SBSI

Journal of Sugar Beet

Journal Home Page: https://jsb.areeo.ac.ir

ISCPBS
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Evaluating the response of sugar beet hybrids to drought stress using stress tolerance index and hierarchical clustering analysis

Behnam Ahmadi[1], Mohammad Abdollahian Noghabi[2]*, Hossein Heydari Sharifabad[1] Ali Mokhtassi Bidgoli[3], Rahim Mohammadian[2]

(Received: 5 June. 2026 ; Accepted: 26 July. 2026)

How to cite this article:
Ahmadi B, Abdollahian Noghabi M, Heydari Sharifabad H, Mokhtassi Bidgoli A, Mohammadian R. Evaluating the response of sugar beet hybrids to drought stress using stress tolerance index and hierarchical clustering analysis. Journal of Sugar Beet. 2026: (41)2. 209-234. (In Persian with English abstract). **DOI: 10.22092/jsb.2026.373032.1411.**

Extended Abstract

Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is the world's second most important source of sucrose and plays a vital role in food security and agricultural economics. However, its production is constrained by several factors, among which drought stress caused by water deficit is one of the most important. Water scarcity induces physiological responses such as stomatal closure and reduced photosynthetic activity, ultimately leading to a substantial reductions in root yield. Given the increasing temperatures and declining water resources in sugar beet growing regions, effective management and breeding strategies are essential to mitigate the adverse effects of drought. One promising approach is the development and cultivation of drought-tolerant cultivars and hybrids that maintain high water-use efficiency and satisfactory economic performance under limited irrigation. Therefore, this study aimed to identify promising sugar beet hybrids using the Stress Tolerance Index (STI) and cluster analysis to select hybrids with superior sugar yield and water use efficiency under both normal and water-deficit c conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted over two growing seasons (2016 and 2017) at the Sugar Beet Research Station in Karaj, Iran, affiliated with the Sugar Beet Seed Institute. The experiment was arranged as a split-plot based on a randomized complete block design with four replications. Irrigation regime was assigned to the main plots at two levels: normal irrigation (after 90 mm evaporation from a class A pan) and restricted irrigation (after 180 mm evaporation). In the first year, the subplots consisted of 57 experimental test-cross hybrids and seven commercial check cultivars. Based on the highest STI values obtained in the first year, 16 superior hybrids were selected and evaluated in the second year together with four superior check cultivars. Measured traits included root yield, sugar content, sugar yield, root impurities (Na^+, K^+, and α-amino nitrogen), and irrigation water use efficiency (IWUE). In the second year, total chlorophyll and carotenoid contents were also determined. The Stress Tolerance Index (STI) was calculated according to the method proposed by Fernandez, and cluster analysis was performed to classify the genotypes according to drought tolerance. Data analysis was carried out using SAS and Minitab statistical software.

Results and Discussion

Water deficit stress significantly reduced root yield, with average reductions of 41% in the first year and 20% in the second year. The greater reduction observed during the first year was likely associated with the genetic diversity of the tested hybrids and the occurrence of unfavorable environmental conditions including pest and disease pressure. Among the evaluated hybrids, (7112*SB36) *S1-100 and (7112*SB36)*S1-70 showed competitive root yields of 70.84 t ha^{-1} and 69.71 t ha^{-1}, respectively comparable to those of the check cultivars. The main effect of genotype was highly significant ($P < 0.01$) for all major traits, including root yield, sugar content, and sugar yield. Sugar content increased under water-deficit conditions compared with normal irrigation by approximately 20% in the first year and 6% in the second year, although this increase was statistically significant only in the first

1. Horticultural Science, Agronomy, and Biotechnology Department, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Karaj, Iran
* Corresponding author: Noghabi@protonmail.com
3. Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

year. This response may be attributed to reduced root diameter and enhanced sugar accumulation within storage tissues. A significant irrigation × genotype interaction for sugar content was detected only during the first year, indicating differences among genotypes in their responses to irrigation regimes. Sugar yield was significantly affected by both irrigation treatment and genotype ($P < 0.01$) in both years, whereas their interaction was not significant. Under restricted irrigation, sugar yield decreased by 29% in the first year and 15% in the second year. In the second year, the check cultivars Mandarin (10.88 t ha^{-1}) and IR7 (9.49 t ha^{-1}) produced the highest sugar yields, whereas hybrid (7112*SB36) *S1-03 recorded the lowest value (6.70 t ha^{-1}). Among the experimental hybrids, (7112*SB36) *S1-100 achieved the highest sugar yield (9.38 t ha^{-1}). The irrigation × genotype interaction was not significant for root yield and sugar yield, indicating relatively consistent genotype responses across irrigation regimes for these traits. However, significant interactions were observed for sodium and potassium concentrations in the first year. Under water-deficit conditions, root sodium concentration decreased by 27%, whereas potassium concentration increased by 3%, suggesting osmotic adjustment as an adaptive response to drought stress. Irrigation water use efficiency increased by an average of 22% under restricted irrigation across the two years, reflecting improved water productivity under limited water supply. During the second year, Mandarin (1.06 kg m^{-3}) and Paya (0.93 kg m^{-3}) exhibited the highest IWUE values, whereas hybrid (7112*SB36) * S1-03 showed the lowest value (0.65 kg m^{-3}). Among the experimental hybrids, (7112*SB36) *S1-100 (0.90 kg m^{-3}) and (7112*SB36) *S1-70 (0.82 kg m^{-3}) exhibited high IWUE values comparable to those of the superior check cultivars. The approximately 35% reduction in irrigation water applied under restricted irrigation contributed substantially to the observed increase in IWUE. Based on STI values in the second year, the check cultivars Paya (1.40) and Mandarin (1.01) exhibited the greatest drought tolerance, whereas Jolgeh (0.67) had the lowest STI among the checks. Among the experimental hybrids, (7112*SB36) S1-100 (0.97) and (7112*SB36) S1-70 (0.96) recorded the highest STI values. Cluster analysis based on root yield, sugar yield, and IWUE classified hybrids into drought-tolerant and susceptible groups. Notably, only hybrids (7112*SB36) *S1-100 and (7112*SB36) *S1-70 were consistently classified as drought tolerant in both years. Their STI values were also higher than the overall mean, demonstrating strong agreement between STI and cluster analysis as complementary two selection methods. Furthermore, these hybrids exhibited competitive root and sugar yields relative to the superior commercial cultivars Mandarin and Paya while maintaining high irrigation water use efficiency (0.90 and 0.82 kg m^{-3}, respectively).

