گروه بوته‌های مقاوم و حساس به تعداد نزدیک هم حضور داشت. مقاومت به ساقه‌روی در کشت پائیزه چغندرقند از اهمیت زیادی برخوردار است. گوان و همکاران (Guan *et al*., 1994) اظهار داشتند که ساقه‌روی توسط چندین ژن کنترل می‌شود که یکی از آن‌ها اصلی و سایرین فرعی هستند. نتایج تحقیق ما نیز نشان می‌دهد که نشانگرهای حاصل درصد کمی از واریانس فنوتیپی صفت تحمل به ساقه روی را پوشش می‌دهند و در یک یا چند ژنوتیپ تنوع مرتبط با صفت نشان می‌دهند و این خصوصیت نشان دهنده ماهیت چندژنی بودن صفت مذکور است. شناسایی چندین نشانگر مولکولی پیوسته به ژن یک‌ساله (B) ساقه‌روی و بررسی‌های ژنتیکی بر روی ژن‌های مرتبط با تحمل به ساقه‌روی و گلدهی چغندرقند انجام شده است Boudry *et al*., 1994; Broccanello *et al*., 2015; El-) Mezawy *et al*., 2002; Pin & Nilsson, 2012; Ravi *et*

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

al., 2021). برای تهیه و تولید ارقام مقاوم نیاز به والدین مقاوم است. در روش کلاسیک، انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم با کشت آن‌ها در پاییز در مناطق مختلف انجام می‌شود که پرهزینه، زمان‌بر و تحت تأثیر نوسانات اقلیمی می‌باشد. در روش نوین انتخاب به کمک نشانگرهای مولکولی می‌توان ژنوتیپ‌های مقاوم را به‌صورت ژنتیکی غربال نمود. لازمه غربال مولکولی دستیابی به نشانگرهای مولکولی پیوسته با ژن (های) مقاومت به ساقه‌روی در چغندرقند می‌باشد. با بررسی نشانگرهای مولکولی جایگاه‌های ژنی دخیل در صفات کمی و تعیین ارتباط آن‌ها با میزان مقاومت به ساقه‌روی در لاین‌های اوتایپ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند می‌توان در صورت تائید از آن‌ها در غربال مواد ژنتیکی استفاده نمود. به این ترتیب، ارقام هیبرید چغندرقند مقاوم به ساقه‌روی سریع‌تر تهیه می‌شوند و جهت کشت پاییزه که از اولویت‌های مهم کشور است به‌کار گرفته خواهند شد. روابط پیچیده حاکم بر ژن‌های کنترل‌کننده مقاومت به ساقه‌روی و همچنین تأثیر محیط بر این صفت باعث می‌شود تا رقم‌های چغندرقند در محیط‌های مختلف و حتی در یک محیط در سال‌های مختلف سطوح متفاوتی از مقاومت را بروز دهند. لذا برای کشت پاییزه در یک منطقه جدید، بهترین راه، بررسی رقم‌ها در آن منطقه است. البته در صورت وجود مشابهت اقلیمی زیاد بین یک منطقه جدید و مناطق دیگری که قبلاً مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند، می‌توان برخی از رقم‌های منتخب را ابتدا در سطح محدود و سپس در صورت موفقیت، در سطح وسیع در منطقه جدید مورد استفاده قرار داد (Sadeghzadeh Hemayati *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در گیاه چغندرقند، ارقامی که در سال اول ساقه گل‌دهنده تولید می‌کنند، مناسب نیستند؛ زیرا این موضوع می‌تواند منجر به مصرف زیاد مواد ذخیره‌ای ریشه شود و ارزش صنعتی محصول را کاهش دهد. از این‌رو، توسعه کشت پاییزه چغندرقند نیازمند به‌نژادی و تهیه ارقام مقاوم به ساقه‌روی است. این امر به‌عنوان روشی مؤثر برای ارتقاء عملکرد و کیفیت محصول در مناطق مختلف شناخته شده است. در نتیجه، تجزیه و تحلیل آماری خصوصیات کمی و کیفی ریشه در مزرعه گنبد، ارقام Jerra و Granate با توجه به عملکرد شکر سفید (به‌ترتیب ۱۰/۷۱ و ۹/۳۶ تن در هکتار) و مقاومت به ساقه‌روی (به‌ترتیب صفر و ۲/۶۹ درصد) بالا و نمره آلودگی به بیماری قارچی سرکوسپورا (به‌ترتیب ۱ و ۱) پایین انتخاب و معرفی شدند. همچنین، نتایج آزمون‌های مولکولی نشان دادند که چهار نشانگر مولکولی کاندیدا مرتبط با تحمل به ساقه‌روی چندشکلی اولیه را نشان می‌دهند. از بین آنها، نشانگرهای جفت Bol-2-1 و ناجفت Bol-2-2 انتخاب شدند. پیشنهاد می‌گردد که تکرارپذیری نشانگرهای مولکولی حاصل با انجام آزمون‌های بیشتر در آینده صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

