Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 4, 2024 p:64-76

OPEN ACCESS

Research Paper

Selection of Superior Sugar Beet Genotypes using the Analysis of Quantitative and Qualitative Traits

Mahdi Hassani[1], Ali Saremirad[2] and Hamed Mansouri[3]

1- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: m.hasani@areeo.ac.ir)
2- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran

Received: 16 April, 2024 Accepted: 5 July, 2024

Extended Abstract

Background: Sugar beet stands as a cornerstone crop in global agriculture, holding a pivotal position in sugar production and significantly shaping the sweetener industry. Given its fundamental role, enhancing traits crucial for sugar beet growth and yield is imperative to meet the escalating sugar demand forecasted for the future. Consequently, sugar beet breeding has long been a critical domain of research and development, focusing on enhancing yield, quality, and resistance to diseases of this essential commodity. Breeders have effectively cultivated sugar beet varieties boasting elevated quantitative and qualitative yields, alongside enhanced disease resistance, achieved through the meticulous selection and crossbreeding of diverse sugar beet lines. The current study undertakes the comprehensive evaluation of sugar beet genotypes across various traits encompassing quantitative and qualitative performance, aiming to pinpoint and select superior genotypes for future breeding initiatives.

Methods: This research was conducted on 49 meticulously chosen sugar beet genotypes, comprising 44 novel hybrids and five control varieties, encompassing three domestic and two foreign cultivars. These innovative hybrids emerged from a cross between 22 pure pollinator lines of sugar beet as the paternal parent and two commercial monogerm male-sterile single crosses as the maternal parent in 2020 at the Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Karaj, Alborz, Iran. The phenotypic assessment of these experimental genotypes was conducted throughout the 2021 crop year at the Hamedan Agricultural Research Station utilizing an augmented randomized complete block design. The genotypes were cultivated in eight-meter rows spaced 50 cm apart within five incomplete blocks. Following data collection, variance analysis was carried out using R software. Subsequently, trait values for each hybrid were adjusted based on the augmented design implementation and the variance analysis outcomes for the various studied traits. The corrected trait averages were then employed for subsequent statistical analyses.

Results: The results obtained from the variance analysis of various evaluated traits, such as white sugar yield, root yield, sugar content, sodium, potassium, and *alpha-amino* nitrogen, revealed that the adjusted block effect non-significantly influenced all the studied traits. This non-significance indicates the homogeneity of the incomplete blocks concerning controllable or uncontrollable environmental conditions. Notably, the adjusted treatment effect proved significant for all traits, except for root yield and potassium content at a 1% probability level. When dissecting the treatment effect into hybrid and control impacts, it emerged that only the sugar content trait exhibited a significant hybrid effect while all the investigated traits showed a significant control effect. The analysis of the hybrid versus control effect unveiled a significant disparity solely in terms of sodium and *alpha-amino* nitrogen content at a 1% probability level, with no notable difference observed for the other traits. Among the experimental hybrids and controls, two controls, 8K801 and BTS 1885, along with genotypes 33, 12, and 24, demonstrated commendable average white sugar yields ranging from 9.15 to 10.52 tons per hectare. These hybrids notably outperformed domestic controls, e.g. Hosna, Kimia, and Shokoufa, indicating the superiority of the new improved hybrids over internal control varieties. Genotype 42 exhibited the least favorable condition in white sugar yield and ranked lowest. The phenotypic diversity coefficient

Copyright ©2024 Hassani 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.

ranged from 4.99% for sugar content to 22.53% for sodium content while the genetic diversity coefficient varied from 1.96% for potassium content to 14.23% for sodium content. Traits such as *alpha amino* nitrogen, sodium, and root yield displayed moderate genetic advance whereas potassium, sugar content, and white sugar yield showed lower genetic advance. Notably, high heritability was observed alongside favorable genetic advance for *alpha-amino* nitrogen, suggesting additive genetic effects. The SIIG index results highlighted genotype 12 as the closest to the ideal genotype and farthest from the non-ideal genotype, earning it the highest SIIG value of 0.82, designating it as the best genotype. Following this, control variety 8K801 and genotypes 35 and 33 secured subsequent ranks with SIIG values of 0.72, 0.71, and 0.71, respectively, denoting them as suitable genotypes.

Conclusion: The findings underscore significant genetic diversity evident in the majority of traits among the experimental hybrids, highlighting substantial genetic alterations within hybrid breeding endeavors. This rich diversity within the studied germplasm is attributed to the diverse paternal line, resulting in the assignment of experimental hybrids into distinct groups based on all evaluated traits. Overall, the results firmly establish the superior performance of three key genotypes, namely 12, 35, and 33, surpassing other tested genotypes in the study.

Keywords: Augmented, Germplasm, Hybrid, Male-sterile, Monogerm

How to Cite This Article: Hassani, M., Saremirad, A., & Mansouri, H. (2024). Selection of Superior Sugar Beet Genotypes using the Analysis of Quantitative and Qualitative Traits. *J Crop Breed,* 16(4), 64-76. DOI: 10.61186/jcb.16.4.64