Conclusion

Results demonstrated that although water-deficit stress substantially reduced root yield, combining the Stress Tolerance Index with cluster analysis effectively identified drought-tolerant sugar beet hybrids capable of maintaining high irrigation water use efficiency and acceptable sugar yield under limited irrigation. Among the evaluated materials, hybrids (7112*SB36) *S1-100 and (7112*SB36) *S1-70 consistently exhibited superior agronomic performance, high drought tolerance, and competitive productivity compared with commercial cultivars. These hybrids represent promising genetic resources for future breeding programs and for cultivation in drought-prone environments. Therefore, the combined application of STI and cluster analysis is recommended as a reliable and effective strategy for selecting superior sugar beet genotypes under water-limited conditions.

Keywords: Irrigation water use efficiency, Sugar content, Sugar yield, Water-deficit stress.

References

Baryga A, Rusinowski S, Krzyżak J, Kunicka-Styczyńska A, Świącik B, Stec R, Smykała K, Małkowski E, Sitko K. Sugar management and photosynthesis of sugar beet after infection by Cercospora beticola. Scientific Reports. 2025 Jun 3;15(1):19444. **Doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-03968-8**

Kaya G, Ergin N. Classification of red beet and sugar beet for drought tolerance using morpho-physiological and stomatal traits. PeerJ. 2025 Mar 21;13: e19133. **Doi: https://doi.org/10.7717/peerj.19133**

Nikzad S, Sharafi S, Hamze H, Mahmoodi TM, Yazdan Seta S. Investigating the effect of foliar spraying of zinc nanoparticles and biostimulants on modulating the effect of water deficit stress in sugar beet by using Integrated Biomarker Response Version 2. Scientific Reports. 2025 Oct 29;15(1):37780. **Doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-19912-9**

نشریه چغندرقند

Journal Home Page: https://jsb.areeo.ac.ir

ارزیابی واکنش هیبریدهای چغندرقند به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل به تنش و تجزیه خوشه‌ای

بهنام احمدی[۱]، محمد عبداللهیان نوقابی[۲*]، حسین حیدری شریف آباد[۳]، علی مختصی بیدگلی[۴]، رحیم محمدیان [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۲۲

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2026.373032.1411

ب. احمدی،م. عبداللهیان نوقابی، ح. حیدری شریف آباد، ع. مختصی بیدگلی، ر. محمدیان،۱۴۰۵. ارزیابی واکنش هیبریدهای چغندرقند به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل به تنش و تجزیه خوشه‌ای. **چغندرقند ۴۱(۲): ۲۰۹- ۲۳۴**

چکیده

کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید چغندرقند در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این مطالعه با هدف ارزیابی واکنش هیبریدهای چغندرقند به تنش خشکی و شناسایی هیبریدهای متحمل با کارایی مصرف آب بالا، با استفاده از شاخص تحمل به تنش (STI) و تجزیه خوشه‌ای انجام شد. آزمایش در دو سال زراعی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) در کرج در قالب طرح کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در دو سطح مطلوب (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) و محدود (آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و عامل فرعی شامل ۵۷ هیبرید به همراه ۷ رقم شاهد در سال اول و ۱۶ هیبرید گزینش‌شده سال اول به همراه ۴ رقم شاهد در سال دوم بود. اثر اصلی آبیاری بر عملکرد ریشه در هر دو سال معنی‌دار بود و کاهش ۴۱ و ۲۰ درصدی عملکرد ریشه را در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب در پی داشت، در حالی که درصد قند در شرایط تنش نسبت به مطلوب به ترتیب ۲۰ درصد (سال اول) و ۶ درصد (سال دوم) افزایش یافت، هرچند این افزایش فقط در سال اول معنی‌دار بود. اثر اصلی ژنوتیپ نیز بر عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند ناخالص و کارایی آب آبیاری در هر دو سال معنی‌دار بود. در ادامه اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص در هر دو سال معنی‌دار نگردید، اما بر محتوای سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در سال اول معنی‌دار بود. در شرایط تنش، محتوای سدیم ۲۷ درصد کاهش یافت. در حالی که پتاسیم و نیتروژن مضره تغییرات ناچیزی داشت. کارایی مصرف آب آبیاری در سال دوم در شرایط تنش نسبت به مطلوب به‌طور میانگین ۳۲ درصد افزایش نشان داد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که هیبریدهای S1-100* (7112*SB36) و S1-70* (7112*SB36) نیز با داشتن STI بالاتر از میانگین دو سالانه (به ترتیب با ۰/۹۷ و ۰/۹۶ در سال دوم) و قرارگیری پایدار در خوشه ژنوتیپ‌های متحمل در هر دو سال آزمایش، ضمن حفظ عملکرد ریشه و قند قابل رقابت با ارقام شاهد برتر (مانند ماندارین و پایا)، از کارایی مصرف آب آبیاری مطلوبی در شرایط محدودیت آب برخوردار بودند؛ بنابراین، استفاده از شاخص STI در کنار تحلیل خوشه‌ای، رویکردی مؤثر در گزینش هیبریدهای متحمل با بهره‌وری اقتصادی بالا ارائه می‌دهد و هیبریدهای معرفی‌شده می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های ارزشمند در برنامه‌های اصلاحی آینده برای کشت در مناطق مواجه با تنش کم‌آبی مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، درصد قند، عملکرد قند ناخالص، کارایی مصرف آب آبیاری

