

Harvest timing and genetic diversity: Strategies for early selection in sugar beet breeding

Saeed Sadeghzadeh Hemayati^{1*}, Dariush Taleghani², Abazar Rajabi³,
Mohsen Aghaeizadeh⁴ and Ali Saremirad⁵

¹ Corresponding author, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir,

² Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: d.taleghani@areeo.ac.ir

³ Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: a.rajabi@areeo.ac.ir

⁴ Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: Mohsen_agh@yahoo.com

⁵ Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: Asaremirad@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2024-10-25

Accepted: 2024-12-23

Keywords:

Maturity
Genetic potential
Growth period
Linear relationship
Sugar yield

ABSTRACT

Background and Objectives: This study investigates how different harvest times affect the yield and quality of sugar beet varieties. By evaluating the performance of various varieties at different harvest times, the research aims to determine if early quantitative and qualitative assessments can accurately predict final outcomes. Confirming this hypothesis could significantly benefit breeding programs by enabling early selection, thereby speeding up the development of high-yield, high-quality sugar beet varieties.

Materials and Methods: The research involved 13 sugar beet varieties. These varieties underwent phenotypic evaluation over two years (2022 and 2023) at the Sugar Beet Research Station in Karaj Alborz, Iran. The experimental design was split-plot design based on the randomized complete block design, with four replications and five harvest dates. A combined analysis of variance was performed, treating the year effect as random and the variety and harvest date effects as fixed for white sugar yield. The mean of the main effects and their interactions were compared using Duncan's multiple range test at a 5% probability level. To assess the potential for early selection of varieties and expedite breeding, regression analysis was employed, which is a common statistical method for evaluating genotype-environment interactions. Additionally, Spearman's correlation, a non-parametric rank correlation method, was used to determine the correlation between the ranks of the varieties across different harvest dates.

Results: The analysis of variance revealed significant effects of the year, variety, harvest date, and the interactions between harvest date-year and harvest date-variety at a 1% probability level. The fifth harvest in 2022 reached an average of 11.36 t ha⁻¹, while the first harvest in 2023 had the lowest yield, averaging 2.75 t ha⁻¹. In terms of

harvest date-variety interaction, Yalda and Hosna achieved high yields of 12.44 and 12.14 t ha⁻¹ on the fifth and fourth harvest dates, respectively, followed by Robina and Shokoufa on the fourth and fifth dates. Regression analysis confirmed a significant linear relationship between environmental conditions and yield at the 1% probability level. This relationship indicated that as the environmental index increased, there was a corresponding increase in white sugar yield, mainly due to delayed harvest times. This pattern suggests a predictable and uniform response of white sugar yield to environmental changes. The genotype-environment interaction (linear) was also significant at the 1% probability level, indicating that although yield followed a linear trend, the slope of the regression line varied for different experimental varieties across different years and harvest dates. However, the mean square deviation from the regression line was non-significant, suggesting that the white sugar yield values of the experimental varieties closely aligned with the regression line. This implies that the response of a cultivar did not fluctuate significantly during linear changes in different years and harvest dates. In fact, despite the complexities of the genotype-environment interaction, the response of varieties to changes in different years and harvest dates remains stable around the regression line. Spearman correlation analysis supports these findings, indicating that quantitative and qualitative performance in the early stages cannot reliably predict final yield unless the harvest date is postponed until early October.

Conclusion: The study concludes that initial performance evaluations are not reliable for early selection. Delaying selection until October enhances the reliability of breeding decisions, ensuring the selection of cultivars with optimal genetic potential for high yields. This approach allows breeders to make more informed decisions, ultimately leading to the development of high-yield, high-quality sugar beet varieties. By understanding the interactions between genetic and environmental factors, breeders can improve the effectiveness of their strategies, thus contributing to more efficient sugar beet cultivation practices.

Cite this article: Sadeghzadeh Hemayati, S., Taleghani, D., Rajabi, A., Aghaeizadeh, M., Saremirad A. 2025. Harvest timing and genetic diversity: Strategies for early selection in sugar beet breeding. *Crop Production Journal*, 17 (4), 85-106.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejcp.2025.22907.2648

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۸
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



زمان برداشت و تنوع ژنتیکی: راهبردهایی برای گزینش زود هنگام در اصلاح چغندر قند

سعید صادقزاده حمایتی^{۱*}، داریوش طالقانی^۲، اباذر رجبی^۳، محسن آقائی زاده^۴، علی صارمی راد^۵

^۱ نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران،

رایانامه: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir

^۲ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: d.taleghani@areeo.ac.ir

^۳ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: a.rajabi@areeo.ac.ir

^۴ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: Mohsen_agh@yahoo.com

^۵ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: Asaremirad@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: این مطالعه به بررسی تأثیر زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد و کیفیت رقم‌های مختلف چغندر قند می‌پردازد. با ارزیابی عملکرد رقم‌های متفاوت در زمان‌های مختلف برداشت، هدف این تحقیق تعیین این بود که آیا ارزیابی‌های کمی و کیفی اولیه می‌توانند نتایج نهایی را به دقت پیش‌بینی کنند یا خیر. تأیید این فرضیه می‌تواند به‌طور قابل توجهی به برنامه‌های اصلاحی با انتخاب زود هنگام، در نتیجه سرعت بخشیدن به توسعه رقم‌های چغندر قند با عملکرد و کیفیت بالا کمک کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳	مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۳ رقم چغندر قند در پنج تاریخ برداشت (مرداد تا آبان هر ۲۰ روز یک‌بار) به مدت دو سال زراعی در قالب طرح کرت‌های خردشده به‌صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب با فرض اثر تصادفی برای سال و اثر ثابت برای رقم و تاریخ برداشت انجام شد. برای ارزیابی پتانسیل گزینش زود هنگام رقم‌ها از تجزیه رگرسیون استفاده شد.
واژه‌های کلیدی: بلوغ پتانسیل ژنتیکی دوره رشد رابطه خطی عملکرد شکر	یافته‌ها: بر اساس نتایج، اثرات اصلی سال، رقم و تاریخ برداشت و نیز برهمکنش‌های بین تاریخ برداشت - سال و تاریخ برداشت - رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج، بیش‌ترین میزان عملکرد شکر سفید به برداشت پنجم سال ۱۴۰۱ با میانگین ۱۱/۳۶ تن در هکتار اختصاص یافت؛ کمترین مقدار صفت مذکور متعلق به برداشت اول در سال ۱۴۰۲ با میانگین عملکرد ۲/۷۵ تن در هکتار بود. نتایج مربوط به مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ برداشت - رقم حاکی از برتری رقم‌های یلدا و حسنا به ترتیب در تاریخ‌های برداشت پنجم و چهارم با میانگین عملکرد ۱۲/۴۴ و ۱۲/۱۴ تن در هکتار بود. پس از آن‌ها، رتبه‌های بعدی بیشترین عملکرد به رقم‌های روبینا و شکوفا برداشت‌شده در تاریخ‌های برداشت چهارم و پنجم اختصاص یافت. تجزیه رگرسیونی مؤید رابطه خطی معنی‌دار بین شرایط محیطی و عملکرد در سطح احتمال یک درصد بود. این رابطه خطی نشان داد که با افزایش شاخص محیطی، در درجه اول به دلیل تأخیر

در زمان برداشت افزایش متناظر در عملکرد شکر وجود دارد. این الگو نشان‌دهنده واکنش قابل پیش‌بینی و یکنواخت عملکرد شکر است. برهمکنش رقم-محیط (خطی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که حاکی از آن است که اگرچه عملکرد از روند خطی تبعیت می‌کند، اما شیب خط رگرسیونی رقم‌های آزمایشی در سال‌ها و تاریخ‌های برداشت مختلف با یکدیگر متفاوت است. میانگین مربعات مربوط به انحراف از خط رگرسیونی غیر معنی‌دار بود. غیر معنی‌دار شدن این اثر حاکی از آن است که مقادیر مربوط به عملکرد شکر سفید رقم‌های آزمایشی کاملاً در اطراف خط رگرسیونی قرار دارند و واکنش یک رقم در طول تغییرات خطی سال‌ها و تاریخ‌های برداشت مختلف دارای نوسان نمی‌باشد. در واقع با وجود پیچیدگی‌های ناشی از برهمکنش ژنوتیپ-محیط (خطی)، واکنش رقم‌ها به تغییرات سال‌ها و تاریخ‌های برداشت مختلف نامنظم نیست، بلکه در اطراف خط رگرسیون پایدار است. تجزیه همبستگی اسپیرمن نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که عملکرد کمی و کیفی در مراحل اولیه را نمی‌توان به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده قابل اعتماد عملکرد نهایی در نظر گرفت، مگر اینکه تاریخ برداشت تا اوایل مهرماه به تعویق افتد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد که ارزیابی‌های اولیه عملکرد برای انتخاب اولیه قابل اعتماد نیستند. تأخیر در گزینش تا مهرماه اعتبار تصمیمات اصلاحی را افزایش می‌دهد و از انتخاب رقم‌های با پتانسیل ژنتیکی بهینه برای عملکرد بالا اطمینان حاصل می‌کند. این رویکرد به اصلاح‌کنندگان اجازه می‌دهد تا تصمیمات آگاهانه‌تری اتخاذ کنند که در نهایت منجر به توسعه رقم‌های چغندرقد با عملکرد کمی و کیفی بالا شود. با درک تعاملات بین عوامل ژنتیکی و محیطی، اصلاح‌کنندگان می‌توانند اثربخشی راهبردهای خود را بهبود بخشند و در نتیجه به شیوه‌های کارآمدتر کشت چغندرقد کمک کنند.