مقاله پژوهشی

گزینش ژنوتیپ‌های برتر چغندرقند با استفاده از تجزیه و تحلیل صفات کمی و کیفی

مهدی حسنی[۱]، علی صارمی‌راد[۲] و حامد منصوری[۳]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: m.hasani@areeo.ac.ir)
۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۵
صفحه: ۶۴ تا ۷۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: چغندرقند نقش مهمی در کشاورزی جهانی به‌عنوان یک محصول حیاتی برای تولید شکر ایفا می‌کند و به‌طور قابل توجهی به صنعت شیرین‌کننده‌ها کمک می‌کند. بدیهی است که بهبود صفاتی که تأثیر عمیقی بر رشد و عملکرد چغندرقند دارند، برای برآوردن تقاضای شکر در آینده از اهمیت بالایی برخوردار است. در این ارتباط، اصلاح چغندرقند با اهداف مختلف اعم از ارتقای عملکرد، کیفیت و مقاومت این محصول مهم، همواره یکی از عرصه‌های حیاتی تحقیق و توسعه بوده است و تاکنون، اصلاح‌کنندگان با موفقیت ارقام چغندرقند با عملکرد کمی و کیفی بالا و مقاومت در برابر بیماری‌ها ایجاد کرده‌اند. این پیشرفت‌ها از طریق انتخاب دقیق و تلاقی لاین‌های مختلف چغندرقند به‌دست آمده است. در این راستا، در مطالعه حاضر به ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند از نظر صفات مختلف مرتبط با عملکرد کمی و کیفی جهت شناسایی و به‌کارگیری ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاحی آتی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: برای این مطالعه، از ۴۹ ژنوتیپ چغندرقند، شامل ۴۴ هیبرید جدید و پنج شاهد که از سه رقم داخلی و دو رقم خارجی تشکیل شده‌اند، استفاده شد. این هیبریدهای جدید از تلاقی بین ۲۲ لاین خالص گرده‌افشان چغندرقند به‌عنوان والد پدری و دو سینگل کراس نرعقیم منوژرم تجاری به‌عنوان والد مادری در سال ۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند شدند. ارزیابی‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌های آزمایشی طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی همدان در قالب طرح مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت) بر روی ردیف‌هایی به‌طول هشت متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در پنج بلوک ناقص کشت شدند. پس از حصول داده‌های آزمایشی، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار R تجزیه واریانس انجام شد؛ سپس با توجه به اجرای طرح آگمنت و نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه، مقدار هر صفت در هیبریدهای مورد مطالعه تصحیح گردید و در نهایت از میانگین‌های تصحیح‌شده صفات برای انجام سایر تجزیه‌وتحلیل‌های آماری استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات شامل عملکرد شکر سفید، عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه نشان داد که اثر بلوک تصحیح‌شده برای تمامی صفات مورد مطالعه غیر معنی‌دار است. غیر معنی‌داری اثر بلوک تصحیح‌شده برای صفات نشان می‌دهد که بلوک‌های ناقص از نظر شرایط قابل کنترل و یا غیرقابل کنترل محیطی همگن می‌باشند. اثر تیمار تصحیح‌شده برای کلیه صفات مورد بررسی به‌جز عملکرد ریشه و محتوی پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با تفکیک اثر تیمار به اثرات هیبرید و شاهد ملاحظه شد که اثر هیبرید تنها برای صفت درصد قند ناخالص و اثر شاهد برای کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار می‌باشند. بررسی اثر هیبرید در برابر شاهد نشان داد که میان هیبریدهای آزمایشی با شاهدهای به‌کاررفته در آزمایش تنها از نظر محتوای سدیم و نیتروژن آمینه تفاوت قابل ملاحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و از لحاظ سایر صفات بین آن‌های تفاوتی وجود ندارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، دو شاهد 8K801 و BTS 1885 به‌همراه ژنوتیپ‌های ۳۳، ۱۲ و ۲۴ به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۵۲، ۱۰/۰۴، ۹/۹۳، ۹/۸۲ و ۹/۱۵ تن در هکتار دارای عملکرد بسیار خوبی بودند. هیبریدهای مذکور در مقایسه با شاهدهای داخلی حسنا، کیمیا و شکوفا نیز از عملکرد شکر سفید بالایی برخوردار بودند. این موضوع حاکی از برتری هیبریدها در قیاس با شاهدها می‌باشد. ژنوتیپ ۴۲ نامطلوب‌ترین وضعیت را از نظر عملکرد شکر سفید داشت و آخرین رتبه را از آن خود کرد. ضریب تنوع فنوتیپی در بازه بین ۴/۹۹ درصد برای درصد قند ناخالص تا ۲۲/۵۳ درصد برای محتوی سدیم ریشه و ضریب تنوع ژنتیکی نیز بین ۱/۹۶ درصد برای محتوی پتاسیم تا ۱۴/۲۳ درصد برای محتوی سدیم ریشه به‌دست آمد. سه صفت نیتروژن آمینه، میزان سدیم و عملکرد ریشه از پیشرفت ژنتیکی متوسط و پتاسیم، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر سفید از پیشرفت ژنتیکی پایین برخوردار بودند. وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی مطلوب برای صفت نیتروژن آمینه مشاهده گردید که نشان‌دهنده اثرات افزایشی ژن‌ها است. بر اساس نتایج شاخص SIIG، ژنوتیپ ۱۲ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها کم‌ترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل و بیشترین فاصله را از ژنوتیپ غیر ایده‌آل داشت، لذا برهمین اساس این ژنوتیپ با بیش‌ترین مقدار SIIG (۰/۸۲) برترین ژنوتیپ معرفی شد. پس از ژنوتیپ نامبرده، رقم شاهد 8K801 و ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۳۳ به‌ترتیب با داشتن مقدار SIIG برابر با ۰/۷۲، ۰/۷۱ و ۰/۷۱ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و جز ژنوتیپ‌های مناسب شناخته شدند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که بین هیبریدهای آزمایشی تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای از نظر اکثریت صفات حاکم است که مؤید تغییرات ژنتیکی گسترده در هیبریدهای اصلاحی است و پایه پدری این تنوع غنی را در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه فراهم کرده است؛ به‌طوری‌که هیبریدهای آزمایشی به گروه مختلف از نظر کلیه صفات منتسب شدند. در مجموع نتایج حاکی از برتری سه ژنوتیپ ۱۲، ۳۵ و ۳۳ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی بودند.

واژه‌های کلیدی: آگمنت، ژرم‌پلاسم، منوژرم، نرعقیم، هیبرید

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌ها باید تا سال ۲۰۵۰ تولید مواد غذایی حدود ۷۰ درصد افزایش یابد تا بیش از ۹ میلیارد نفر را تغذیه کند (FAO, 2009; United Nations, 2017)؛ با این‌حال، نگرانی‌های جدی وجود دارد که با استفاده از ارقام زراعی فعلی و روش‌های کنونی کشاورزی، نتوان به افزایش تقاضا برای محصولات گیاهی پاسخ داد (Voss-Fels *et al*., 2019). از سوی دیگر، تخریب مناطق کشاورزی در اثر فرسایش، آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر مصرف بی‌رویه کود و آفت‌کش‌ها، کاهش عملکرد محصول در بسیاری از مناطق و کاهش منابع طبیعی امنیت غذایی را تهدید می‌کنند (FAO, 2023; Ferber, 2001; Smith *et al*., 2017). علاوه بر اینکه همه این عوامل چالش‌های عظیمی را برای کشاورزی ایجاد می‌کنند، اما تغییرات مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده آب‌وهوا این چالش‌ها را تشدید می‌کند و منجر به کاهش عملکرد محصولات در بسیاری از مناطق جهان می‌شود (Asseng *et al*., 2020; Field & Barros, 2014). در نتیجه، زمینه‌های مختلف مرتبط با تحقیقات کشاورزی و زیست‌محیطی با چالش‌های بی‌سابقه‌ای روبرو هستند و نیاز به رویکردهایی با کمترین آثار زیست‌محیطی برای دستیابی به امنیت غذایی جهان دارند.

اهمیت چغندرقند در کاربردهای مختلف و فواید تغذیه‌ای آن نهفته است (Akyüz & Ersus, 2021; Hassani *et al*., 2024; Lammens *et al*., 2012; Tenorio *et al*., 2017; Tomaszewska *et al*., 2018). در این ارتباط، اگرچه چغندرقند مستقیماً در تغذیه انسان دخالت ندارد، اما پس از نیشکر دومین محصولی است که در جهان با هدف تولید شکر سفید برای مصرف انسان کشت می‌شود (Monteiro *et al*., 2018a; Taleghani *et al*., 2023b). در واقع، این گیاه یک محصول بسیار مهم کشاورزی می‌باشد که سالیانه در حدود ۲۷۸ میلیون تن ریشه تولید می‌کند (FAO, 2021). این میزان تولید ریشه صرفاً به‌طور تخصصی در صنعت قند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Akyüz & Ersus, 2021) و نزدیک به ۲۰ درصد از تولید سالیانه قند جهان را به‌خود اختصاص می‌دهد (Monteiro *et al*., 2018b; Ribeiro *et al*., 2016). ریشه چغندرقند علاوه بر ۱۸ تا ۲۰ درصد قند (Dohm *et al*., 2014)، حاوی ۷۵ درصد آب و پنج درصد تفاله (Anonymous, 1999) است. لذا، صنعت قند چغندرقند مقادیر قابل‌توجهی از محصولات جانبی نیز تولید می‌کند که می‌توانند به طرق مختلف ارزش‌گذاری شوند (Sadeghzadeh Hemayati *et al*., 2022). لذا چغندرقند می‌تواند نقش اساسی در تضمین امنیت انرژی غذایی و حتی انرژی سوختی داشته باشد؛ بنابراین، افزایش بهره‌وری چغندرقند برای حفظ عرضه جهانی غذا و انعطاف زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