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، زراعی و بیوتکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

*- نویسنده مسئول: Noghabi@protonmail.com

۳. استاد گروه علوم باغبانی، زراعی و بیوتکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

٤. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مقدمه

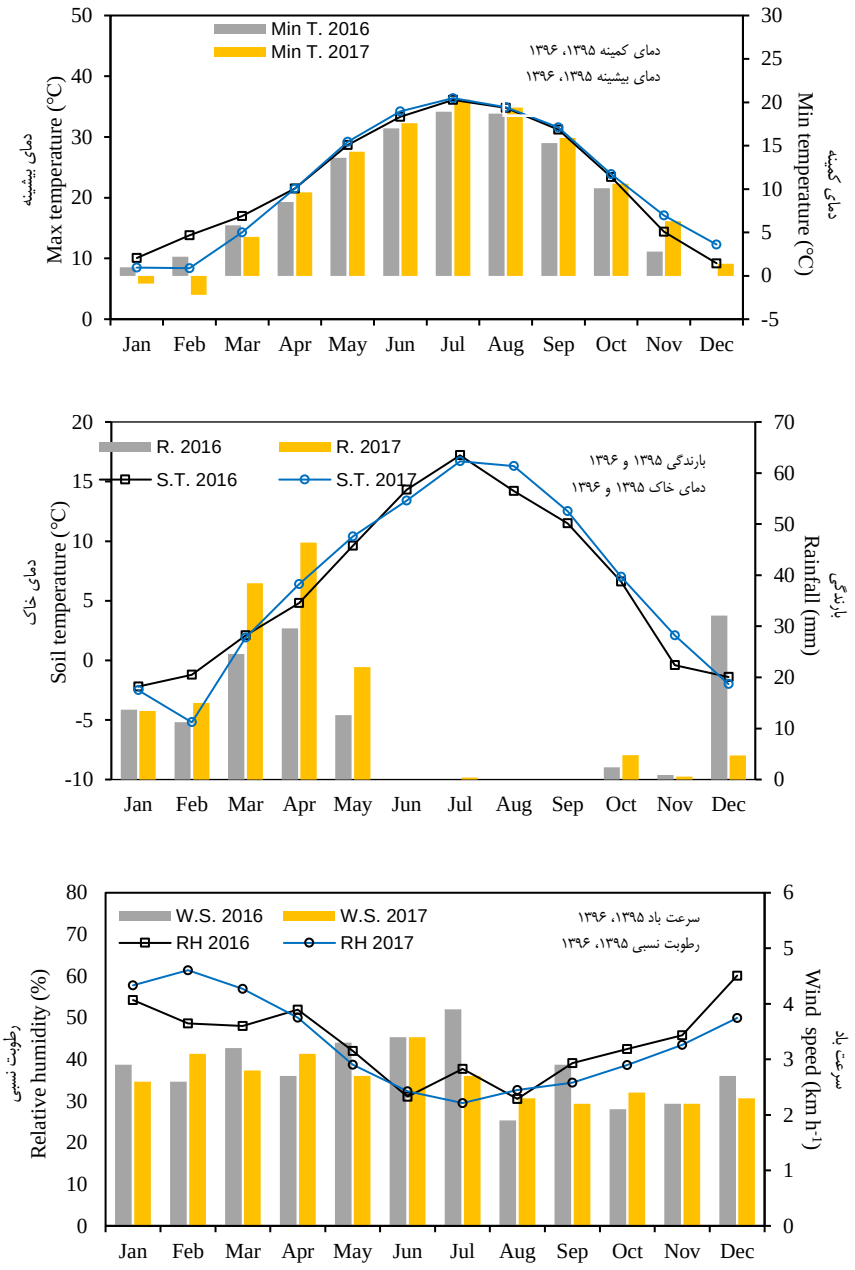
چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) به‌عنوان دومین منبع تولید شکر در جهان، نزدیک به یک‌پنجم از نیاز جهانی به این ماده را تأمین می‌کند و از این‌رو، جایگاهی حیاتی در امنیت غذایی و اقتصاد کشاورزی دارد (Baryga *et al*. 2025; Ghaffari 2021; Kaya and Ergin 2025). با این حال، تولید این محصول با چالش‌های متعددی روبرو است که در این میان، کم‌آبی یا تنش خشکی، مهم‌ترین عامل محدودکننده به شمار می‌رود (Nikzad *et al*. 2025). کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تهدیدات برای بهره‌وری محصولات کشاورزی و امنیت غذایی جهانی بوده و به دوره‌ای از کمبود آب اشاره دارد که بر نرخ رشد و بهره‌وری تولید تأثیر منفی می‌گذارد (Qiao *et al*. 2024). کم‌آبی با اعمال تغییرات گسترده فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه، از جمله بسته شدن روزنه‌ها و کاهش پتانسیل آب، با کاهش جذب دی‌اکسید کربن و مهار فرآیند فتوسنتز، تولید و تخصیص کربوهیدرات‌ها را مختل ساخته و در نهایت عملکرد ریشه را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Hosseini *et al*. 2019). فاطمی و کهراریان (Fatemi and Kahraryan 2025) گزارش کرده‌اند که اعمال تنش کم‌آبی (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) در مقایسه با شرایط مطلوب (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A)، به ترتیب عملکرد ریشه و قند ناخالص چغندرقند را به میزان ۲۷ و ۲۱ درصد کاهش داده است. همچنین نیکزاد و همکاران (Nikzad *et al*. 2025) به کاهش ۱۷ درصدی عملکرد ریشه در اثر کم‌آبی اشاره کرده‌اند، هرچند که اثر آن بر درصد قند را معنی‌دار نیافته‌اند.