استناد: صادق‌زاده حمایتی، سعید؛ طالقانی، داریوش؛ رجبی، اباذر؛ آقائی‌زاده، محسن؛ صارمی‌راد، علی. (۱۴۰۳). زمان برداشت و تنوع ژنتیکی:

راهبردهایی برای گزینش زود هنگام در اصلاح چغندرقد. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (۴)، ۸۵-۱۰۶.

DOI: 10.22069/ejcp.2025.22907.2648

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



© نویسندگان

مقدمه

کشت چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) برای قرن‌ها سنگ بنای صنعت قند بوده است و اهمیت آن با افزایش تقاضا برای قند در سطح جهانی همچنان در حال افزایش است؛ زیرا این گیاه به دلیل محتوی بالای ساکارز در ریشه، یک محصول حیاتی در صنعت قند جهانی به شمار می‌رود (۱)؛ به طوری که حدود ۲۰ درصد شکر جهان را تأمین می‌کند (۲، ۳). صنعت قند چغندر قند مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی نیز تولید می‌کند که می‌توانند به طرق مختلف ارزش‌گذاری شوند (۴). در این میان، ملاس، تفاله و الکل اتیلیک به عنوان محصولات جانبی به شمار می‌روند که در طول فرآیند تولید قند به دست می‌آیند و در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شوند (۵). به عنوان یک گیاه دو ساله، اصلاح و کشت چغندر قند برای اقتصاد کشاورزی حیاتی است (۶). از طرفی توانایی این گیاه برای انطباق با شرایط آب و هوایی متنوع و قابلیت‌های کارآمد آن، اهمیت زراعی آن را مضاعف می‌کند. تمرکز اصلی مدیریت زراعی و بهبود ژنتیکی، بهینه‌سازی عملکرد و محتوی قند در چغندر قند است که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله انتخاب رقم، زمان کشت و زمان برداشت قرار می‌گیرد (۷).

زمان برداشت در بهینه‌سازی عملکرد و کیفیت تمامی محصولات کشاورزی حائز اهمیت ویژه‌ای است (۸-۱۰). در کشت چغندر قند، زمان برداشت یک نقطه تصمیم‌گیری مهمی است که می‌تواند به طور قابل توجهی بر کمیت و کیفیت عملکرد تأثیر بگذارد (۱۱). برداشت خیلی زود می‌تواند منجر به تجمع کمتر ساکارز شود، در حالی که برداشت تأخیری می‌تواند خطر قرار گرفتن در معرض آب‌وهوای نامناسب را افزایش دهد و به طور بالقوه منجر به از دست رفتن عملکرد و کاهش کیفیت قند شود (۱۲). علاوه بر این، رسیدگی فیزیولوژیکی چغندر قند و شرایط محیطی مانند نوع

خاک و آب‌وهوا نیز نقش مهمی در تعیین زمان بهینه برداشت دارند. نتایج مطالعه طالقانی و همکاران (۲۰۲۳) حاکی از تأثیرپذیری صفات کمی و کیفی در نتیجه تاریخ برداشت در سال‌های مختلف بود. در این ارتباط، اثر سال مهم‌ترین عاملی شناخته شد که تاریخ برداشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب می‌شود تا پاسخ‌های متفاوتی از نظر صفات کمی و کیفی بروز نماید (۱۱). هافمن و کلاگ سورین (۲۰۱۱) تاریخ‌های مختلف کاشت و برداشت را با یکدیگر مقایسه کردند و مشاهده نمودند که در تمامی تیمارها با افزایش دوره رشد و تأخیر در برداشت عملکرد کمی و کیفی محصول افزایش یافته است. دلیل افزایش کمیت و کیفیت محصول دریافت درجه روز رشد بیشتر به واسطه افزایش طول دوره رشد عنوان شد (۱۲).

رقم‌های مختلف چغندر قند از نظر ترکیب ژنتیکی متفاوت هستند که بر رشد، عملکرد و محتوی قند آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۱۳). این تنوع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد و محتوی قند مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴-۱۶). با این حال، برهمکنش بین عوامل ژنتیکی و شرایط محیطی از جمله زمان برداشت، فرآیند گزینش را پیچیده می‌کند. رقم‌ها ممکن است تحت شرایط محیطی مختلف، عملکرد متفاوتی داشته باشند؛ بنابراین، رقمی که در یک محیط برتر است، امکان دارد لزوماً در شرایط محیطی دیگر، برتری خود را نتواند حفظ کند. لذا درک این تفاوت‌ها برای انتخاب رقم مناسب برای شرایط اقلیمی خاص ضروری است (۱۷). علاوه بر این، هدف برنامه‌های اصلاحی افزایش صفات مطلوب در محصولات زراعی از جمله عملکرد و محتوی قند چغندر قند است. در این ارتباط سرعت بخشیدن به برنامه‌های اصلاحی از طریق گزینش زود هنگام رقم‌های برتر یک رویکرد راهبردی محسوب می‌شود.

با توجه به اینکه چغندر قند گیاهی دو ساله است و

چغندر قند با عملکرد کمی و کیفی بالا را فراهم کند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: مواد گیاهی مورد استفاده در بررسی حاضر شامل ۱۳ رقم تجارتي چغندر قند با منشأ ایران بودند. این رقم‌ها از بانک بذر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند دریافت شدند. در این مواد گیاهی تنوع ژنتیکی زیادی وجود دارد؛ زیرا با اهداف مختلفی شامل وارد نمودن ژن‌های افزایش عملکرد کمی و کیفی، مقاومت به بیماری‌های ریزومانی، پوسیدگی ریزوکتونیایی و نماتد و همچنین ژن‌های مقاومت به ساقه‌روی به پس‌زمینه ژنتیکی ژنوتیپ‌های مطلوب تولید شده بودند. نام و مشخصات کامل رقم‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

ایستگاه تحقیقاتی و طرح آزمایشی: ارزیابی‌های فنوتیپی رقم‌های آزمایشی طی دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) در ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج انجام شد. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۲۴۴ متر می‌باشد. از نظر مختصات جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. بر اساس بررسی‌های بلندمدت اداره کل هواشناسی استان البرز (۲۰)، کرج دارای آب‌وهوای استوایی سرد با میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۴/۴ درجه سلسیوس بوده و مجموع بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس اقلیم‌بندی، منطقه کرج دارای حدود ۲۰۳ روز خشکی در سال است. در نتیجه دارای اقلیمی حد واسط نیمه بیابانی خفیف تا مدیترانه‌ای گرم و خنک می‌باشد. از نظر اقلیم‌بندی در اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل قرار دارد (۲۰). درجه حرارت و بارندگی ایستگاه منتخب در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تولید بذر به یک دوره سرمایی نیاز دارد، کشت مزرعه تولید ریشه‌چه بذری چغندر قند (Steckling) در دهه اول شهریورماه انجام می‌شود. این زمان‌بندی سبب می‌شود تا گیاهان دماهای سرد زمستانی و روزهای طولانی بهار را تجربه کنند که باعث بهاره‌سازی و رشد ساقه‌های گل‌دهنده و گلدهی می‌شود (۱۸، ۱۹). اگر تا زمان کشت مزرعه تولید ریشه‌چه بذری (دهه اول شهریورماه) بتوان ژنوتیپ‌های برتر را برای عملکرد کمی و کیفی ریشه شناسایی کرد، برنامه‌های اصلاحی و تولید بذر تسریع خواهد شد. تسریع این برنامه‌ها از طریق گزینش زودهنگام رقم‌های برتر به‌طور قابل توجهی زمان و هزینه مربوط به توسعه رقم‌های جدید را کاهش خواهد داد و برای به‌نژادگران این امکان را ایجاد خواهد کرد تا سریع‌تر بر روی ژنوتیپ‌های امیدبخش تمرکز کنند. این فرآیند مستلزم ارزیابی ژنوتیپ‌ها در مراحل مختلف رشد و تحت شرایط محیطی مختلف برای پیش‌بینی عملکرد آن‌ها در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی است.