اصلاح ارقام جدید برای افزایش بیشتر پتانسیل عملکرد در محیط‌های پربازده (Evans & Fischer, 1999; Rajabi *et al*., 2023; Saremirad & Taleghani, 2022) یکی از رویکردهای مقابله با چالش امنیت غذایی است (Reynolds *et al*., 2021; Taleghani *et al*., 2024)، با این مزیت که عملکرد در شرایط رشد ضعیف‌تر همچنان می‌تواند افزایش یابد (Bustos *et al*., 2013; Reynolds *et al*., 2012). در قلمرو علوم کشاورزی، اصلاح چغندرقند به‌عنوان یک زمینه مطالعاتی مهم با پیامدهای قابل‌توجهی برای صنعت غذای جهانی است (Saremirad *et al*., 2023; Taleghani *et al*., 2022). در طول چند دهه گذشته، محققان و اصلاح‌گران پیشرفت‌های قابل‌توجهی در افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندرقند از طریق برنامه‌های اصلاحی سیستماتیک و روش‌های بیوتکنولوژیکی داشته‌اند (Taleghani *et al*., 2022)؛ به‌طوری‌که میزان قند از هشت درصد به ۱۸ درصد در ارقام امروزی افزایش یافته است (Dohm *et al*., 2014). اصلاح ژنتیکی همچنین به‌طور فعال برای صفاتی مانند مقاومت در برابر بیماری‌های ویروسی و قارچی، بهبود عملکرد ریشه، منوژرمی بذر و مقاومت به ساقه‌روی (بولتینگ) به‌کار گرفته شده است (Hassani *et al*., 2024; Rajabi *et al*., 2023; Sadeghzadeh Hemayati *et al*., 2022; Saremirad & Taleghani, 2022; Taleghani *et al*., 2023a; Taleghani *et al*., 2022; Taleghani *et al*., 2024). بدیهی است که بهبود صفاتی‌که تأثیر عمیقی بر رشد و عملکرد دارند، برای برآوردن تقاضای شکر در آینده از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند از نظر صفات مختلف مرتبط با عملکرد کمی و کیفی جهت شناسایی و به‌کارگیری ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاحی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

برای پژوهش حاضر، ۴۹ ژنوتیپ چغندرقند شامل ۴۴ هیبرید جدید و پنج شاهد متشکل از سه رقم داخلی و دو رقم خارجی استفاده شد (جدول ۱). این مجموعه از هیبریدهای جدید در نتیجه تلاقی میان ۲۲ لاین خالص گرده‌افشان چغندرقند به‌عنوان والد پدری با دو سینگل کراس نرعقیم منوژرم تجاری به‌عنوان والد مادری در سال ۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند با هدف وارد نمودن ژن مقاومت به بیماری ریزومانیا (Rhizomania) به پس‌زمینه ژنتیکی ژنوتیپ‌های با عملکرد کمی و کیفی مناسب تولید شدند.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند

Table 1. Characterization of experimental sugar beet genotypes

ژنوتیپ (Genotype)	شجره (Origin)	ژنوتیپ (Genotype)	شجره (Origin)
1	SC (201-9*301-11) * S1 - 930308	26	SC (201-25*301-28) * S1 – 960008
2	SC (201-9*301-11) * S1 - 940318	27	SC (201-25*301-28) * S1 – 960012
3	SC (201-9*301-11) * S1 - 940320	28	SC (201-25*301-28) * S1 – 960014
4	SC (201-9*301-11) * S1 – 960008	29	SC (201-25*301-28) * S1 – 960015
5	SC (201-9*301-11) * S1 – 960012	30	SC (201-25*301-28) * S1 – 960056
6	SC (201-9*301-11) * S1 – 960014	31	SC (201-25*301-28) * S1 – 960195
7	SC (201-9*301-11) * S1 – 960015	32	SC (201-25*301-28) * S1 – 960196
8	SC (201-9*301-11) * S1 – 960056	33	SC (201-25*301-28) * S1 – 960215
9	SC (201-9*301-11) * S1 – 960195	34	SC (201-25*301-28) * S1 – 960216
10	SC (201-9*301-11) * S1 – 960196	35	SC (201-25*301-28) * S1 – 960222
11	SC (201-9*301-11) * S1 – 960215	36	SC (201-25*301-28) * S1 – 960258
12	SC (201-9*301-11) * S1 – 960216	37	SC (201-25*301-28) * S1 – 960281
13	SC (201-9*301-11) * S1 – 960222	38	SC (201-25*301-28) * S1 – 960284
14	SC (201-9*301-11) * S1 – 960258	39	SC (201-25*301-28) * SB 51
15	SC (201-9*301-11) * S1 – 960281	40	SC (201-25*301-28) * S1 – 970136
16	SC (201-9*301-11) * S1 – 960284	41	SC (201-25*301-28) * S1 – 970145
17	SC (201-9*301-11) * SB 51	42	SC (201-25*301-28) * S1 – 970025
18	SC (201-9*301-11) * S1 – 970136	43	SC (201-25*301-28) * S1 – 970060
19	SC (201-9*301-11) * S1 – 970145	44	SC (201-25*301-28) * S1 – 970071
20	SC (201-9*301-11) * S1 – 970025	45	Kimya
21	SC (201-9*301-11) * S1 – 970060	46	BTS 1885
22	SC (201-9*301-11) * S1 – 970071	47	8K801
23	SC (201-25*301-28) * S1 - 930308	48	Hosna
24	SC (201-25*301-28) * S1 - 940318	49	Shokoufa
25	SC (201-25*301-28) * S1 - 940320	-	-

مکان تحقیقاتی، طرح آزمایشی و جمع‌آوری داده

ارزیابی‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌های آزمایشی طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی همدان انجام شد. هیبریدهای آزمایشی در قالب طرح مقایسه عملکرد مقدماتی

(آگمنت) بر روی ردیف‌هایی به‌طول هشت متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در پنج بلوک ناقص کشت شدند. در هر بلوک ناقص، کشت کلیه ارقام شاهد داخلی و خارجی یک‌بار تکرار شد. بر روی ردیف‌های کشت، تعداد بذر بیشتری استفاده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردیدند و به تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شدند. در طول فصل زراعی، مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری، مصرف کود و سایر فعالیت‌های مدیریتی مزرعه براساس نظر کارشناسان مربوطه انجام گردید. علاوه بر این، به‌طور مرتب ردیابی و پیشگیری از حمله آفات و بیماری‌های چغندرقند انجام شد. دهم آبان‌ماه، ریشه‌ها با حذف یک‌متر از ابتدا و انتهای خطوط، برداشت، شمارش و توزین گردیدند. سپس برای شستشو و تهیه نمونه تصادفی خمیر با استفاده از دستگاه اتوماتیک ونما به آزمایشگاه تکنولوژی قند انتقال یافتند. نمونه‌های خمیر تهیه‌شده در حالت انجماد به آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند منتقل شده و از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. برای محاسبه عملکرد شکر سفید مربوط به هر ژنوتیپ، ابتدا درصد قند ملاس و درصد قند خالص به‌ترتیب 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 مقادیر عملکرد شکر سفید برای هریک از آن‌ها به‌دست آمد (Cook & Scott, 1993):

رابطه ۱:
$$MS = 0.343(K^+ + Na^+) + 0.094(alpha\ amino\ N) - 0.31$$

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 میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، Na^+ سدیم برحسب میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، *alpha amino* N نیتروژن آمینه برحسب میلی اکی‌والان 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 می‌باشد.

تجزیه آماری داده‌های آزمایشی

در ابتدا بر روی داده‌های به‌دست آمده برای ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی، با استفاده از نرم‌افزار R تجزیه واریانس انجام شد. با توجه به اجرای طرح آگمنت و نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه، مقدار هر صفت در هیبریدهای مورد مطالعه تصحیح گردید. از میانگین‌های تصحیح‌شده صفات برای انجام سایر تجزیه‌وتحلیل‌های آماری استفاده شد.