با توجه به پیش‌بینی‌های تغییرات اقلیمی که حاکی از تابستان‌های گرم‌تر و خشک‌تر در بسیاری از مناطق تولید چغندرقند است و نیز کاهش روزافزون سطح آب‌های زیرزمینی ناشی از مصرف بی‌رویه در کشاورزی فاریاب، لذا رسیدگی به چالش‌های فزاینده ناشی از کم‌آبی در کشاورزی، نیازمند رویکردی چندوجهی با نوآوری‌های ژنتیکی، بیوتکنولوژیکی، زراعی و فناوری می‌باشد (Barratt *et al*. 2023; Franco-Navarro *et al*. 2025; Wang *et al*. 2024). در این راستا بهبود نرخ بهره‌برداری مؤثر از آب کشاورزی و منطقی‌سازی استفاده از منابع آب در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است (Yang *et al*. 2022). یکی از راهکارهای عملی در این زمینه، استفاده از استراتژی کم‌آبیاری است؛ هرچند که این روش به‌ناچار با کاهش عملکرد همراه است؛ اما اگر بتوان از طریق برنامه‌های اصلاحی، ژنوتیپ‌هایی را شناسایی و معرفی کرد که در عین تحمل به کم‌آبی در مراحل کلیدی رشد، کارایی مصرف آب بالایی داشته باشند، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در منابع آبی، امید به توسعه پایدار کشاورزی را افزایش داد (Ilkaee *et al*. 2016). کومار و همکاران (Kumar *et al*. 2017) نیز تأکید کرده‌اند که اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی را می‌توان با توسعه گیاهان زراعی با تحمل بهتر به کم‌آبی با استفاده از رویکردهای مختلف ژنتیکی کاهش داد. در این راستا طالقانی و همکاران (Taleghani *et al*. 2010) بیان نموده‌اند که استفاده از ژرم‌پلاسم چغندرقند علوفه‌ای که توانایی بیشتری در تولید ریشه در شرایط محدودیت آب دارد، می‌تواند راهگشای دستیابی به پیشرفت‌های مطلوب در تحمل به کم‌آبی باشد. همچنین روگرو و همکاران (Ruggiero *et al*. 2017) اشاره کرده‌اند که در سال‌های اخیر، ارقام جدید زراعی با بهبود در تحمل به کم‌آبی و کارایی مصرف آب، از طریق روش‌های اصلاحی مرسوم و انتخاب به کمک نشانگرهای مولکولی توسعه یافته‌اند؛ بنابراین، با توجه به چالش‌های فزاینده کم‌آبی و ضرورت بهره‌وری پایدار از منابع آب در کشاورزی، مطالعه حاضر با هدف شناسایی و معرفی هیبریدهای امیدبخش چغندرقند انجام شد که نه‌تنها از تحمل نسبی به تنش خشکی برخوردار باشند، بلکه با دارا بودن کارایی مصرف آب بالا، عملکرد اقتصادی قابل‌قبولی را نیز در شرایط آبیاری محدود فراهم آورند. بدین منظور، با به‌کارگیری شاخص STI و تحلیل خوشه‌ای، هیبریدهای برتر بر اساس صفات کلیدی از جمله عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری، در دو سال زراعی جداگانه ارزیابی و گزینش شدند.

مواد و روش‌ها

ارزیابی مقدماتی

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات چغندرقند مهندس مطهری (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) وابسته به مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند با آب‌وهوای نیمه‌خشک و میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. داده‌های هواشناسی شامل دمای بیشینه و کمینه (شکل ۱ الف)، دمای خاک و بارندگی (شکل ۱ ب) و رطوبت نسبی و سرعت باد (شکل ۱ ج) برای هر دو سال در طول این آزمایش از نزدیک‌ترین ایستگاه تهیه گردید.



شکل ۱ داده‌های هواشناسی شامل دمای بیشینه و کمینه (الف)، دمای خاک و میزان بارندگی (ب) و رطوبت نسبی و سرعت باد (ج) طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در محل آزمایش، کرج، ایران

Figure 1 Meteorological data including maximum and minimum temperatures (a), soil temperature and rainfall (b), and relative humidity and wind speed (c) during 2016-2017 at the experimental site in Karaj, Iran.

برای تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین نیازهای غذایی گیاه قبل از کاشت، نمونه‌برداری خاک از اعماق (۰–۳۰ سانتی‌متر) و (۳۰–۶۰ سانتی‌متر) انجام شد (جدول ۱). در آماده‌سازی زمین آزمایشی، پس از شخم، کوددهی بر اساس نتایج آزمایش خاک صورت گرفت؛ بنابراین، تمام فسفر، پتاسیم و یک‌سوم نیتروژن مورد نیاز (اوره) قبل از کاشت در مرحله شخم به خاک اضافه شد. همچنین، بقیه کود نیتروژن پس از تُنک کردن به‌صورت مساوی در دو مرحله (با استفاده از روش کودآبیاری) به خاک اضافه گردید. آزمایش طرح کرت‌های خردشده بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. در سال اول زراعی (۱۳۹۵) عامل آبیاری با دو سطح آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر (آبیاری مطلوب) و آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A (آبیاری محدود) در کرت‌های اصلی و هیبریدها شامل ۵۷ هیبرید تست‌کراس منوژرم (حاصل از پروژه انتخاب دوره‌ای و ایجاد هیبریدهای تست‌کراس برای تهیه لاین‌های دیپلوئید گرده‌افشان متحمل به کم‌آبی در چغندرقند) به همراه هفت رقم شاهد (پایا، جلگه، Mandarin، SC (7112*SB36)، Parental pop، IR7، Futura) در کرت‌های فرعی از لحاظ تحمل به کم‌آبی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به دلیل تنوع ژنتیکی بالا و محدودیت در بذور مورد آزمایش، هر کرت فرعی شامل یک ردیف کاشت به طول هشت متر و فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود.