با توجه به ملاحظات فوق، پژوهش حاضر به دنبال بررسی اثر زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد کمی و کیفی رقم‌های مختلف چغندر قند بود. با درک نحوه عملکرد این رقم‌ها تحت زمان‌های مختلف برداشت، هدف دیگر این مطالعه پاسخ به این سؤال بود که آیا رتبه رقم‌ها بر اساس عملکرد کمی و کیفی در زمان‌های مختلف برداشت مشابه است یا خیر؟ در حقیقت این مطالعه پتانسیل استفاده از عملکرد کمی و کیفی در مراحل اولیه را به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده قابل اعتماد عملکرد کمی و کیفی نهایی تحت بررسی قرار داد. در صورت تأیید این فرضیه، چنین یافته‌ای می‌تواند گزینش در تاریخ برداشت زودهنگام در برنامه‌های اصلاحی را تسهیل کند و امکان توسعه سریع‌تر و کارآمدتر رقم‌های

جدول ۱- مشخصات رقم‌های چغندر قند مورد بررسی

Table 1. Properties of examined sugar beet varieties

ردیف	نام	سال معرفی	پلوئیدی	ردیف	نام	سال معرفی	پلوئیدی
Row	Name	Year of registration	Ploidy	Row	Name	Year of registration	Ploidy
1	رسول Rasoul	2003	3x	8	آسیا Asia	2020	2x
2	جلگه Jolgeh	2006	3x	9	کیمیا Kimia	2020	2x
3	هما Homa	2008	3x	10	نیکا Nika	2020	2x
4	پارس Pars	2011	2x	11	روبینا Robina	2021	2x
5	اکباتان Ekbatan	2013	2x	12	حسنا Hosna	2021	2x
6	شکوفه Shokoufa	2015	2x	13	یلدا Yalda	2023	2x
7	دنا Dena	2018	2x	-	-	-	-

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری

Table 2. Weather characteristics at the Motahari's Sugar Beet Research Stations

ماه	حداکثر دما (درجه سلسیوس)		حداقل دما (درجه سلسیوس)		بارندگی (میلی متر)	
	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Rainfall (mm)	Rainfall (mm)
Month	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
۱۳ فروردین - ۱۱ اردیبهشت April	21.07	19.57	7.13	6.47	43.00	43.00
۱۲ اردیبهشت - ۱۱ خرداد May	22.71	24.77	8.48	10.61	33.00	21.00
۱۲ خرداد - ۱۰ تیر June	31.57	30.07	16.80	14.80	2.00	12.00
۱۱ تیر - ۱۰ مرداد July	31.84	33.00	17.13	18.65	16.00	0.00
۱۱ مرداد - ۱۰ شهریور August	30.45	31.19	17.03	17.71	0.00	1.00
۱۱ شهریور - ۹ مهر September	28.53	26.90	14.23	13.73	0.00	0.00
۱۰ مهر - ۱۰ آبان October	21.65	19.65	9.23	8.16	16.00	25.00

خاک، پیش از اجرای آزمایش نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و به آزمایشگاه خاکشناسی انتقال یافت. نتایج حاصل از آزمون خاک در جدول ۴ ارائه شد. هر رقم در کرت جداگانه‌ای به ابعاد ۳۰ مترمربع (شش ردیف به طول ۱۰ متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر) کاشته شد. آزمایش از ۲۰ تا ۳۰

آزمایش با ۱۳ رقم چغندر قند (جدول ۱) و پنج تاریخ برداشت (جدول ۳) در قالب طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. رقم‌های چغندر قند در کرت‌های اصلی و تاریخ‌های برداشت در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. به منظور مشخص شدن برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

فروردین ماه در هر دو سال اجرای آن کشت شد. در طول فصل زراعی، مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری، مصرف کود و سایر فعالیت‌های مدیریتی مزرعه بر اساس نظر کارشناسان مربوطه انجام گردید. علاوه بر این، به‌طور

مرتب ردیابی و پیشگیری از حمله آفات و بیماری‌های چغندر قند که لازم بود، انجام شد. در هر تاریخ برداشت، ریشه‌های چهار ردیف کشت میانی با حذف یک متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت، شمارش و توزین گردید.

جدول ۳- شرح تاریخ‌های برداشت و کدهای مربوطه در سال‌های اجرای آزمایش

Table 3. Description of harvest dates and relevant codes in the years of the experiment

۱۴۰۱			۱۴۰۲		
2022			2023		
کد	تاریخ برداشت	روز پس از کاشت	کد	تاریخ برداشت	روز پس از کاشت
Code	Harvest date	Day after sowing	Code	Harvest date	Day after sowing
HD1	۱۰ مردادماه August 1	98	HD1	۳ مردادماه July 25	88
HD2	۵ شهریورماه August 27	124	HD2	۲۲ مردادماه August 13	107
HD3	۲۹ شهریورماه September 20	148	HD3	۲۲ شهریورماه September 13	138
HD4	۲۵ مهرماه October 17	175	HD4	۲۲ مهرماه October 14	169
HD5	۴ آبان‌ماه October 26	184	HD5	۳ آبان‌ماه October 25	180

جدول ۴- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در ایستگاه آزمایشی

Table 4. Physicochemical properties of soil at the experimental station

سال	اسیدیته	هدایت الکتریکی	O.C.	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	ماسه	بافت
Year	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	(%)	P (ppm)	K (ppm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Texture
۱۴۰۱ 2022	7.21	0.53	0.74	8.24	596	37.30	41.40	21.30	رسی-لومی Clay-loam
۱۴۰۲ 2023	7.30	0.77	1.01	1.97	398	37.30	41.40	21.30	رسی-لومی Clay-loam

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 چغندر قند) برای اندازه‌گیری درصد قند ناخالص، نیتروژن آمینه و عنصرهای سدیم و پتاسیم استفاده شد (۲۱). برای محاسبه عملکرد شکر سفید مربوط به هر رقم، ابتدا درصد قند ملاس و درصد قند خالص به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ برآورد گردید (۲۲)؛ سپس با جایگذاری درصد قند خالص و عملکرد ریشه هر رقم آزمایشی در رابطه ۳ مقادیر عملکرد شکر سفید برای

جمع‌آوری داده: رقم‌های آزمایشی پس از برداشت و توزین ریشه، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی مربوط به آن‌ها به آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند منتقل شدند. ابتدا، ریشه‌ها شسته شده و با استفاده از دستگاه خودکار و نما نمونه خمیر تهیه گردید و در فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شد. در زمان مناسب، از نمونه‌های خارج شده 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

هر یک از آن‌ها به دست آمد (۲۳):

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

$$\text{رابطه ۲: } WSC = SC - (MS + 0.6)$$

$$\text{رابطه ۳: } WSY = WSC \times RY$$

در این روابط، MS درصد قند ملاس برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، K^+ پتاسیم برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، Na^+ سدیم برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، $\alpha \text{ amino } N$ نیتروژن آمینه برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSC درصد قند خالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم 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.

در این رابطه (۴)، Y_{ijkl} عملکرد تاریخ برداشت ام در سال ام در رقم زام در تکرار k ام، μ میانگین کل آزمایش، Y_i اثر سال ام، $R_{(i)k}$ اثر تکرار در سال ام، A_j اثر رقم زام، YA_{ij} برهمکنش سال ام با رقم زام، $RA_{(i)jk}$ اثر تکرار در سال ام در رقم زام، B_l اثر تاریخ برداشت ام، YB_{il} برهمکنش سال ام با تاریخ برداشت ام، AB_{jl} برهمکنش رقم زام با تاریخ برداشت ام، YAB_{ijl} برهمکنش سال ام با رقم زام با تاریخ برداشت ام و $RB_{(ij)kl}$ اثر تکرار k ام در تاریخ برداشت ام داخل سال ام در رقم زام (خطای آزمایشی) می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش میان آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار جعبه‌ای در محیط R (۲۴) با مجسم‌سازی آن به وسیله بسته ggplot2 صورت پذیرفت (۲۸).

به منظور بررسی امکان گزینش زوددهنگام رقم‌های آزمایشی جهت تسریع فرآیندهای اصلاحی از روش پیشنهادی ابره‌ارت و راسل (۲۹) که یک رویکرد آماری پرکاربرد برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ-محیط است، استفاده شد. مدل آماری مربوط به آن را می‌توان در رابطه ۵ ملاحظه نمود (۲۹):

$$\text{رابطه ۵: } Y_{ij} = \mu + g_i + b_i(E_j - \bar{E}) + \delta_{ij}$$

در این رابطه (۵)، Y_{ij} عملکرد ژنوتیپ ام در محیط زام، μ میانگین کل آزمایش، g_i اثر ژنتیکی ژنوتیپ ام، b_i ضریب رگرسیون ژنوتیپ ام، E_j شاخص محیطی مربوط به محیط زام، \bar{E} میانگین کل شاخص‌های محیطی و δ_{ij} اثر باقیمانده می‌باشد.