جهت برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی از روش سینگ و چادری (Singh & Chaudhary, 1996) به‌ترتیب براساس روابط ۴ و ۵ استفاده شد که در آن $\bar{X}$ میانگین صفت می‌باشد.

رابطه ۴:
$$PCV\ (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۵:
$$GCV\ (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$$

وراثت‌پذیری عمومی بر اساس روش فالکونر (Falconer, 1996) از طریق رابطه ۶ برآورد گردید.

رابطه ۶:
$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \times 100$$

در رابطه ۶، σ_g^2 واریانس ژنتیکی و σ_p^2 واریانس فنوتیپی به‌دست‌آمده از امید ریاضی جدول تجزیه واریانس بر طبق روش کامستوک و رابینسون (Comstock & Robinson, 1952) است.

پیشرفت ژنتیکی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد.

رابطه ۷:
$$GA = k \times \sigma_p \times h^2$$

در این رابطه (رابطه ۷) k شدت گزینش ۱۰ درصد برابر ۱/۷۵۵، σ_p انحراف معیار فنوتیپی و h^2 وراثت‌پذیری عمومی می‌باشد (Allard, 1960; Singh & Chaudhary, 1996).

به‌منظور گزینش بهتر و کارآمدتر ژنوتیپ‌های آزمایشی با در نظر داشتن اهداف مدنظر بر اساس صفات کمی و کیفی مختلف اعم از عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه، شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) با استفاده از نرم‌افزار R برآورد گردید. به این‌منظور ابتدا داده‌های اصلی براساس رابطه ۸ نرمال شدند.

رابطه ۸:
$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum X_{ij}^2}}$$

پس از نرمال کردن داده‌ها، بهترین ژنوتیپ از نظر هر صفت به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل و ضعیف‌ترین ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ غیر ایده‌آل تعیین شد. در مرحله بعد به بررسی فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+) و نیز ژنوتیپ غیر ایده‌آل (d_i^-) بر اساس روابط ۹ و ۱۰ پرداخته شد.

رابطه ۹:
$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{g} (r_{ij} - r_i^+)^2}$$

رابطه ۱۰:
$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{g} (r_{ij} - r_i^-)^2}$$

در این روابط r_{ij} مقدار نرمال‌شده صفت iام برای ژنوتیپ jام، r_i^+ و r_i^- به‌ترتیب مقدار نرمال‌شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل برای صفت iام می‌باشد. با حصول فواصل هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل، شاخص SIIG برای هر ژنوتیپ طبق رابطه ۱۱ محاسبه شد.

رابطه ۱۱:
$$SIIG = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند شامل عملکرد شکر سفید، عملکرد ریشه،

درصد قند ناخالص، سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه در جدول ۳ ارائه شده است. اثر بلوک تصحیح‌شده برای تمامی صفات مورد مطالعه غیر معنی‌دار برآورد شد. غیر معنی‌داری اثر بلوک تصحیح‌شده برای صفات نشان می‌دهد که بلوک‌های ناقص از نظر شرایط قابل کنترل و یا غیرقابل کنترل محیطی همگن می‌باشند. اثر تیمار تصحیح‌شده برای کلیه صفات مورد بررسی به‌جز عملکرد ریشه و محتوی پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با تفکیک اثر تیمار به اثرات هیبرید و شاهد ملاحظه شد که اثر هیبرید تنها برای صفت درصد قند ناخالص و اثر شاهد برای کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳)؛ بنابراین تنوع ژنتیکی مشاهده‌شده در تیمار تصحیح‌شده ناشی از تنوع ژنتیکی در داخل شاهد است. با بررسی اثر هیبرید در برابر شاهد مشخص شد که میان هیبریدهای آزمایشی با شاهدهای به‌کاررفته در آزمایش تنها از نظر محتوای سدیم و نیتروژن آمینه تفاوت قابل ملاحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و از لحاظ سایر صفات بین آن‌های تفاوتی نیست.

جدول ۲- شرایط اقلیمی ایستگاه تحقیقاتی آزمایشی

Table 2. Weather characteristics at the experimental research station

پارامتر Parameter	ماه Month						
	April	May	June	July	August	September	October
دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	5.55-17.20	10.50-23.33	15.00-30.01	18.92-33.83	17.80-32.81	12.81-28.34	7.80-21.11
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	27.93	12.71	5.00	2.54	5.00	10.62	22.81

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف مورد مطالعه ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی

Table 3. Analysis of variance of different studied traits in experimental sugar beet genotypes

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد شکر سفید White sugar yield	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند ناخالص Sugar content	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن آمینه *Alpha amino* N
بلوک Block (adj)	4	0.60	31.14	0.27	0.26	1.03	0.32
تیمار Treatment (adj)	48	3.73**	129.83^{ns}	1.88**	0.57**	0.53^{ns}	0.27^{ns}
هیبرید Hybrid	43	1.54^{ns}	112.82^{ns}	0.52*	0.26^{ns}	0.43^{ns}	0.17^{ns}
شاهد Check	4	27.62**	297.72*	16.97**	1.90**	1.69*	0.61**
هیبرید: شاهد Hybrid vs. Check	1	2.25^{ns}	189.42^{ns}	0.00^{ns}	8.77**	0.07^{ns}	3.31**
خطا Error	16	1.17	72.00	0.23	0.15	0.41	0.06
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		14.40	12.30	3.33	16.02	10.84	7.89

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار

^{ns}, *, **: non-significant and significant at five and one percent probability levels, respectively

به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی حائز ارزش بالا از نظر ویژگی‌های مورد مطالعه، مقایسه میانگین به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد انجام گردید و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شد. با توجه به اهمیت مقایسه هیبریدهای اصلاحی با شاهدها، مقایسه میانگین‌ها برای اجتماع صفات معنی‌دار از نظر دو اثر هیبرید و هیبرید در برابر شاهد انجام شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، دو شاهد 8K801 و BTS 1885 به‌همراه ژنوتیپ‌های ۳۳، ۱۲ و ۲۴ به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۵۲، ۱۰/۰۴، ۹/۹۳، ۹/۸۲ و ۹/۱۵ تن در هکتار دارای عملکرد بسیار خوبی بودند. هیبریدهای مذکور در مقایسه با شاهدهای داخلی حسنا، کیمیا و شکوفا نیز از عملکرد شکر سفید بالایی برخوردار بودند. این موضوع حاکی از وجود هیبریدهای اصلاحی جدیدی می‌باشد که نسبت به ارقام شاهد داخلی ارجحیت دارند. ژنوتیپ ۴۲ نامطلوب‌ترین وضعیت را از نظر عملکرد شکر سفید داشت و آخرین رتبه را از آن خود کرد. از نظر میزان عملکرد ریشه، ژنوتیپ‌های ۲۴، ۳۳، ۹، ۸ و ۲۵ و شاهد 8K801 به‌ترتیب با ۸۷/۹۶، ۸۷/۹۶، ۸۶/۳۶، ۸۵/۴۵، ۸۳/۱۰ و ۸۰/۱۱ تن در هکتار از بیشترین میزان عملکرد ریشه در مقایسه با سایر هیبریدها و شاهدهای به‌کاررفته در آزمایش برخوردار بودند. ژنوتیپ ۴۲ از کم‌ترین میزان عملکرد ریشه برخوردار بود و به‌عنوان هیبرید نامطلوب شناخته شد. مقایسه میانگین درصد قند ناخالص ژنوتیپ‌های آزمایشی مبین درصد قند بالا در ژنوتیپ‌های BTS 1885، ۱ و 8K801 (به‌ترتیب ۱۶/۳۷، ۱۶/۲۵ و ۱۶/۱۴ درصد) و درصد قند پایین در ژنوتیپ ۱۷ و رقم شکوفا (به‌ترتیب ۱۲/۵۷ و ۱۲/۵۹ درصد) بود. در بین ژنوتیپ‌های آزمایشی، کیمیا، ۳۹، شکوفا و ۴۳ بیشترین و ۱ و ۷ کمترین میزان سدیم را از آن خود نمودند. از نقطه‌نظر ناخالصی مربوط به پتاسیم، ژنوتیپ‌های ۴۳ و ۹ بیشترین مقادیر را داشتند. در این رابطه کمترین میزان صفت مذکور به دو ژنوتیپ ۱۴ و ۱ تعلق داشت. ژنوتیپ‌های ۹ و ۳۱ به‌ترتیب با میانگین ۴/۱۴ و ۴/۱۳ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه بیشترین مقدار نیتروژن آمینه را ثبت کردند. کمترین میزان ناخالصی مذکور به شاهد 8K801 و ژنوتیپ ۱۲ اختصاص داشت.