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی خاک در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Table 1 Physico-chemical properties of the soil in 2016 and 2017

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی Physico-chemical properties	سال Year 2016		2017	
	عمق Depth (cm) 0-30	30-60	0-30	30-60
پتاسیم K (mg kg^{-1})	566	535	251	231
فسفر P (mg kg^{-1})	31.4	12.2	7	5.5
نیترات NO3 (ppm)	7.3	5.3	4.3	4.6
آمونیوم NH4 (ppm)	18.2	20.3	21.7	17.5
هدایت الکتریکی EC (ms cm^{-1})	1.1	1.3	2.1	1.7
محتوای ماده آلی Organic matter (%)	0.8	0.8	0.7	0.7
اسیدیته pH	8.08	8.11	7.32	7.44
ماسه Sand (%)	38	40	24	26
سیلت Silt (%)	36	34	47	45
رس Clay (%)	26	26	29	29
بافت خاک Soil texture	لوم Loam	لوم Loam	لوم رسی Clay-loam	لوم رسی Clay-loam

پس از کاشت، آبیاری تا مرحله تُنک و وجین کردن (استقرار بوته‌ها) بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر (کلاس A) و بدون ایجاد تنش کم‌آبی در هر دو سطح تیمار آبیاری ادامه یافت. پس از این مرحله، آبیاری بر اساس رژیم‌های آبیاری (مطلوب و تنش) انجام شد. همچنین در طول دوره رشد چندین مرحله مبارزه شیمیایی علیه آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مزرعه صورت گرفت. در

پایان دوره رشد با برداشت و سرزنی ریشه‌های هر کرت آزمایشی، شمارش و توزین آن‌ها صورت گرفت و پس از شستشوی ریشه‌ها سدیم و پتاسیم با روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری و نیتروژن مضره با روش عدد آبی OPA تعیین شد (Burba and Georgi 1975). شاخص STI هیبریدها با روش فرناندز (Fernandez 1992) محاسبه شد (رابطه ۱) و در نهایت، با توجه به حجم آب مصرفی (تیمارهای آبیاری مطلوب ۱۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار و در آبیاری محدود ۷۸۶۰ مترمکعب در هکتار) کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) بر اساس کیماز و ارتک (Kiymaz and Ertek 2015) در رابطه (۲) محاسبه گردید. لازم به ذکر است در رابطه (۱) Y_P و Y_S به ترتیب عملکرد هر هیبرید در شرایط مطلوب و تنش، $\overline{Y_P}^2$ میانگین عملکرد همه هیبریدها و ارقام در شرایط مطلوب بوده و مبنای محاسبه، عملکرد ریشه هیبریدها بود. همچنین در رابطه (۲) (IWUE) کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، (SY) عملکرد قند ناخالص (کیلوگرم)، (I) حجم آب آبیاری (مترمکعب) بود.

$$STI = (Y_P \times Y_S) \div \overline{Y}_P^2 \qquad \text{رابطه۱}$$

$$IWUE = \frac{SY}{I} \qquad \text{رابطه۲}$$

ارزیابی تکمیلی

در سال دوم زراعی (۱۳۹۶) نیز داده‌های هواشناسی شامل دمای بیشینه و کمینه (شکل ۱ الف)، دمای خاک و بارندگی (شکل ۱ ب) و رطوبت نسبی و سرعت باد (شکل ۱ ج) تهیه گردید. نمونه‌برداری خاک و آماده‌سازی زمین آزمایشی مطابق با سال اول آزمایش و کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و به روش سال اول صورت پذیرفت. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید که در آن آبیاری در دو سطح مطلوب و تنش در کرت‌های اصلی و ۱۶ هیبرید متحمل به تنش کم‌آبی (گزینش‌شده بر اساس آزمون شاخص STI در سال اول زراعی و همچنین با توجه به اهداف موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند)، به همراه چهار رقم شاهد (ماندارین، IR7، جلگه، و تهیه خمیر، درصد قند با روش پلاریمتری و طبق روش ایکومسا (Anonymous 1994)، ناخالصی‌های ریشه شامل پایا) (گزینش‌شده بر اساس بالاترین شاخص STI در میان شاهدها)، به‌صورت تصادفی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت فرعی نیز شامل سه ردیف کاشت (عدم محدودیت بذور سال دوم و افزایش دقت آزمایش بر اساس منابع قابل کنترل) به طول هشت متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود.

پس از کاشت، آبیاری در دو سطح (مطلوب و تنش) تا مرحله تُنک و وجین (استقرار بوته‌ها) به‌طور معمول و پس از آن بر اساس نوع تیمار و میزان تبخیر از تشتک تبخیر (کلاس A) انجام شد. در طول فصل رشد علاوه بر مبارزه شیمیایی با آفات، بیماری و علف‌های هرز مزرعه آزمایشی، نمونه‌برداری از برگ (در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی)، برای ارزیابی محتوای کلروفیل و کاروتنوئید انجام گردید (Lichtenthaler 1987). در زمان برداشت، تعداد و وزن ریشه‌ها با برداشت از ردیف‌ها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین میزان وزن‌تر ریشه‌های برداشت‌شده و خمیرگیری آن‌ها در آزمایشگاه، درصد قند طبق روش ایکومسا (Anonymous 1994)، ناخالصی‌های ریشه شامل سدیم و پتاسیم با روش فلیم فتومتری و نیتروژن مضره با روش عدد آبی OPA تعیین شد. به‌علاوه شاخص STI از رابطه ۱ و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) با توجه به حجم آب مصرفی (تیمارهای آبیاری مطلوب ۱۲۸۵۰ مترمکعب در هکتار و در آبیاری محدود ۸۳۴۰ مترمکعب در هکتار) از رابطه ۲ محاسبه شد.