روش همبستگی اسپیرمن که یک روش اندازه‌گیری ناپارامتری از همبستگی رتبه‌ای است، برای ارزیابی همبستگی میان رتبه رقم‌های آزمایشی در تاریخ‌های برداشت مختلف بر اساس رابطه ۶ مورد استفاده قرار گرفت (۳۰). برای رتبه‌بندی رقم‌ها از مقیاس ۱۳-۱ استفاده شد. در این ارتباط، رقم‌ها با توجه به میزان

تجزیه آماری

تمام پردازش داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار R انجام شد (۲۴). در ابتدا پیش از انجام هرگونه تجزیه و تحلیلی فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون گرابز (۲۵) و فرض همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در سال‌ها و تاریخ برداشت‌های مختلف با استفاده از آزمون بارتلت (۲۶) انجام شد. پس از اینکه یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی تأیید گردید، تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن اثر سال و ثابت بودن اثرات رقم و تاریخ برداشت برای عملکرد شکر سفید با استفاده از رابطه ۴ انجام شد (۲۷):

$$\text{رابطه ۴: } Y_{ijkl} = \mu + Y_i + R_{(i)k} + A_j + YA_{ij} + RA_{(i)jk} + B_l + YB_{il} + AB_{jl} + YAB_{ijl} + RB_{(ij)kl}$$

نتایج و بحث

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثرات اصلی سال، رقم و تاریخ برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که نه تنها ترکیب ژنتیکی رقم‌ها و زمان برداشت بسیار مهم است، بلکه تغییرات سالانه در شرایط محیطی نیز به طور قابل توجهی بر صفات زراعی تأثیر می‌گذارد. نتایج به دست آمده با مطالعات حمیدی و همکاران (۲۰۲۲)، طالقانی و همکاران (۲۰۲۲)، رجبی و همکاران (۲۰۲۳) و حسنی و همکاران (۲۰۲۴) که بر اهمیت در نظر گرفتن تنوع ژنتیکی و عوامل محیطی در برنامه‌ریزی استراتژی‌های کشت تأکید دارند، همسو است (۳۱، ۳۲، ۱۷، ۱۳).

عملکرد شکر سفید در هر یک از تاریخ‌های برداشت از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار مرتب شدند، سپس رتبه ۱ به رقم دارای عملکرد شکر سفید حداکثری و رتبه ۱۳ به رقم دارای عملکرد شکر سفید حداقلی اختصاص یافت. سایر رقم‌ها نیز با توجه به میزان عملکرد، امتیازات مختلف در بازه ۲ تا ۱۲ را دریافت کردند.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{رابطه ۶:}$$

در این رابطه (۶)، d_i تفاوت میان رتبه هر جفت مشاهده $(y_i \text{ و } x_i)$ و n تعداد مشاهدات می‌باشد. مقادیر ضریب ρ بین ۱ تا -۱ متغیر است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد شکر سفید در رقم‌های آزمایشی چغندر قند

Table 5. Combined analysis of variance results of white sugar yield in sugar beet experimental varieties

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
سال Year	1	171.37**
سال/تکرار Year/Replication	4	3.72
رقم Variety	12	39.01**
رقم × سال Variety × Year	12	1.65 ^{ns}
خطا (a) E(a)	48	2.98
تاریخ برداشت Harvest date	4	581.16**
تاریخ برداشت × سال Harvest date × Year	4	21.76**
تاریخ برداشت × رقم Harvest date × Variety	48	4.97**
تاریخ برداشت × رقم × سال Harvest date × Variety × Year	48	1.54 ^{ns}
خطا (b) E(b)	208	2.38

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

** , and ns: Significant at one percent probability level and non-significant, respectively.

برهمکنش‌های دوجانبه تاریخ برداشت- سال و تاریخ برداشت- رقم تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد ایجاد نمودند. فعل و انفعالات قابل توجه بین تاریخ برداشت- سال و تاریخ برداشت- رقم نشان می‌دهد که شیوه‌های کشت بهینه ممکن است سالانه متفاوت باشند، لذا نیازمند یک رویکرد سازگار برای مدیریت محصول است؛ بنابراین، توصیه‌های عملی شامل انتخاب رقم‌های انعطاف‌پذیر و پر محصول متناسب با مناطق خاص و تنظیم شیوه‌های مدیریتی به صورت پویا برای پاسخ به تغییرات سالانه محیطی نیاز است. این رویکرد یکپارچه برای به حداکثر رساندن عملکرد و پایداری در تولید چغندر قند ضروری است و نیاز به تحقیقات مداوم و راهنمایی‌های زراعی خاص منطقه را منعکس می‌کند.

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سال و رقم در جدول ۶ آورده شده است. بر اساس این نتایج رقم‌های آزمایشی در سال اول از عملکرد بهتری نسبت به سال دوم برخوردار بودند، به طوری که در این سال میانگین عملکرد شکر سفید معادل ۷/۸۰ تن در هکتار بود؛ حال آنکه در سال دوم این مقدار به ۶/۴۷ تن در هکتار کاهش یافت. عوامل متعددی می‌تواند سبب کاهش عملکرد شده باشد، اما نمی‌تواند ناشی از شرایط آب و هوایی دو سال مختلف اجرای آزمایش باشد، زیرا نتایج نمودار جعبه‌ای (شکل ۱) که به منظور بررسی مشخصات هواشناسی شامل میانگین حداقل، میانگین حداکثر و متوسط درجه حرارت ماهانه و نیز مجموع بارندگی ماهانه در سال‌های مختلف انجام شد، نشان داد که در بین دو سال اجرای آزمایش از نظر ویژگی‌های مذکور اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. لذا تأثیر سال بر صفت مورد ارزیابی به دلیل عواملی به جز ویژگی‌های یاد شده است. چنین عواملی می‌تواند شامل حاصلخیزی خاک، فشار آفات و بیماری‌ها و شیوه‌های مدیریت مزرعه باشد که ممکن است سالانه متفاوت باشد و

عملکرد محصول را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین رقم‌های مورد آزمایش (جدول ۶) از نظر عملکرد شکر سفید حاکی از برتری رقم‌های روبینا، نیکا، حسنا و یلدا به ترتیب با میانگین عملکرد ۸/۶۹، ۸/۴۳، ۸/۳۶ و ۸/۱۱ تن در هکتار بود. در مقابل رقم‌های رسول و جلگه پایین‌ترین میزان عملکرد شکر سفید را به ترتیب با میانگین ۴/۸۵ و ۵/۹۲ تن در هکتار داشتند. این نابرابری بر تأثیر عوامل ژنتیکی در بهره‌وری محصولات کشاورزی تأکید می‌کند که در مطالعه حاضر چنین نتایجی دور از انتظار نبود؛ زیرا عملکرد شکر سفید رقم‌های معرفی شده در سال‌های اخیر در مقایسه با رقم‌های قدیمی به طور قابل توجهی افزایش یافته است و این مرهون پیشرفت در اصلاح ژنتیکی است که به تدریج پتانسیل رقم‌های چغندر قند را افزایش داده و منجر به بهبود عملکرد شده است. تاکنون، چندین مطالعه در زمینه عوامل مؤثر بر عملکرد چغندر قند (۳۳) و افزایش پتانسیل ژنتیکی رقم‌های مختلف چغندر قند در یک بازه زمانی طولانی (۳۴) صورت پذیرفته است و در مجموع نشان داده است که عملکرد چغندر قند در همه کشورهای تولیدکننده افزایش یافته است (۳۴). در مطالعه هنس و همکاران (۲۰۱۸)، نرخ افزایش سالانه عملکرد شکر در هلند بین سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۵۰ معادل ۳/۴-۰/۹ درصد برآورد شده است (۳۵). بخشی از این افزایش ناشی از معرفی رقم‌های جدید با خصوصیات ژنتیکی بهتر بود (۳۳، ۳۶-۳۸). با این حال، باید در نظر داشت عموماً، میزان افزایش تولید بیش از پیشرفت ژنتیکی است، چراکه، علاوه بر تغییرات اقلیمی، روش‌های زراعی نیز بهبود یافته و موجب ارتقای سطح تولید شده است (۳۹). در واقع، در حالی که افزایش پتانسیل ژنتیکی رقم‌ها به بهبود عملکرد کمک می‌نماید، ادغام شیوه‌های بهینه زراعی نیز نقش اصلی را ایفا می‌کند. لذا تجزیه و تحلیل بیشتر، از جمله در نظر گرفتن متغیرهایی مانند

عوامل محیطی ممکن است برای درک کامل پویایی پیشرفت ژنتیکی در رقم‌های چغندر قند و تأثیر آن بر شکر سفید ضروری باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی سال و رقم

Table 6. Mean comparison of main effects of year and variety

سال	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)	رقم	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)
Year	White sugar yield (t ha ⁻¹)	Variety	White sugar yield (t ha ⁻¹)
۱۴۰۱	7.80 a	رسول	4.85 h
2022		Rasoul	
۱۴۰۲	6.47 b	جلگه	5.92 g
2023		Jolgeh	
-	-	هما	6.49 efg
-	-	Homa	
-	-	پارس	6.23 fg
-	-	Pars	
-	-	اکباتان	6.47 efg
-	-	Ekbatan	
-	-	شکوفه	7.75 bcd
-	-	Shokoufa	
-	-	دنا	7.23 de
-	-	Dena	
-	-	آسیا	7.50 cd
-	-	Asia	
-	-	کیمیا	6.74 ef
-	-	Kimia	
-	-	نیکا	8.43 ab
-	-	Nika	
-	-	روبینا	8.69 a
-	-	Robina	
-	-	حسنه	8.36 ab
-	-	Hosna	
-	-	یلدا	8.11 abc
-	-	Yalda	

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد باهم ندارند.