ضریب تنوع فنوتیپی در بازه بین ۴/۹۹ درصد برای درصد قند ناخالص تا ۲۲/۵۳ درصد برای محتوی سدیم ریشه و ضریب تنوع ژنتیکی نیز بین ۱/۹۶ درصد برای محتوی پتاسیم تا ۱۴/۲۳ درصد برای محتوی سدیم ریشه به‌دست آمد. ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی براساس مقادیر مشخص‌شده مشابهی طبقه‌بندی می‌شوند، با توجه به این مقادیر تعیین‌شده در صورتی‌که برای میزان تنوع فنوتیپی و همچنین تنوع ژنتیکی صفتی ضرایب بیش از ۲۰ درصد برآورد شود، نشان‌دهنده ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی بالا، درصورتی‌که در دامنه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد برآورد شود،

نشان‌دهنده ضرایب فنوتیپی و ژنتیکی متوسط و درصورتی‌که کمتر از ۱۰ درصد محاسبه گردد، بیانگر ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی پایین است (Saremirad *et al*., 2023). بر اساس این طبقه‌بندی بالاترین ضریب تنوع فنوتیپی به صفت سدیم اختصاص یافت (شکل ۱). صفات پتاسیم، نیتروژن آمینه، عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید از ضرایب تنوع فنوتیپی و صفات نیتروژن آمینه و سدیم از ضرایب تنوع ژنتیکی متوسط و صفت درصد قند ناخالص از ضریب تنوع فنوتیپی و صفات پتاسیم، عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر سفید از ضرایب تنوع ژنتیکی پایین برخوردار بودند (شکل ۱). این موضوع بیانگر تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها است. هریک از ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی اطلاعات سودمندی در رابطه با ژنتیکی یا محیطی بودن تنوع مشاهده‌شده در صفات را در اختیار قرار می‌دهد. همان‌طور که در نتایج (شکل ۱) مشهود است در تمام صفات مورد مطالعه به‌جز درصد قند ناخالص و نیتروژن آمینه ضریب تنوع فنوتیپی بیشتر از ضریب تنوع ژنتیکی می‌باشد. این امر ناشی از تأثیر عوامل محیطی بر این صفات است. با توجه به این‌که واریانس فنوتیپی از مجموع واریانس ژنتیکی و محیطی حاصل شده است، لذا اگر واریانس ژنتیکی ثابت فرض شود، آنچه باعث می‌گردد یک صفت در تنوع فنوتیپی و ژنتیکی متفاوت باشد، واریانس محیطی خواهد بود؛ به بیان بهتر در صورتی‌که صفتی تنوع فنوتیپی بالا و تنوع ژنتیکی پایین داشته باشد، این امر نشان‌دهنده اثر محیط است. این موضوع در نتایج صفت پتاسیم قابل تأمل است.

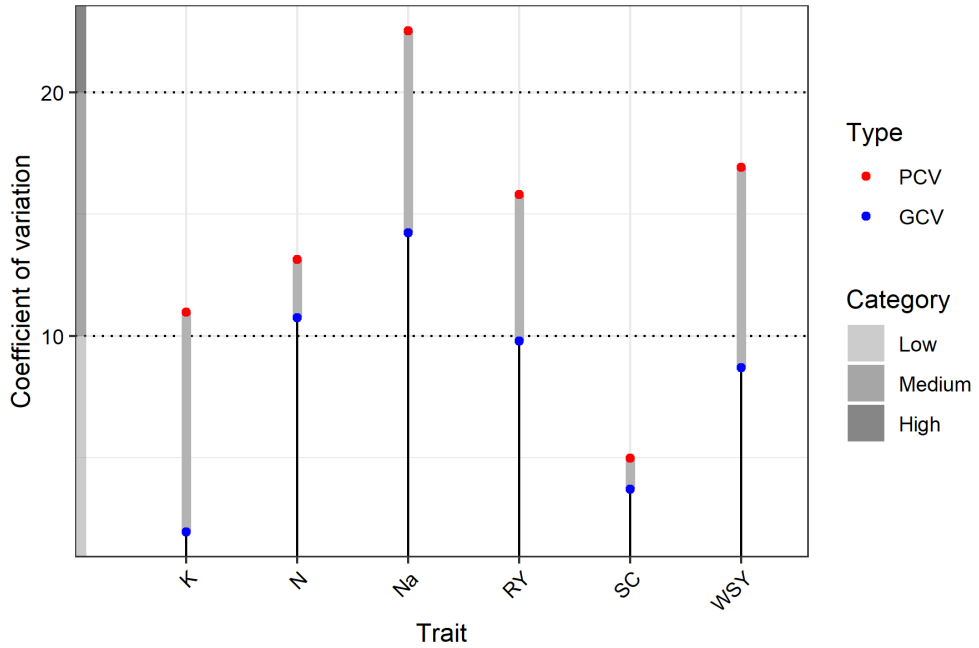
جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند