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه و مقایسه میانگین هیبریدهای مورد ارزیابی بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ انجام گردید. علاوه بر این، از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ برای تجزیه خوشه‌ای استفاده شد. با استفاده از یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر روش پیوند کامل یا دورترین همسایه، دو دندروگرام (با استفاده از مقادیر سه صفت عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری) پس از استانداردسازی واحدها برای ژنوتیپ‌ها در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش رسم شد.

نتایج

ارزیابی مقدماتی

عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد قند ناخالص

در سال اول آزمایش، عملکرد ریشه به ترتیب تحت تأثیر عامل‌های آبیاری و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج و یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). میانگین عملکرد ریشه در شرایط آبیاری مطلوب ۵۸/۵۲ تن در هکتار بود که با اعمال محدودیت آبیاری، این مقدار به ۳۵/۵۰ تن در هکتار کاهش یافت. بیشترین عملکرد ریشه در رقم شاهد جلگه (۶۸/۶۱ تن در هکتار) مشاهده شد. هیبرید S1-56* (7112*SB36) با تولید ۳۱/۰۵ تن در هکتار عملکرد ریشه، در رتبه آخر قرار گرفت (جدول ۳).

در ادامه اثرات اصلی آبیاری و ژنوتیپ و همچنین اثرات متقابل آن‌ها به‌ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد بر درصد قند معنی‌دار بود (جدول ۲). در آبیاری مطلوب، هیبریدهای S1-55* (7112*SB36) و S1-94* (7112*SB36) به ترتیب با ۱۴/۳ و ۱۴/۲ درصد بیشترین درصد قند را داشتند و با اکثر هیبریدهای دیگر (۳۹ هیبرید) تفاوت معنی‌داری نداشتند. برخلاف شرایط مطلوب، در آبیاری محدود، دو تیمار شاهد ماندارین و فوتورا، بیشترین درصد قند (به ترتیب ۱۷/۵ و ۱۷/۳ درصد) را تولید کردند و هیبرید S1-28* (7112*SB36) و تیمار شاهد IR7 در یک گروه آماری با فوتورا قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین مطابق با نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر ژنوتیپ بر عملکرد قند ناخالص در سطح آماری ($p< 0.01$) معنی‌دار گردید (جدول ۲). رقم شاهد ماندارین (۸/۶۸ تن در هکتار) بالاترین عملکرد قند ناخالص را به خود اختصاص داد، هرچند با سه شاهد (جلگه، Futura، IR7) و هفت هیبرید دیگر در یک گروه آماری بوده و فاقد تفاوت آماری معنی‌دار با آنها بود. همچنین کمترین مقدار عملکرد قند ناخالص را هیبرید S1-56*(7112*SB36) با میانگین عملکرد ۴/۰۴ تن در هکتار داشت (جدول ۳).

کارایی مصرف آب آبیاری

در خصوص کارایی مصرف آب آبیاری، تنها اثر ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری از رقم ماندارین (۰/۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب) حاصل شد، در حالی که تفاوت آماری معنی‌داری بین تمام تیمارهای شاهد و همچنین چهار هیبرید S1-44* (7112*SB36) (۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب)، S1-05* (7112*SB36) (۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب)، S1-26* (7112*SB36) (۰/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب) و S1-13* (7112*SB36) (۰/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب) وجود نداشت (جدول ۳).

ناخالصی‌های ریشه

در سال اول آزمایش اثرات تیمار آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آنها بر میزان سدیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در خصوص پتاسیم، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردیده و در خصوص میزان نیتروژن، تنها اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، شرایط تنش آبی در مقایسه با شرایط مطلوب، به میزان (۲۸ درصد) از سدیم پایین‌تری برخوردار بود (جدول ۴). کمترین میزان سدیم در شرایط تنش مربوط به رقم فوتورا (۲/۵۴ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) بود، هرچند با تیمار شاهد (Parental pop) و هشت هیبرید دیگر (7112*SB36)*S1-40، (7112*SB36)*S1-12، (7112*SB36)*S1-28، (7112*SB36)*S1-63، (7112*SB36)*S1-02، (7112*SB36)*S1-55، (7112*SB36)*S1-20، (7112*SB36)*S1-03) در یک گروه آماری قرار داشته و فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود. در شرایط مطلوب نیز کمترین میزان سدیم را هیبرید S1-19*(7112*SB36) با (۴/۵۰ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) داشت، اگرچه با سه شاهد (جلگه، پایا، فوتورا) و ۲۲ هیبرید دیگر در یک گروه آماری قرار گرفت.

در خصوص پتاسیم میزان این عنصردر شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب روندی افزایشی داشته است. کمترین میزان پتاسیم در شرایط مطلوب از هیبرید S1-10*(7112*SB36) با (۴/۸۰ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) حاصل شد، در حالی که

با چهار شاهد (IR7، SC (7112*SB36)، Parental pop، فوتورا) و ۳۶ هیبرید دیگر فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود. بعلاوه، در شرایط تنش آبی کمترین میزان پتاسیم را شاهد ماندارین با (۴/۳۶ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) به خود اختصاص داد در حالی که با چهار شاهد (جلگه، فوتورا، Parental pop، SC (7112*SB36)) و دو هیبرید (7112*SB36)*S1-54)، (7112*SB36)*S1-22) در یک گروه آماری قرار گرفته و فاقد تفاوت معنی‌دار گردید (جدول ۴). مطابق با نتایج مقایسه میانگین، میزان نیتروژن در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب روندی افزایشی داشته است، هرچند این روند بسیار کم بوده است.