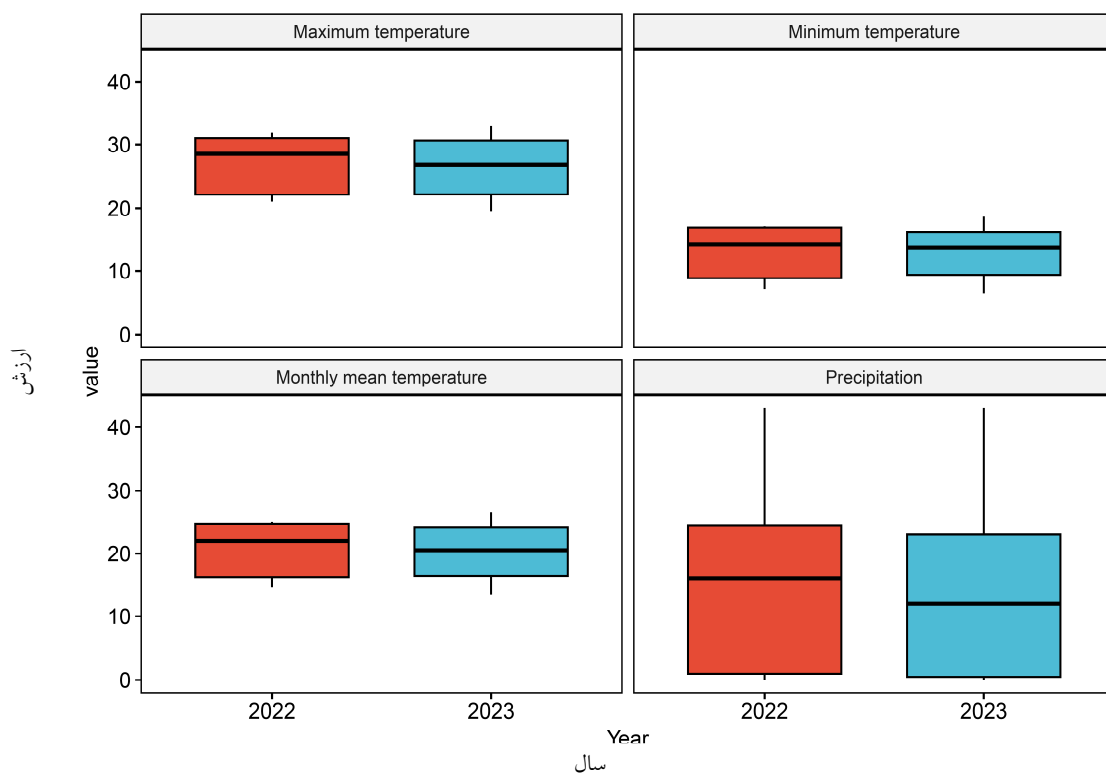
Means that have at least one similar letter do not have a significant difference at the five percent probability level.

کمترین مقدار صفت مذکور متعلق به برداشت اول در سال ۱۴۰۲ با میانگین عملکرد ۲/۷۵ تن در هکتار بود. به‌طور کلی نتایج حاکی از تأثیرپذیری عملکرد شکر سفید در نتیجه تاریخ برداشت در سال‌های مختلف بود؛ اما مهم‌ترین عاملی که تاریخ برداشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب می‌شود تا پاسخ‌های متفاوتی از نظر صفات بروز نماید، عامل سال است. در مطالعه‌ای تاریخ‌های مختلف کشت و برداشت با یکدیگر مقایسه شد و مشاهده گردید که در تمامی تیمارها با افزایش

برهمکنش بین شرایط محیطی، ساختار ژنتیکی رقم‌ها و اقدامات زراعی پیچیده است. در حالی که ژنتیک پتانسیل عملکرد را فراهم می‌کند، عملکرد واقعی به‌دست‌آمده به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و شیوه‌های کشاورزی است. نتایج مربوط به مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ برداشت- سال در جدول ۷ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین میزان عملکرد شکر سفید به برداشت پنجم سال ۱۴۰۱ با میانگین ۱۱/۳۶ تن در هکتار اختصاص یافت؛

قند بیشتر در گیاه است. این دوره طولانی همچنین رشد بهتر ریشه را تسهیل می‌کند و به ریشه‌ها اجازه می‌دهد، رشد کرده و بزرگ‌تر شوند و قند بیشتری ذخیره کنند که مستقیماً به عملکرد بالاتر کمک می‌کند (۱۲). روند تجمع قند در چغندر قند تدریجی است و در طول دوره رشد ادامه می‌یابد، بنابراین یک دوره طولانی‌تر اجازه می‌دهد تا قند بیشتری در ریشه انباشته شود که منجر به محتوی قند بالاتر و در نتیجه عملکرد با کیفیت بالاتر می‌شود (۴۰). به‌طور خلاصه، دوره رشد طولانی‌تر به گیاهان چغندر قند زمان بیشتری برای فتوسنتز، توسعه سیستم‌های ریشه‌ای گسترده، جذب مواد مغذی، اجتناب از تنش‌ها و تجمع قندها می‌دهد که همگی به کمیت و کیفیت بالاتر عملکرد کمک می‌کنند.

دوره رشد و تأخیر در برداشت، عملکرد کمی و کیفی محصول افزایش یافته است (۱۲). از آنجایی که عملکرد شکر سفید در برگیرنده عملکرد کمی و کیفی محصول چغندر قند است، لذا ویژگی مهم و نهایی در ارزیابی این گیاه محسوب می‌شود؛ از این رو با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از نظر صفت مذکور تأخیر در برداشت در هر سال بر برداشت زودهنگام ارجحیت داشته است، می‌توان بیان کرد که نتایج پژوهش حاضر منطبق با نتایج پژوهش هافمن و کلاگ سورین (۱۲) بود. افزایش کمیت و کیفیت عملکرد چغندر قند به دلیل افزایش طول دوره رشد را می‌توان به عوامل متعدد مرتبط با رشد، نمو و تجمع قندها نسبت داد. دوره رشد طولانی‌تر، زمان بیشتری را برای گیاهان فراهم می‌کند تا فتوسنتز نمایند. زمان بیشتر برای فتوسنتز به معنای تولید



شکل ۱- نمودار جعبه‌ای حداکثر، حداقل و متوسط درجه حرارت ماهانه و نیز مجموع بارندگی ماهانه ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج در سال‌های اجرای آزمایش

Figure 1- Boxplot of maximum temperature, minimum temperature, monthly mean temperature and precipitation of Karaj sugar beet research station in experiment implementation years

بر اساس نتایج مقایسه میانگین رقم‌های آسیا، هما و روبینا در تاریخ‌های برداشت چهارم، پنجم و سوم، رقم‌های دنا، جلگه، کیمیا و نیکا در تاریخ‌های برداشت پنجم، چهارم و سوم، رقم اکباتان در تاریخ‌های برداشت پنجم، سوم و چهارم، رقم حسنا در تاریخ‌های برداشت چهارم و پنجم، رقم پارس در تاریخ‌های برداشت پنجم، چهارم، سوم و دوم، رقم رسول در تاریخ‌های برداشت سوم، پنجم، چهارم و دوم، رقم شکوفا در تاریخ برداشت پنجم و رقم یلدا در تاریخ‌های برداشت پنجم و چهارم بیشترین میزان عملکرد شکر سفید را داشتند (جدول ۸). پایین‌ترین میزان عملکرد در تمامی رقم‌های آزمایشی به تاریخ برداشت اول اختصاص یافت. یافته‌ها با تحقیقات وحیدی و همکاران (۴۳)، جواهری (۴۴) و صادق‌زاده حمایتی و همکاران (۷) مطابقت دارد که نشان می‌دهد زمان برداشت بهینه می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر محتوی قند نهایی و کیفیت کلی محصول تأثیر گذارد. برداشت زودهنگام می‌تواند منجر به تجمع کمتر ساکارز شود، در حالی که برداشت دیرهنگام نیز می‌تواند خطر قرار گرفتن در معرض آب‌وهوای نامناسب را افزایش دهد و به‌طور بالقوه منجر به از دست رفتن عملکرد و کاهش کیفیت قند شود (۱۲).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ برداشت- سال

Table 7- Mean comparison of harvest date-year interaction

سال Year	تاریخ برداشت Harvest date	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار) White sugar yield (t ha ⁻¹)
۱۴۰۱ 2022	HD1	3.65 f
	HD2	6.33 d
	HD3	8.06 c
	HD4	9.60 b
	HD5	11.35 a
۱۴۰۲ 2023	HD1	2.75 g
	HD2	4.81 e
	HD3	7.91 c
	HD4	8.54 c
	HD5	8.36 c

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد باهم ندارند.

means that have at least one similar letter do not have a significant difference at the five percent probability level.