Table 4. Mean comparison of studied traits in experimental sugar beet genotypes

ژنوتیپ (Genotype)	عملکرد شکر سفید (White sugar yield)		عملکرد ریشه (Root yield)		درصد قند ناخالص (Sugar content)		سدیم (Na^+)		پتاسیم (K^+)		نیتروژن آمینه (*Alpha amino* N)	
	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value	گروه‌بندی Grouping	ارزش Value
1	bcdefg	7.31	de	54.45	ab	16.25	h	1.26	d	4.57	efghijklmno	3.10
2	cdefg	6.88	cde	56.87	bcdef	15.15	efgh	1.61	cd	4.79	cdefghijkl	3.25
3	cdefg	6.94	cde	61.45	cdef	14.75	cefgh	2.23	bcd	5.37	ghijklmno	2.97
4	bcdef	7.59	bcd	64.79	bcdef	15.08	efgh	1.84	abcd	6.38	abcdefg	3.59
5	abcde	8.60	abcd	78.47	cdefg	14.28	fgh	1.38	abc	6.73	bcdefghij	3.35
6	efg	5.95	de	52.39	bcdef	14.82	cefgh	2.00	abcd	6.37	abc	3.99
7	abcde	8.54	abcd	76.39	cdefg	14.57	gh	1.34	ab	6.99	abcd	3.88
8	abcde	8.95	ab	84.85	defgh	13.98	efgh	1.78	abcd	6.63	abcdefg	3.67
9	abcde	8.85	ab	86.39	defgh	13.97	efgh	1.89	a	7.32	a	4.14
10	abcde	8.22	abcd	69.50	bcdef	14.98	efgh	1.57	abcd	6.09	abcdefg	3.71
11	cdefg	6.72	cde	59.93	cdefg	14.58	cefgh	2.00	abcd	6.29	cdefghijklm	3.22
12	abc	9.82	abcd	77.99	abc	15.53	efgh	1.63	bcd	5.39	op	2.38
13	bcdefg	7.44	abcd	66.73	cdef	14.80	cefgh	2.24	abcd	6.00	mnop	2.49
14	abcde	8.17	bcd	64.67	abcde	15.32	efgh	1.91	d	4.57	ijklmno	2.82
15	bcdefg	7.30	abcd	67.42	cdefg	14.13	cefgh	2.21	abcd	6.14	nop	2.44
16	abcde	8.60	abcd	76.85	cdefg	14.33	efgh	1.89	abcd	5.72	fghijklmno	3.04
17	cdefg	6.57	abcd	73.67	i	12.57	bcde	2.81	abcd	6.26	fghijklmno	3.09
18	efg	6.13	cde	58.67	fghi	13.67	bcde	2.68	bcd	5.18	cdefghijk	3.26
19	cdefg	6.84	cde	59.36	cdefg	14.63	efgh	1.91	bcd	5.59	cdefghijk	3.32
20	bcdef	7.60	abcd	70.13	cdefg	14.23	cefgh	1.94	abcd	6.51	hijklmno	2.96
21	bcdef	7.55	abcd	71.07	defgh	13.98	defgh	1.94	abcd	6.35	abcdefghi	3.46
22	cdefg	7.25	abcd	68.45	cdefg	14.35	bcdefg	2.60	abcd	5.85	jklmno	2.77
23	bcdef	7.62	abcd	67.25	cdefg	14.17	cefgh	2.18	cd	4.76	nop	2.43
24	abcd	9.15	a	87.96	fgh	13.82	cefgh	2.28	abcd	6.05	ghijklmno	2.97
25	abcde	8.83	abc	83.10	cdefg	14.07	bcde	2.80	abcd	5.77	abcdefgh	3.56
26	fg	5.31	de	51.82	fghi	13.67	cefgh	2.26	abcd	6.05	defghijklmn	3.18
27	bcdef	7.72	abcd	73.73	cdefg	14.20	cefgh	2.09	abcd	6.25	jklmno	2.77
28	defg	6.41	abcd	65.67	ghi	13.17	cefgh	2.16	abcd	6.28	hijklmno	2.92
29	defg	6.38	cde	60.22	cdefg	14.18	cefgh	2.08	abc	6.72	abcdefghi	3.42
30	cdefg	7.15	abcd	70.10	fghi	13.67	efgh	1.87	abcd	6.61	abcdefg	3.74
31	abcdef	8.03	abcd	79.53	fghi	13.62	cdefgh	2.35	abcd	5.97	a	4.13
32	fg	5.26	de	52.67	ghi	13.42	cefgh	2.19	abcd	6.07	abcdefghi	3.44
33	abc	9.93	a	87.96	cdefg	14.57	cefgh	2.17	abcd	5.88	lmnop	2.55
34	abcdef	8.12	abcd	69.27	cdef	14.73	cefgh	2.06	bcd	5.16	ijklmno	2.83
35	abcde	8.54	abcd	70.07	abcd	15.33	cdefgh	2.34	bcd	5.62	lmnop	2.52
36	abcde	8.70	abcd	75.42	bcdef	15.13	cefgh	2.23	ab	6.78	klmnop	2.65
37	bcdefg	7.46	abcd	69.96	defgh	13.92	bcdef	2.65	bcd	5.34	jklmno	2.79
38	cdefg	6.69	abcd	67.07	efgh	13.83	bcdefgh	2.51	ab	7.04	ab	4.04
39	efg	5.79	bcde	63.70	hi	12.63	ab	3.61	abcd	5.69	klmnop	2.69
40	bcdefg	7.48	abcd	69.39	cdefg	14.07	cdefgh	2.31	abcd	5.70	abcde	3.82
41	defg	6.30	cde	57.53	dfgh	13.87	bcdefgh	2.40	cd	4.71	hijklmno	2.94
42	g	3.99	e	36.02	cdefg	14.40	bcdef	2.63	bcd	5.32	nop	2.41
43	efg	5.51	cde	60.79	ghi	13.33	abc	3.15	a	7.54	abcdef	3.79
44	efg	6.14	cde	60.59	fgh	13.80	bcdefg	2.59	abcd	5.69	jklmno	2.77
8K801	a	10.52	abc	80.11	ab	16.14	cefgh	2.31	cd	5.14	p	2.10
BTS 1885	ab	10.04	abcd	77.20	a	16.37	cdefgh	2.36	bcd	5.68	hijklmno	2.97
Hosna	defg	6.50	bcd	65.00	ghi	13.46	bcd	2.86	bcd	5.65	jklmno	2.80
Kimya	efg	6.28	abcd	71.60	hi	12.79	a	3.76	abcd	6.32	ijklmno	2.91
Shokoufa	fg	5.42	cde	62.03	i	12.59	ab	3.29	abcd	6.60	klmno	2.75

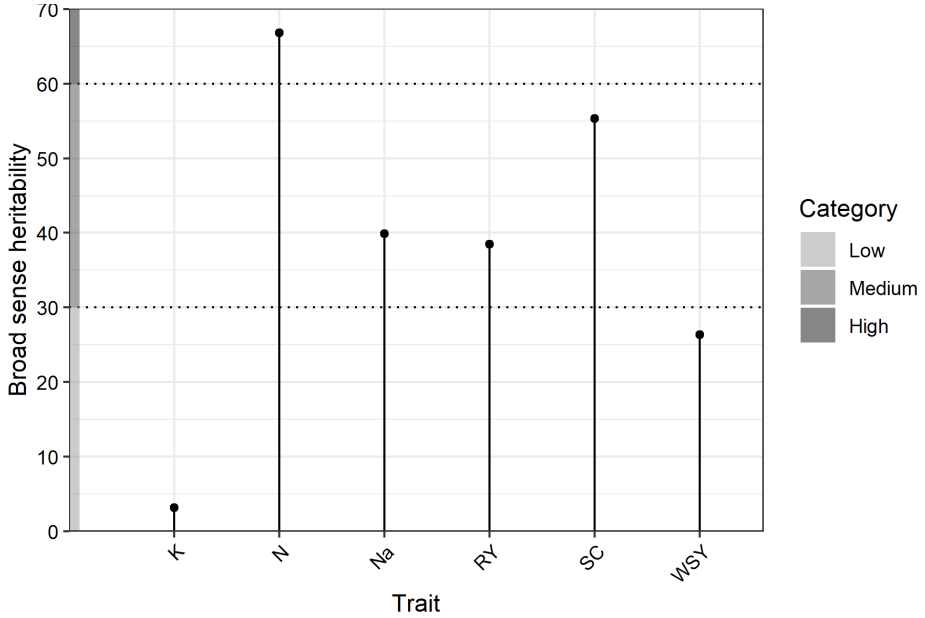
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

In every column, means sharing common letters show no significant difference according to the Duncan test.