به این‌وسیله، نویسندگان مقاله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند به‌خاطر فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

Abe, J., Guan, G.-P., & Shimamoto, Y. (1997a). A gene complex for annual habit in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*, 94, 129-135.

Abe, J., Guan, G.-P., & Shimamoto, Y. (1997b). A marker-assisted analysis of bolting tendency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*, 94, 137-144.

Abou-Elwafa, S. F., Büttner, B., Kopisch-Obuch, F. J., Jung, C., & Müller, A. E. (2012). Genetic identification of a novel bolting locus in Beta vulgaris which promotes annuality independently of the bolting gene B. *Molecular Breeding*, 29, 989-998.

Akyüz, A., & Ersus, S. (2021). Optimization of enzyme assisted extraction of protein from the sugar beet (Beta vulgaris L.) leaves for alternative plant protein concentrate production. *Food Chemistry,* 335, 127673.

Bayat, A., Dastmalchi, A., Shahbazi, H. A., & Fazli, H. (2000). Investigation the possibility of winter cultivation of sugar beet without irrigation to get water from cereals (Final report of project., Issue.

Boudry, P., Wieber, R., Saumitou-Laprade, P., Pillen, K., Van Dijk, H., & Jung, C. (1994). Identification of RFLP markers closely linked to the bolting gene B and their significance for the study of the annual habit in beets (*Beta vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics,* 88, 852-858.

Broccanello, C., Stevanato, P., Biscarini, F., Cantu, D., & Saccomani, M. (2015). A new polymorphism on chromosome 6 associated with bolting tendency in sugar beet. *BMC Genetics*, 16, 1-7.

Büttner, B., Abou-Elwafa, S. F., Zhang, W., Jung, C., & Müller, A. E. (2010). A survey of EMS-induced biennial Beta vulgaris mutants reveals a novel bolting locus which is unlinked to the bolting gene B. *Theoretical and Applied Genetics,* 121, 1117-1131.

Chiurugwi, T., Holmes, H. F., Qi, A., Chia, T. Y., Hedden, P., & Mutasa-Göttgens, E. (2013). Development of new quantitative physiological and molecular breeding parameters based on the sugar-beet vernalization intensity model. *The Journal of Agricultural Science,* 151(4), 492-505.

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

Dellaporta, S. L., Wood, J., & Hicks, J. B. (1983). A plant DNA minipreparation: version II. *Plant Molecular Biology Reporter,* 1, 19-21.

El-Mezawy, A., Dreyer, F., Jacobs, G., & Jung, C. (2002). High-resolution mapping of the bolting gene B of sugar beet. *Theoretical and Applied Genetics,* 105, 100-105.

Grubbs, F. E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics,* 11(1), 1-21.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

Guan, G., Abe, J., & Shimamoto, Y. (1994). Genetic analysis of bolting in sugarbeet using a gene for annuality (B) In: Proc 7th Int. Cong. of Soc Adv Breed Res in Asia and Oceania, Faculty of Agriculture. Hokkaido University, Sappor, Japan.

Hamidi, H., Ahmadi, M., & Taleghani, D. (2022). Selection of Suitable Sugar Beet Genotypes for Winter Sowing (Pending) in Torbat-e-Jam Region. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 20(3), 335-348. https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74787.1138

Hoffmann, C. M., & Kluge-Severin, S. (2011). Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy,* 34(1), 1-9.

Hohmann, U., Jacobs, G., & Jung, C. (2005). An EMS mutagenesis protocol for sugar beet and isolation of non-bolting mutants. *Plant Breeding,* 124(4), 317-321.

Kunz, M., Martin, D., & Puke, H. (2002). Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie,* 127(1), 13-21.

Milford, G., & Limb, R. (2008). Bolting in sugar beet–time to re-evaluate our advice. *British Sugar Beet Rev,* 76, 3-5.

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, 74-85.