کمترین میزان نیتروژن در شرایط مطلوب را هیبرید (7112*SB36)*S1-86 با (۳/۲۲ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) داشت، اگرچه با دو شاهد (IR7، Parental pop) و ۳۲ هیبرید دیگر در یک گروه آماری قرار گرفت. در شرایط تنش آبی کمترین میزان نیتروژن مربوط به هیبرید (7112*SB36)*S1-38) با (۳/۴۶ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) بود در حالی که با ۳۰ هیبرید دیگر و تمامی شاهدها به جز (7112*SB36) SC در یک گروه آماری بدون تفاوت معنی داری قرارگرفت (جدول ۴).

جدول ۲ تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر صفات عملکرد ریشه، محتوای قند، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری گیاه چغندرقند در سال ۱۳۹۵

Table 2 Analysis of variance (mean square) of the effects of irrigation and genotype on root yield, sugar content, sugar yield, root impurities, and irrigation water use efficiency (IWUE) of sugar beet in 2016 ۱۳۹۵

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)						
		عملکرد ریشه Root yield	محتوای قند Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن N	کارایی مصرف آب آبیاری IWUE
بلوک Block	3	2064.57	25.43	48.41	0.75	10.34	49.67	0.79
آبیاری Irrigation (I)	1	73867.74*	810.93**	583.41ns	338.61**	3.48ns	1.37ns	0.66ns
خطای ۱ Error 1	3	2861.34	0.45	61.52	0.80	2.83	28.50	0.93
ژنوتیپ Genotype (G)	63	298.64**	2.87**	6.42**	1.66**	0.77**	1.33ns	0.07**
اثرمتقابل آبیاری*ژنوتیپ (I)*(G)	63	174.12ns	2.05*	3.14ns	2.95**	0.83**	1.77*	0.03ns
خطای Error	378	166.89	1.46	3.11	0.74	0.47	1.20	0.03
ضریب تغییرات (%) CV	-	27.77	8.79	28.44	16.74	12.02	22.84	28.60

ns نشان‌دهنده تفاوت‌های غیرمعنی‌داراست، در حالی که علائم *، ** به ترتیب معنی‌داری درسطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ را نشان می‌دهند.

ns indicates non-significant differences, whereas *and** indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۳ عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) هیبریدها و ارقام چغندرقند و شاخص تحمل به تنش (STI) در سال ۱۳۹۵

Table 3 Root yield, sugar content, sugar yield, and irrigation water use efficiency (IWUE), and stress tolerance index (STI) of sugar beet hybrids and cultivars in 2016