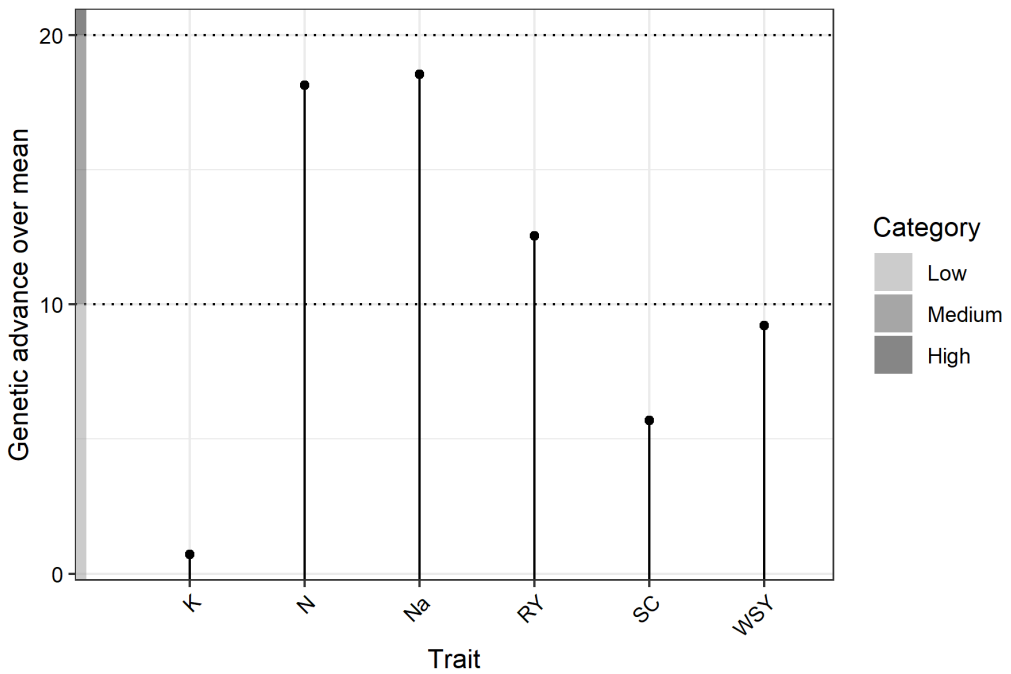
شکل ۱- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی (K: پتاسیم، N: نیتروژن آمینه، Na: سدیم، RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، WSY: عملکرد شکر سفید)

Figure 1. Grouping of different studied traits based on the phenotypic and genotypic coefficients (K: Potassium, N: *Alpha amino* nitrogen, Na: Sodium, RY: Root yield, SC: Sugar content, WSY: White sugar yield)



شکل ۲- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس توراثت‌پذیری (K: پتاسیم، N: نیتروژن آمینه، Na: سدیم، RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، WSY: عملکرد شکر سفید)

Figure 2. Grouping of different studied traits based on the heritability (K: Potassium, N: *Alpha amino* nitrogen, Na: Sodium, RY: Root yield, SC: Sugar content, WSY: White sugar yield)



شکل ۳- طبقه‌بندی صفات مختلف مورد مطالعه بر اساس پیشرفت ژنتیکی (K: پتاسیم، N: نیتروژن آمینه، Na: سدیم، RY: عملکرد ریشه، SC: درصد قند ناخالص، WSY: عملکرد شکر سفید)

Figure 3. Grouping of different studied traits based on the genetics advance (K: Potassium, N: *Alpha amino* nitrogen, Na: Sodium, RY: Root yield, SC: Sugar content, WSY: White sugar yield)

به‌منظور ارزیابی کلی ژنوتیپ‌های چغندرقند و شناسایی ساده‌تر ژنوتیپ‌ها از نظر صفات کمی و کیفی عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه از شاخص SIIG استفاده شد. شاخص SIIG به‌طور هم‌زمان تمامی صفات مذکور را مدنظر قرار داده و ژنوتیپ ایده‌آل را مشخص می‌کند. در واقع این شاخص نتایج حاصل از بررسی همه صفات را باهم در نظر گرفته و تبدیل به یک شاخص واحد می‌کند. لذا بررسی ژنوتیپ‌ها و گزینش ژنوتیپ برتر به‌راحتی انجام می‌شود. در جدول ۵ مقادیر و رتبه شاخص SIIG آورده شده است. مقدار شاخص SIIG بین صفر و یک متغیر است. هر اندازه مقدار این شاخص برای ژنوتیپ/هایی به‌سمت یک میل کند، نشان‌دهنده فاصله زیاد آن از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ژنوتیپ با عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص پایین و مقادیر ناخالصی‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه بالا) و فاصله کم آن با ژنوتیپ ایده‌آل (ژنوتیپ با عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص بالا و مقادیر ناخالصی‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه پایین) می‌باشد، بنابراین آن ژنوتیپ/ها از عملکرد کمی و کیفی بالایی برخوردار خواهند بود. در مقابل ژنوتیپ/هایی که مقدار SIIG آن نزدیک به صفر باشد، جز ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس و نیز همان‌طور که در نتایج جدول ۵ مشاهده می‌گردد، ژنوتیپ ۱۲ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها کم‌ترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل و بیشترین فاصله را از ژنوتیپ غیر ایده‌آل دارد، لذا بر همین اساس این ژنوتیپ با بیش‌ترین مقدار SIIG (۰/۸۲) برترین ژنوتیپ معرفی شد. پس از ژنوتیپ نامبرده، رقم شاهد 8K801 و ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۳۳ به‌ترتیب با داشتن مقدار SIIG برابر با ۰/۷۲، ۰/۷۱ و ۰/۷۱ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و جز ژنوتیپ‌های مطلوب دسته‌بندی شدند. ژنوتیپ ۴۳ بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و کمترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل و کمترین مقدار SIIG برابر با ۰/۳۵ را به‌خود اختصاص داد؛ بنابراین به‌عنوان نامناسب‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. اولین‌بار زالی و همکاران (Zali *et al*., 2015) شاخص SIIG را برای گزینش ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس نتایج آماره‌های پارامتری و ناپارامتری به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های کلزا به‌کار بردند و بر پایه اطلاعات به‌دست‌آمده برای شاخص SIIG ژنوتیپ پایدار را مشخص نمودند. پس از مطالعه مذکور، شاخص SIIG در مطالعه‌های مختلف برای شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل به‌کار گرفته شد. از این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در تجزیه پایداری گندم دوروم (Najafi *et al*., 2018) و چغندرقند (Taleghani *et al*., 2023c)، ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم نان (Yaghutipoor *et al*., 2017)، عدس (Amiri *et al*., 2021) و چغندرقند (Taleghani *et al*., 2022)، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش فلزات سنگین در گندم دوروم (Ramzi *et al*., 2018) و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سرمایی در کلزا (Abdollahi Hesar *et al*., 2021) استفاده شده است. در مجموع با توجه به نتایج پژوهش حاضر و نتایج مطالعات مذکور می‌توان بیان نمود که به‌کارگیری شاخص SIIG باعث می‌شود تا با ادغام صفات مختلف و رتبه‌بندی ژرم‌پلاسم آزمایشی، گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب تسهیل شده و به‌شکل کارآمدتری انجام شود.