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., & Diel, M. I. (2019). Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials II: Selection Based on Multiple Traits. *Agronomy Journal*, 111(6), 2961-2969. https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221

Olivoto, T., & Nardino, M. (2021). MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics,* 37(10), 1383-1389.

Owen, F. (1941). Photothermal induction of flowering in sugar beets. *Journal of Agricultural Research,* 61, 101.

Pfeiffer, N., Tränkner, C., Lemnian, I., Grosse, I., Müller, A. E., Jung, C., & Kopisch-Obuch, F. J. (2014). Genetic analysis of bolting after winter in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics,* 127, 2479-2489.

Pin, P., & Nilsson, O. (2012). The multifaceted roles of flowering locus T in plant development. *Plant, Cell & Environment,* 35(10), 1742-1755.

Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H., Mehrvar, M. R., Asadi, A., & Amini, A. (2021). Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre,* 45(1), 1-16.

Ravi, S., Campagna, G., Della Lucia, M. C., Broccanello, C., Bertoldo, G., Chiodi, C., Maretto, L., Eslami, A. S., Srinivasan, S., & Squartini, A. (2021). SNP alleles associated with low bolting tendency in sugar beet. *Frontiers in Plant Science,* 12, 693285.

Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner, & Beiss, U. (1974). Zur Voraussage des Melassez zuckersaus Ruben analysen Zucker. Chapman & Hall, World Crop Series.

Reinsdorf, E., Koch, H.-J., Loel, J., & Hoffmann, C. (2014). Yield of bolting winter beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by plant density, genotype and environment. *European Journal of Agronomy,* 54, 1-8.

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(1), 1293.

Sadeghzadeh Hemayati, S., Shirzadi, M., Aghaeezadeh, M., Taleghani, D., Javaheri, M., & Aliasghari, A. (2012). Evaluation of sowing and harvesting date effects on yield and quality of five sugar beet cultivars in Jiroft region (autumn planting). *Journal of Sugar Beet,* 28(1), 42-25.

Sadeghzadeh Hemayati, S., Taleghani, D., Rajabi, A., Aghaeezadeh, M., & Orazizadeh, M. R. (2014). Suitable areas and varieties for autumn sugar beet cultivation in Iran. The 36th seminar of Iranian sugar factories, Karaj, Iran.

Schnepel, K., & Hoffmann, C. (2016). Effect of extending the growing period on yield formation of sugar beet. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 202(6), 530-541.

Shimamoto, Y., Tanada, T., & Abe, J. (1990). Analysis for bolting of sugarbeet by means of the test crosses of biennial lines with annual line. *Proceedings of the Japanese Society of Sugar Beet Technologists,* 134-137.

Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2022). Application of the multi-trait genotype-ideotype distance index in the selection of top barley genotypes in the warm and dry region of darab [Applicable]. *Journal of Crop Breeding,* 14(44), 65-76. https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.65 [In Persian]

Taleghani, D., Hosseinpour, M., Nemati, R., & Saremirad, A. (2023a). Study of the possibility of winter sowing of sugar beet (Beta vulgaris L.) early cultivars in Moghan region, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 24(4), 319-334.

Taleghani, D., Hosseinpour, M., Nemati, R., & Saremirad, A. (2023b). Study of the possibility of winter sowing of sugar beet (Beta vulgaris L.) early cultivars in Moghan region, Iran [Scientific & Research]. *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences,* 24(4), 319-334. http://agrobreedjournal.ir/article-1-1269-fa.html

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]

Taleghani, D., Moharamzadeh, M., Hemayati, S. S., Mohammadian, R., & Farahmand, R. (2011). Effect of sowing and harvest time on yield of autumn-sown sugar beet in Moghan region in Iran. *Seed and Plant Production Journal,* 27(2), 355-371.

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & Darabi, S. (2023c). Estimation of gene action and genetic parameters of some quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (Beta Vulgaris L.) by line × tester analysis [Research]. *Journal of Crop Breeding,* 15(48), 201-212. https://doi.org/10.61186/jcb.15.48.201 [In Persian]

Taleghani, D., & Saremirad, A. (2023). Evaluation of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) half-sib lines response to drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions,* 5(1), 81-104.

Taleghani, D., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Ahmadi, M., Hamidi, H., & Nemati, R. (2022). Genotype × Environment Interaction Effect on White Sugar Yield of Winter-Sown Short-Season Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars. *Seed and Plant Journal,* 38(1), 53-69. https://doi.org/10.22092/spj.2022.360021.1275

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1541]