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ برداشت- رقم و تاریخ برداشت برای هر رقم

رقم Variety	تاریخ برداشت Harvest date	ارزش Value	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)		رقم Variety	تاریخ برداشت Harvest date	ارزش Value	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)	
			White sugar yield (t ha ⁻¹) برای هر رقم Harvest date grouping for each variety	White sugar yield (t ha ⁻¹) گروه بندی تاریخ برداشت date-variety interaction				White sugar yield (t ha ⁻¹) برای هر رقم Harvest date grouping for each variety	White sugar yield (t ha ⁻¹) گروه بندی تاریخ برداشت date-variety interaction
آسیا Asia	HD1	3.16	vv	uvw	نیکا Nika	HD1	3.86	uvw	c
	HD2	5.77	p-t	bc		HD2	6.57	n-r	bc
	HD3	8.85	f-j	a		HD3	9.59	e-i	ab
	HD4	10.18	c-g	a		HD4	10.89	a-c	a
	HD5	9.55	e-i	a		HD5	11.24	a-c	a
دنا Dena	HD1	3.42	vw	c	پارس Pars	HD1	2.69	w	b
	HD2	6.09	p-t	bc		HD2	5.41	q-u	ab
	HD3	8.34	h-m	ab		HD3	6.55	n-r	a
	HD4	8.39	h-m	ab		HD4	8.02	i-o	a
	HD5	9.92	d-h	a		HD5	8.47	g-l	a
اکباتان Ekbatan	HD1	3.78	uvw	c	رسول Rasoul	HD1	2.57	w	b
	HD2	4.72	s-v	bc		HD2	3.81	uvw	ab
	HD3	7.31	j-p	ab		HD3	6.35	o-s	a
	HD4	6.88	l-r	abc		HD4	5.77	p-t	ab
	HD5	9.66	e-i	a		HD5	5.75	p-t	ab
هما Homa	HD1	3.21	vw	c	روبینا Robina	HD1	3.40	vw	b
	HD2	5.25	r-u	bc		HD2	6.61	n-r	b
	HD3	7.23	j-p	ab		HD3	9.92	d-h	a
	HD4	8.73	g-k	a		HD4	12.02	ab	a
	HD5	8.06	l-o	ab		HD5	11.49	a-d	a
حسنا Hosna	HD1	3.42	vw	c	شکروفا Shokoufa	HD1	3.18	vw	c
	HD2	6.16	p-t	bc		HD2	6.26	p-t	bc
	HD3	8.36	h-m	b		HD3	8.59	g-l	b
	HD4	12.14	a	a		HD4	8.69	g-k	b
	HD5	11.73	abc	a		HD5	12.01	ab	a
چلگه Jolgeh	HD1	3.02	vw	c	یلدا Yalda	HD1	2.66	w	d
	HD2	4.61	tuv	bc		HD2	6.47	n-r	c
	HD3	6.71	m-r	ab		HD3	8.57	g-l	bc
	HD4	7.09	k-q	ab		HD4	10.43	b-f	ab
	HD5	8.16	i-n	a		HD5	12.44	a	a
کیمیا Kimia	HD1	3.22	vw	c	-	-	-	-	
	HD2	4.73	s-v	bc	-	-	-	-	
	HD3	7.45	j-p	ab	-	-	-	-	
	HD4	8.67	g-k	a	-	-	-	-	
	HD5	9.64	e-i	a	-	-	-	-	

Means that have at least one similar letter do not have a significant difference at the five percent probability level.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس عملکرد شکر سفید بر اساس روش پیشنهادی ابرهارت و راسل در رقم‌های آزمایشی چغندر قند

Table 9. Analysis of variance results of white sugar yield based on the suggested method of Eberhart and Russel in sugar beet experimental varieties

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
کل Total	129	26.23
ژنوتیپ Genotype	12	39.02**
محیط + (ژنوتیپ × محیط) Environment + (Genotype × Environment)	117	24.92
محیط (خطی) Environment (linear)	1	2583.07**
ژنوتیپ × محیط (خطی) Genotype × Environment (linear)	12	10.06**
انحراف مرکب Pooled deviation	104	2.04 ^{ns}
آسیا Asia	8	1.46 ^{ns}
دنا Dena	8	1.00 ^{ns}
اکباتان Ekbatan	8	3.05 ^{ns}
هما Homa	8	1.34 ^{ns}
حسننا Hosna	8	3.59 ^{ns}
جلگه Jolgeh	8	1.33 ^{ns}
کیمیا Kimia	8	0.69 ^{ns}
نیکا Nika	8	0.38 ^{ns}
پارس Pars	8	0.62 ^{ns}
رسول Rasoul	8	2.27 ^{ns}
روبینا Robina	8	2.95 ^{ns}
شکوفه Shokoufa	8	4.04 ^{ns}
یلدا Yalda	8	3.75 ^{ns}
خطای مرکب Pooled error	240	2.28

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

**, and ns: Significant at one percent probability level and non- significant, respectively.

در مجموع زمانی که چغندر قند با هدف تولید محصول کشت می‌شود، تصمیم‌گیری در مورد زمان برداشت باید با توجه به تعامل بین آمادگی فیزیولوژیکی محصول و خطرات زیست‌محیطی قریب‌الوقوع اتخاذ شود؛ اما از آنجایی که در مطالعه حاضر گزینش زود هنگام با هدف سرعت بخشیدن به برنامه‌های اصلاحی مدنظر است، بررسی روند افزایش عملکرد شکر سفید و نیز تغییر در رتبه عملکرد رقم‌ها در تاریخ‌های برداشت مختلف حائز اهمیت است که به این منظور تجزیه رگرسیونی بر اساس روش پیشنهادی ابرهارت و راسل انجام شد.

اصلاح ژنتیکی سریع: بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۹) اثر رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که مؤید وجود تفاوت‌های ژنتیکی قابل ملاحظه بین رقم‌های آزمایشی از نظر توان تولید عملکرد شکر سفید است. این یافته سنگ بنای برنامه‌های اصلاحی است، زیرا پتانسیل افزایش ژنتیکی عملکرد رقم‌های چغندر قند را نشان می‌دهد. تنوع ژنتیکی یک منبع ضروری برای به‌نژادگران است که مواد گیاهی را برای انتخاب صفاتی فراهم می‌کند که بازدهی بالاتر و کیفیت بهتری را در شرایط محیطی متنوع به ارمغان می‌آورد (۱۵، ۱۶، ۴۵). عامل محیطی تأثیر خطی قابل توجهی بر عملکرد شکر سفید در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۹). این رابطه خطی نشان داد که با افزایش شاخص محیطی، در درجه اول به دلیل تأخیر در زمان برداشت در طول دو سال و پنج تاریخ برداشت، افزایش متناظر در عملکرد شکر وجود دارد. این الگو نشان‌دهنده واکنش قابل پیش‌بینی و یکنواخت عملکرد شکر به تغییرات محیطی است. به بیان ساده‌تر، تغییرات عملکرد محیط‌ها از روند خطی برخوردار است. این روند خطی برای سرعت بخشیدن به برنامه‌های اصلاحی از طریق گزینش زود هنگام رقم‌های برتر از حیث یکنواختی شیب افزایش عملکرد با تأخیر در برداشت، حائز اهمیت