جدول ۵- مقادیر و رتبه شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند
Table 5. Values and ranks of selection index of ideal genotype (SIIG) in experimental sugar beet genotypes

رتبه‌بندی Ranking	شاخص SIIG SIIG index	ژنوتیپ Genotype
14	0.65	1
23	0.61	2
32	0.54	3
15	0.64	4
6	0.69	5
42	0.48	6
10	0.66	7
19	0.63	8
28	0.58	9
8	0.68	10
18	0.63	11
1	0.82	12
27	0.58	13
7	0.68	14
22	0.63	15
5	0.69	16
40	0.49	17
44	0.46	18
13	0.65	19
20	0.63	20
11	0.66	21
36	0.50	22
9	0.67	23
16	0.64	24
34	0.51	25
37	0.50	26
24	0.60	27
29	0.58	28
25	0.59	29
26	0.58	30
35	0.51	31
38	0.49	32
4	0.71	33
12	0.66	34
3	0.71	35
21	0.63	36
30	0.55	37
41	0.49	38
47	0.38	39
33	0.53	40
31	0.55	41
45	0.42	42
49	0.35	43
43	0.47	44
2	0.72	8K801
17	0.64	BTS 1885
39	0.49	Hosna
48	0.37	Kimya
46	0.39	Shokoufa

نتیجه‌گیری کلی

تنوع ژنتیکی، که امروزه به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم در زمینه امنیت غذایی و تغذیه شناخته شده است، نقش حیاتی در توسعه پایدار کشاورزی ایفا می‌کند. شناسایی و استفاده از منابع ژنتیکی متنوع با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته برای بهبود برنامه‌های اصلاحی ضروری است. در این مطالعه، تنوع ژنتیکی هیبریدهای چغندرقند از طریق تجزیه و تحلیل‌های آماری موردبررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که تفاوت‌های ژنتیکی چشمگیری در میان هیبریدها وجود دارد، که این موضوع بیانگر تغییرات ژنتیکی گسترده در هیبریدهای اصلاحی است و پایه پدری این تنوع غنی را در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه فراهم کرده است؛ به‌طوری‌که هیبریدهای آزمایشی به گروه مختلف از نظر کلیه صفات منتسب شدند. در مجموع نتایج حاکی از برتری سه ژنوتیپ ۱۲، ۳۵ و ۳۳ از نظر هر چهار صفت عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، سدیم، پتاسیم و نیتروژن آمینه در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بودند. در مجموع، بینش‌های ارائه‌شده در این مطالعه به تلاش‌های مداوم برای تقویت ارقام چغندرقند، افزایش بهره‌وری و اطمینان از تولید قند پایدار برای رفع نیازهای در حال تحول صنایع غذایی کمک می‌کند.

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.

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.

Aljabri, M., Alharbi, S., Al-Qthanin, R. N., Ismaeil, F. M ,.Chen, J., & Abou-Elwafa, S. F. (2021). Recycling of beet sugar byproducts and wastes enhances sugar beet productivity and salt redistribution in saline soils. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(33), 45745-45755. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13860-3

Allard, R. (1960). Principles of Plant Breeding. Publishers by John Wiley and Sons. *Inc. New York*, 485 .

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 [In Persian]

Anonymous. (1999). *Agribusiness Handbooks, Sugar Beets/ White Sugar* (Vol. 4).
Asseng, S ,.Guarin, J. R., Raman, M., Monje, O., Kiss, G., Despommier, D. D., Meggers, F. M., & Gauthier, P. P. (2020). Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(32), 19131-19135.
Burton, G .W., & Devane, d. E. (1953). Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material 1. *Agronomy Journal*, *45*(10), 478-481.
Bustos, D. V., Hasan, A. K., Reynolds, M. P., & Calderini, D. F. (2013). Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments. *Field Crops Research*, *145*, 106-115.
Comstock, R., & Robinson, H. (1952). Genetic parameters, their estimation and significance. Proceedings of the 6th international Grassland congress.
Cook, D., & Scott, R. (1993). *The sugar beet crop: science into practice*. Champan and Hall Press.
Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T. R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P. F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar, B., & Himmelbauer, H. (2014). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, *505*(7484), 546-549. https://doi.org/10.1038/nature12817
Evans, L., & Fischer, R. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, *39*(6), 1544-1551.
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. (2021). *Crops production and area harvested* http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL
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*.
Ferber, D. (2001). Keeping the Stygian waters at bay. In: American Association for the Advancement of Science.
Field, C. B., & Barros, V. R. (2014). *Climate change 2014–Impacts, adaptation and vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.
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. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03784-6
Hassani, M., Mahmoudi, S. B., Saremirad, A., & Taleghani, D. (2024). 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
Johnson, H. W., Robinson, H., & Comstock, R. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans 1. *Agronomy Journal*, *47*(7), 314-318.
Lammens, T., Franssen, M., Scott, E., & Sanders, J. (2012). Availability of protein-derived amino acids as feedstock for the production of bio-based chemicals. *Biomass and Bioenergy*, *44*, 168-181.
Makhlouf, B. S. I., Khalil, S. R. A. E., & Saudy, H. S. (2022). Efficacy of Humic Acids and Chitosan for Enhancing Yield and Sugar Quality of Sugar Beet Under Moderate and Severe Drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), 1676-1691. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00762-7
Martínez-Arias, R., Müller, B. U., & Schechert, A. (2017). Near-Infrared Determination of Total Soluble Nitrogen and Betaine in Sugar Beet. *Sugar Tech*, *19*(5), 526-53. https://doi.org/10.1007/s12355-016-0496-0
Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M. C., Paulo, O. S., Loureiro, J., & Romeiras, M. M. (2018a). Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 74-89.
Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M. C., Paulo, O. S., Loureiro, J., & Romeiras, M. M. (2018b). Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives . *Frontiers in Plant Science*, *9*, 74-85.
Muir, B. M. (2022). Sugar Beet Processing to Sugars. In *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing* (pp. 837-862). Singapore: Springer Nature Singapore.
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]
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
Ramzi ,E., Asghari, A., Khomari, S., & Mohammaddoust e Chamanabad, H. (2018). Investigation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* Desf) lines for tolerance to aluminum stress condition. *Journal of Crop Breeding*, *10*(25), 63-72. [In Persian]
Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner, & Beiss, U. (1974). *Zur Voraussage des Melassez*

zuckersaus Ruben analysen Zucker. Chapman & Hall, World Crop Series.

Reynolds, M., Atkin, O. K., Bennett, M., Cooper, M., Dodd, I. C., Foulkes, M. J., Frohberg, C., Hammer, G., Henderson, I. R., & Huang, B. (2021). Addressing research bottlenecks to crop productivity. *Trends in Plant Science*, *26*(6), 607-630.

Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., Parry, M., & Slafer, G. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell & Environment*, *35*(10), 1799-1823.

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., 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

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

Saremirad ,A., & Taleghani, D. (2022). Utilization of univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. *Journal of Crop Breeding*, *14*(43), 49-63. [In Persian]

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.

Smith, M. D., Oglend, A., Kirkpatrick, A. J., Asche, F., Bennear, L. S., Craig, J. K., & Nance, J. M. (2017). Seafood prices reveal impacts of a major ecological disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(7), 1512-1517.

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 [Scientific & Research]. *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*, *24*(4), 319-334. http://agrobreedjournal.ir/article-1-1269-fa.html

Taleghani, D., Rajabi, A., Hemayati, S. S., & Saremirad, A. (2022). Improvement and selection for drought-tolerant sugar beet (*Beta vulgaris* L.) pollinator lines. *Results in Engineering*, *13*, 100367.

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. *Crop Breeding*, *15*(48), 201-212.

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & Fasahat, P. (2023b). 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

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & khodadadi, s. (2023c). Genotype- environment interaction analysis and selection of sugar beet stable genotypes in terms of white sugar yield using AMMI model. *Plant Productions*, *46*(2), 155-169. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.43177.2089

Tenorio, A. T., Schreuders, F., Zisopoulos, F., Boom, R., & Van der Goot, A. (2017). Processing concepts for the use of green leaves as raw materials for the food industry. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 736-748.

Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berlowska, J., Dziugan, P., Piotrowski ,J., Stanishevsky, A., & Witońska, I. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*, *8*(6), 3161-3177.

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.

Xie, X., Zhu, Q., Xu, Y., Ma, X., Ding, F., & Li ,G. (2022). Potassium Determines Sugar Beets' Yield and Sugar Content under Drip Irrigation Condition. *Sustainability*, *14*(19), 12520.

Yaghutipoor, A., Farshadfar, E., & Saeedi, M. (2017). Investigation of bread wheat genotypes for drought tolerance using suitable combination method. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(1), 247-256.

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum-an International Journal*, *7*(2), 425-436.