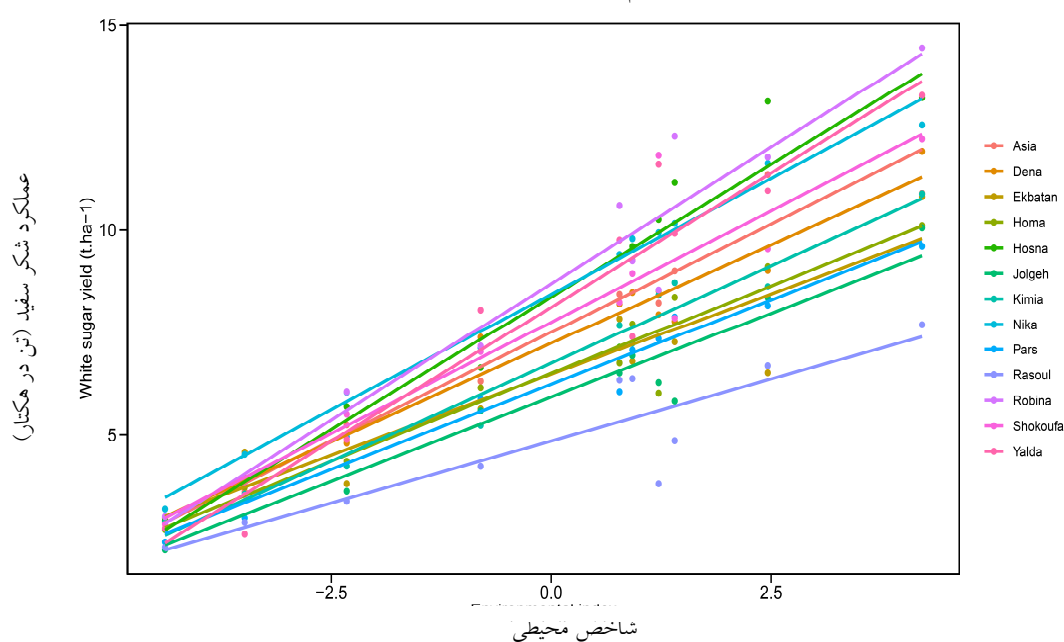
ویژه‌ای است؛ اما معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ-محیط (خطی) در سطح احتمال یک درصد باعث پیچیده شدن گزینش در مراحل ابتدایی رشد می‌شود؛ زیرا حاکی از آن است که اگرچه عملکرد محیطی از روند خطی تبعیت می‌کند، اما شیب خط رگرسیونی رقم‌های آزمایشی در محیط‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. در واقع نشان‌دهنده قدرت و ضعف رقم‌های آزمایشی از نظر عملکرد شکر سفید است که از محیطی به محیط دیگر تغییر می‌کند. این یافته حاکی از آن است که اگرچه اثر محیط کلی بر عملکرد شکر خطی بود، اما واکنش رقم‌های منفرد به‌طور قابل توجهی در شرایط مختلف محیطی متفاوت بود که نشان‌دهنده سازگاری افتراقی و تولید بالقوه عملکرد در سناریوهای مختلف محیطی است.

میانگین مربعات مربوط به انحرافات از خط رگرسیونی که با عنوان انحراف مرکب شناخته می‌شود، غیر معنی‌دار بود (جدول ۹). غیر معنی‌دار شدن این اثر حاکی از آن است که مقادیر مربوط به عملکرد شکر سفید رقم‌های آزمایشی کاملاً در اطراف خط رگرسیونی قرار دارند و واکنش یک رقم در طول تغییرات خطی محیط‌ها دارای نوسان نمی‌باشد. در واقع با وجود پیچیدگی‌های ناشی از برهمکنش ژنوتیپ-محیط (خطی)، واکنش رقم‌ها به تغییرات محیطی نامنظم نیست، بلکه در اطراف خط رگرسیون پایدار است. این پایداری بسیار مهم است؛ زیرا نشان می‌دهد در حالی که رقم‌های منفرد ممکن است به تغییرات محیطی واکنش متفاوتی نشان دهند، اما روند عملکرد آن‌ها پس از درک این تعاملات محیطی قابل پیش‌بینی است. در این رابطه، تجزیه و تحلیل فردی رقم‌های آزمایشی از این یافته‌ها پشتیبانی نمود، به طوری که هیچ نوسان عملکرد شکر سفید قابل توجهی را نشان نداد و یک پاسخ خطی ثابت را در بین رقم‌ها تأیید کرد. علی‌رغم پیچیدگی‌های معرفی شده توسط برهمکنش‌های قابل توجه ژنوتیپ-

آزمایشی چغندر قند با تأخیر در تاریخ برداشت افزایش می‌یابد. این افزایش به‌ویژه از تاریخ برداشت سوم به بعد قابل توجه است. این پدیده را می‌توان با دوره رشد طولانی توضیح داد که امکان افزایش فتوسنتز، توسعه بهتر سیستم ریشه، افزایش جذب مواد مغذی و تجمع بیشتر قندها را فراهم می‌کند (۴۶، ۴۷). این عوامل بسیار مهم هستند زیرا گیاهان را قادر می‌سازند تا پتانسیل ژنتیکی خود را به‌طور کامل بیان کنند. نتایج همبستگی اسپیرمن (شکل ۳) مشاهدات حاصل از تجزیه رگرسیونی را تقویت می‌کند. همبستگی بالا (۰/۸۳) بین عملکرد تاریخ‌های برداشت چهارم و پنجم حاکی از ثبات عملکرد رقم‌ها پس از رسیدن به بلوغ کامل است. کاهش همبستگی با تاریخ‌های برداشت اولیه تأیید می‌کند که اندازه‌گیری‌های اولیه عملکرد، پیش‌بینی‌کننده‌های غیرقابل اعتمادی برای محصول نهایی هستند.

محیط (خطی)، الگوی ثابتی که به‌وسیله رقم‌های آزمایشی پدیدار می‌شود، یک استراتژی بالقوه برای انتخاب بر اساس ارزیابی‌های برداشت زودهنگام را پیشنهاد می‌کند.

نمودار رگرسیونی تغییرات عملکرد شکر سفید ناشی از تاریخ برداشت در رقم‌های آزمایشی چغندر قند در شکل ۲ ارائه شده است. در این شکل، محور افقی نمایانگر شاخص محیطی حاصل از پنج تاریخ برداشت در دو سال اجرای آزمایش و محور عمودی نشانگر عملکرد شکر سفید می‌باشد. شاخص محیطی با علامت مثبت و منفی به ترتیب منعکس‌کننده شرایط محیطی مطلوب و نامطلوب است (۲۹). خطوط داخلی نمودار نشان می‌دهند که چگونه میانگین عملکرد رقم‌های آزمایشی با توجه به شاخص‌های محیطی مختلف تغییر می‌کند. در این ارتباط، نمودار رگرسیونی روند واضحی را نشان می‌دهد که در آن عملکرد شکر سفید رقم‌های



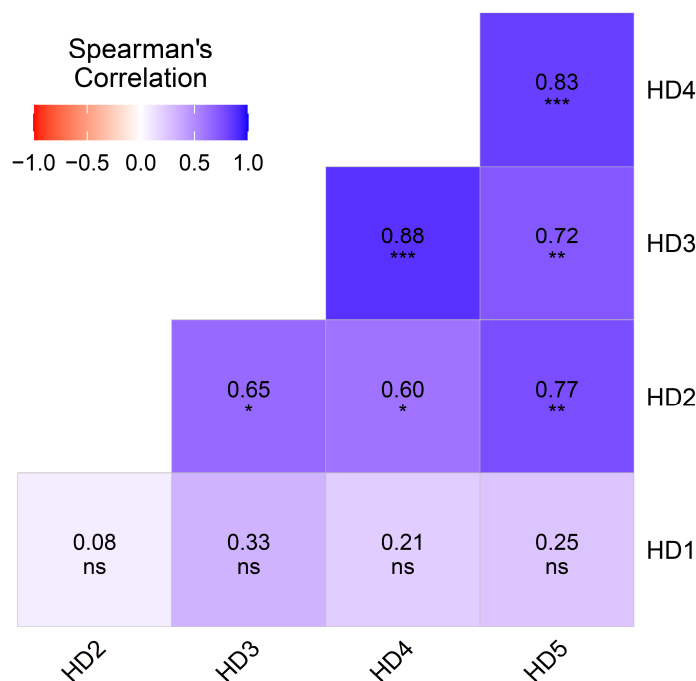
شکل ۲- نمودار رگرسیونی تغییرات محیطی عملکرد شکر سفید بر اساس روش پیشنهادی ابرهارت و راسل در رقم‌های آزمایشی چغندر قند
Figure 2. Regression plot of environmental changes of white sugar yield based on the suggested method of Eberhart and Russell in experimental sugar beet varieties

نمی‌توان به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده قابل اعتماد عملکرد کمی و کیفی نهایی در نظر گرفت، مگر اینکه تاریخ

به‌طور کلی و با توجه به نتایج به‌دست آمده، پتانسیل استفاده از عملکرد کمی و کیفی در مراحل اولیه را

تا بتوان دوباره امکان تسریع برنامه‌های اصلاحی و توسعه سریع‌تر و کارآمدتر رقم‌های چغندر قند با عملکرد کمی و کیفی بالا را مورد بررسی قرار داد. چنین مطالعه‌ای می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در مورد کنش و واکنش‌های ژنتیکی و محیطی مؤثر بر کشت چغندر قند ارائه دهد و در نتیجه اثربخشی برنامه‌های اصلاحی را افزایش دهد.

برداشت تا اوایل مهرماه به تعویق افتد تا گیاهان زمان کافی برای رشد و نمو و تظاهر پتانسیل ژنتیکی خود داشته باشند. پیش از این زمان، امکان گزینش زود هنگام برای تسریع برنامه‌های اصلاحی وجود ندارد و اگر چنین گزینشی صورت پذیرد چندان قابل اعتماد نخواهد بود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی تاریخ کشت نیز مورد توجه قرار گیرد و در صورت مساعد بودن شرایط آب و هوایی کشت زود هنگام انجام شود



شکل ۵- تجزیه همبستگی اسپیرمن تاریخ‌های مختلف برداشت در رقم‌های آزمایشی چغندر قند. HD1: تاریخ برداشت اول، HD2: تاریخ برداشت دوم، HD3: تاریخ برداشت سوم، HD4: تاریخ برداشت چهارم و HD5: تاریخ برداشت پنجم. ns، *، **، ***: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک‌دهم، یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

Figure 5. Spearman correlation analysis of different charvest date in experimental sugar bett varieties. HD1: first harvest date, HD2: second harvest date, HD3: third harvest date, HD4: fourth harvest date and HD5: fifth harvest date. ***, **, *, and ns: Significant at 0.1, 1 and 5 percent probability level and non-significant, respectively.

به‌شدت به مدیریت مناسب زراعی و محیطی وابسته است. در این میان، زمان برداشت به‌عنوان یک عامل مهم تلقی می‌شود؛ به‌طوری که تأخیر در برداشت، انباشت قند را افزایش می‌دهد و عملکرد را بهبود می‌بخشد، اگرچه خطرات ناشی از آب‌وهوای نامساعد را نیز افزایش می‌دهد؛ بنابراین، تعامل بین ژنتیک گیاه، شرایط محیطی و شیوه‌های زراعی برای تحقق عملکرد

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های مطالعه حاضر بینش جامعی را در مورد پویایی عملکرد چغندر قند تحت تأثیر زمان برداشت، تنوع ژنتیکی و شرایط محیطی ارائه می‌دهد و بر پیچیدگی سیستم‌های تولید کشاورزی تأکید می‌کند. در حالی که اصلاح ژنتیکی به‌وضوح نقش مهمی در افزایش عملکرد ایفا کرده است، تحقق بهینه این پتانسیل

پایدار داشته باشند.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد و ایستگاه تحقیقات چغندرقد مهندس مطهری کرج که در اجرای پروژه پژوهشی همکاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

بالقوه چغندرقد پیچیده و حیاتی است. اگرچه در مراحل اولیه رشد گیاه، تعیین بهترین رقم‌ها به دلیل برهمکنش‌های محیطی و ژنتیکی دشوار است، اما نتایج نشان داد که به تعویق انداختن برداشت سبب مشاهده الگوهای عملکرد (رتبه‌ای) تقریباً ثابت می‌شود؛ به طوری که گزینش مؤثر می‌تواند از تاریخ برداشت سوم (دهه سوم شهریورماه) به بعد آغاز شود تا گیاهان فرصت کافی برای نشان دادن واکنش‌های عملکرد

References

- Dohm, J.C., Minoche, A.E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T.R., Stracke, R., & Reinhardt, R. (2014). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7487), 546-549.
- Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J., & Romeiras, M.M. (2018). Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, 9, 74-89.
- Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S., & Ricardo, C.P. (2016). Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. *Frontiers in Plant Science*, 7, 193305.
- Sadeghzadeh Hemayati, S., 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. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/spj.2023.362024.1305>
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, 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.
- Draycott, A.P. (2008). *Sugar beet*. (Ed.): Draycott, A.P.. Oxford, lackwell Publishing Ltd, UK, PP. 1-8.
- Sadeghzadeh Hemayati, S., Hamdi, F., Saremirad, A., & Hamze, H. (2024). Genotype by environment interaction and stability analysis for harvest date in sugar beet cultivars. *Scientific Reports*, 14(1), 16015.
- Marin, F.R., Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J.F., & Grassini, P. (2021). Sugarcane yield and yield components as affected by harvest time. *Sugar Tech*, 23, 819-826.
- Nagib, S., El-Azez, A., & Ali, A. (2018). Evaluation of some new sugar beet varieties as affected by different harvest ages under conditions of Minia Governorate. *Journal of Plant Production*, 9(12), 1175-1180.
- Wang, J., Sun, X., Xu, Y., Wang, Q., Tang, H., & Zhou, W. (2021). The effect of harvest date on yield loss of long and short-grain rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in Northeast China. *European Journal of Agronomy*, 131, 126382.
- Taleghani, D., Hosseinpour, M., Nemati, R., & Saremirad, A. (2023). 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. (In Persian). <http://agrobreedjournal.ir/article-1-1269-fa.html>
- Hoffmann, C.M., & Kluge-Severin, S. (2011). Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy*, 34(1), 1-9.
- 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>
14. 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.
 15. 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 \times tester analysis. *Crop Breeding*, 15(48), 201-212. [In Persian]. (In Persian).
 16. 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. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/aj.2023.357194.1580>
 17. 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>
 18. Milford, G., Jarvis, P., & Walters, C. (2010). A vernalization-intensity model to predict bolting in sugar beet. *The Journal of Agricultural Science*, 148(2), 127-137.
 19. 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.
 20. Anonymous. (2021). *Climatic features of Karaj*. http://www.alborz-met.ir/Index.aspx?page_ =form&lang=1&sub=0&tempname=Default&PageID=7971
 21. Kunz, M., Martin, D., & Puke, H. (2002). Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zucker Industrie*, 127(1), 13-21.
 22. Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner, & Beiss, U. (1974). *Zur Voraussage des Melassezuckersaus Rubenanalysen Zucker*. Chapman & Hall, World Crop Series.
 23. Cook, D., & Scott, R. (1993). *The sugar beet crop: science into practice*. Chapman and Hall Press.
 24. R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. In. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
 25. Grubbs, F.E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11(1), 1-21.
 26. Bartlett, M.S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268-282.
 27. Moore, K.J., & Dixon, P.M. (2015). Analysis of combined experiments revisited. *Agronomy Journal*, 107(2), 763-771.
 28. Wickham, H. (2016). *Elegant graphics for data analysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007-978-3319-24277-4-9>
 29. Eberhart, S.T., & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, 6(1), 36-40.
 30. Wissler, C. (1905). The Spearman correlation formula. *Science*, 22(558), 309-311.
 31. 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/jcsc.2022.74787.1138>. [In Persian].
 32. Taleghani, D., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Ahmadi, M., Hamidi, H., & Nemati, R. (2022). Genotype \times 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>. [In Persian].
 33. Märlander, B., Hoffmann, C., Koch, H.J., Ladewig, E., Merkes, R., Petersen, J., & Stockfisch, N. (2003). Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(4), 201-226.

34. Jaggard, K., Koch, H., Sanz, J. A., Cattanach, A., Duval, R., Eigner, H., Legrand, G., Olsson, R., Qi, A., & Thomsen, J. (2012). The yield gap in some sugar beet producing countries. *International Sugar Journal*, 114(1363), 496-510.
35. Hanse, B., Tijink, F. G., Maassen, J., & Van Swaaij, N. (2018). Closing the yield gap of sugar beet in the Netherlands—a joint effort. *Frontiers in Plant Science*, 9, 184-195.
36. Scott, R., & Jaggard, K. (2000). Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugarbeet grown in the UK since 1970. *The Journal of Agricultural Science*, 134(4), 341-352.
37. Zeddies, J. (2006). Die neue EU-Zuckermarktordnung—Beschlüsse, Auswirkungen und Bewertung. *German Journal of Agricultural Economics*, 55(2), 97-99.
38. Zimmermann, B., & Zeddies, J. (2000). Productivity development in sugar beet production and economic evaluation of progress in breeding. *German Journal of Agricultural Economics/Agrarwirtschaft*, 49(5), 195-205.
39. Jansen, R., & Stibbe, C. (2007). Impact of plant breeding on the profitability of sugar beet production. *International Sugar Journal*, 109, 227-233.
40. Javaheri, M.A., Zainaldini, A., & Najafi Nejad, H. (2004). The effect of planting date on sugar beet growth indicators in Arzoiye plain (autumn sowing). *Research and Construction*, 17(1), 64-69.
41. Sadeghzadeh Hemayati, S., Shirzadi, M., Aghaezadeh, 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. [In Persian].
42. 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. [In Persian].
43. Vahidi, H., Mirshekari, B., Sadeghzadeh Hemayati, S., Rajabi, A., & Yarnia, M. (2018). Response of quantitative and qualitative characteristics of sugar beet genotypes to different sowing and harvest dates. *Journal of Sugar Beet*, 34(1), 1-15. [In Persian].
44. Javaheri, M.A. (2023). Effect of sowing and harvesting dates on root yield and some quality characteristics of sugar beet. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 321-331. [In Persian].
45. Mirzaei, M.R., & Saremirad, A. (2023). Estimation of gene action and genetic parameters of some characteristics related to sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seed germination by line× tester analysis. *Journal of Crop Production*, 16(4), 67-92. [In Persian].
46. Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M.H., Ali ,B., Ullah, S., Shah, W., Mumtaz, S., Yasin, G., Muresan, C.C., & Marc, R.A. (2022). Plants' physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress: A comprehensive review. *Plants*, 11(13), 1-14. <https://doi.org/10.390/plants11131620>
47. Jammer, A., Albacete, A., Schulz, B., Koch, W., Weltmeier, F., van der Graaff, E., Pfeifhofer, H. W., & Roitsch, T. G. (2020). Early-stage sugar beet taproot development is characterized by three distinct physiological phases. *Plant Direct*, 4(7), e00221. <https://doi.org/10.1002/pld3.221>