آبیاری Irrigation (I)	عملکرد ریشه Root yield ($t\ ha^{-1}$)		درصد قند Sugar content (%)		عملکرد قند ناخالص Sugar yield ($t\ ha^{-1}$)		کارایی مصرف آب آبیاری IWUE ($kg\ m^{-3}$)		شاخص تحمل به تنش STI
	مطلوب Normal	تنش Stress	مطلوب Normal	تنش Stress	مطلوب Normal	تنش Stress	مطلوب Normal	تنش Stress	
	58.52a	35.50b	12.48b	14.99a	7.27a	5.14a	0.582 a	0.654 a	
هیبرید Hybrid (H)									
(7112*SB36)*S1-28	41.75 f-o		12.3 a-j	16.2 bc	5.72 f-n		0.566 f-n		0.46
(7112*SB36)*S1-55	38.90 i-o		14.3 a	15.8 c-h	5.69 f-n		0.568 f-n		0.43
(7112*SB36)*S1-49	52.36 a-h		11.3 g-j	14.9 e-p	6.61 c-i		0.671 c-k		0.76
(7112*SB36)*S1-12	41.41 f-o		11.8 d-j	15.9 c-g	5.34 h-n		0.510 j-o		0.39
(7112*SB36)*S1-48	48.18 c-m		11.7 e-j	14.8 e-p	6.20 c-k		0.631 c-k		0.65
(7112*SB36)*S1-45	43.07 f-o		11.4 g-j	14.1 m-p	5.30 h-n		0.524 i-o		0.49
(7112*SB36)*S1-44	57.95 abc		12.5 a-j	14.6 h-p	7.65 a-c		0.760 a-d		0.92
(7112*SB36)*S1-39	46.16 c-m		12.7 a-i	15.2 c-o	6.17 c-k		0.605 c-m		0.57
(7112*SB36)*S1-21	50.55 a-i		12.6 a-j	15.0 d-o	6.7 c-i		0.655 c-k		0.67
(7112*SB36)*S1-42	49.86 a-j		13.4 a-f	14.4 j-p	6.96 a-h		0.704 c-h		0.71
(7112*SB36)*S1-77	48.05 c-m		11.6 e-j	15.0 d-o	6.06 c-m		0.606 c-m		0.62
(7112*SB36)*S1-86	48.39 b-l		12.0 c-j	14.6 h-p	6.44 c-j		0.664 c-k		0.68
(7112*SB36)*S1-40	43.25 e-o		13.0 a-h	14.9 e-p	5.83 d-m		0.571 f-n		0.50
(7112*SB36)*S1-38	37.82 j-o		11.8 d-j	14.6 h-p	4.85 j-n		0.499 k-o		0.41
(7112*SB36)*S1-18	45.32 c-m		12.6 a-j	15.0 c-o	6.07 c-l		0.590 d-m		0.53
(7112*SB36)*S1-20	41.02 g-o		12.6 a-j	15.4 c-l	5.62 g-n		0.566 f-n		0.47
(7112*SB36)*S1-26	52.80 a-h		13.7 a-d	15.2 c-m	7.55 a-d		0.735 a-f		0.74
(7112*SB36)*S1-36	48.82 b-k		12.3 a-j	15.3 c-m	6.4 c-j		0.616 c-l		0.58
(7112*SB36)*S1-46	44.50 d-n		10.8 ij	14.5 j-p	5.34 h-n		0.528 i-o		0.51
(7112*SB36)*S1-69	45.59 c-m		11.7 d-j	13.7 p	5.74 f-n		0.575 e-n		0.58
(7112*SB36)*S1-57	48.48 b-k		11.9 c-j	14.0 op	6.23 c-k		0.618 c-l		0.64
(7112*SB36)*S1-17	49.20 a-k		14.0 ab	15.3 c-l	7.09 a-g		0.694 c-i		0.65
(7112*SB36)*S1-31	35.48 mno		10.6 j	14.6 h-p	4.33 mn		0.448 l-o		0.36
(7112*SB36)*S1-02	36.63 k-o		13 a-h	15.5 c-k	5.08 i-n		0.513 j-o		0.38
(7112*SB36)*S1-05	53.62 a-g		13.3 a-g	14.5 j-p	7.39 a-f		0.758 a-d		0.83
(7112*SB36)*S1-06	32.02 no		13.5 a-f	14.2 l-p	4.36 l-n		0.410 n-o		0.25
(7112*SB36)*S1-94	42.34 f-o		14.2 a	15.8 c-h	6.27 c-k		0.615 c-l		0.48
(7112*SB36)*S1-93	46.32 c-m		12.3 a-j	14.4 j-p	6.03 c-m		0.576 e-n		0.53
(7112*SB36)*S1-56	31.05 o		13.0 a-h	14.5 j-p	4.04 n		0.389 o		0.24
(7112*SB36)*S1-08	49.41 a-j		12.7a-i	14.9e-p	6.65 c-i		0.670 c-k		0.68
(7112*SB36)*S1-22	45.46 c-m		12.2b-j	14.7g-p	5.96 c-m		0.598 d-m		0.57
(7112*SB36)*S1-77	45.25 c-m		11.5f-j	15.4c-l	5.71 f-n		0.553 g-o		0.50
(7112*SB36)*S1-89	45.11 d-m		13.6a-e	14.9e-p	6.29 c-k		0.609 c-m		0.54
(7112*SB36)*S1-19	48.20 c-l		11.3 g-j	14.8 e-p	6.03 c-m		0.603 c-m		0.62
(7112*SB36)*S1-37	44.73 d-m		12.9 a-h	14.7 g-p	6.07 c-m		0.576 e-n		0.48
(7112*SB36)*S1-32	43.43 e-o		12.6 a-j	14.5 i-p	5.79 e-m		0.571 f-n		0.51
(7112*SB36)*S1-54	43.00 f-o		11.4 g-j	15.2 c-o	5.49 g-n		0.551 h-o		0.50
(7112*SB36)*S1-53	47.68 c-m		12.7 a-i	15.0 d-o	6.43 c-j		0.638 c-k		0.62
(7112*SB36)*S1-92	49.88 a-j		11.9 c-j	14.6 h-p	6.44 c-j		0.656 c-k		0.71
(7112*SB36)*S1-66	51.13 a-i		12.1 b-j	14.0 n-p	6.52 c-j		0.645 c-k		0.71
(7112*SB36)*S1-10	45.88 c-m		12.7 a-i	15.2 c-n	6.25 c-k		0.630 c-k		0.59
(7112*SB36)*S1-76	41.38 f-o		12.9 a-h	15.5 c-j	5.69 f-n		0.543 h-o		0.42
(7112*SB36)*S1-100	50.20 a-j		12.3 a-j	14.8 e-p	6.64 c-i		0.668 c-k		0.70
(7112*SB36)*S1-13	55.89 a-e		12.3 a-j	14.1 m-p	7.36 a-f		0.734 a-f		0.86
(7112*SB36)*S1-63	47.48 c-m		11.7 d-j	15.9 c-g	6.07 c-l		0.580 e-n		0.52
(7112*SB36)*S1-90	43.79 d-n		12.3 a-j	15.3 c-m	5.87 d-m		0.607 c-m		0.55
(7112*SB36)*S1-84	47.96 c-m		11.3 g-j	14.8 e-p	6.01c-m		0.604 c-m		0.63
(7112*SB36)*S1-61	45.82 c-m		12.7 a-i	14.6 h-p	6.18 c-k		0.615 c-l		0.58
(7112*SB36)*S1-15	46.30 c-m		12.4 a-j	15.9 c-g	6.63 c-i		0.695 c-i		0.63
(7112*SB36)*S1-04	53.80 a-f		11.1 h-j	15.7 c-i	6.57 c-j		0.638 c-k		0.70
(7112*SB36)*S1-73	46.39 c-m		12.1 b-j	14.7 g-p	6.00 c-m		0.601 c-m		0.60
(7112*SB36)*S1-16	35.72 l-o		12.2 b-j	16.0 c-f	4.65 k-n		0.441 m-o		0.28
(7112*SB36)*S1-71	38.68 i-o		13.1 a-h	14.7 f-p	5.33 h-n		0.544 h-o		0.43
(7112*SB36)*S1-70	56.43 a-d		12.6 a-j	14.0 op	7.36 a-f		0.729 b-f		0.87
(7112*SB36)*S1-03	40.62 h-o		14.1 ab	15.5 c-k	5.72 f-n		0.571 f-n		0.45
(7112*SB36)*S1-72	51.87 a-h		12.7 a-i	14.3 k-p	6.86 c-h		0.678 c-j		0.73
(7112*SB36)*S1-88	44.50 d-n		12.7 a-i	14.4 j-p	5.96 c-m		0.596 d-m		0.55
SC (7112*SB36)	46.14 c-m		12.6 a-j	14.4 j-p	6.06 c-m		0.590 d-m		0.58
Paya	51.66 -h		12.6 a-j	14.5 j-p	6.92 b-h		0.725 b-g		0.78
IR7	51.63 a-h		13.5 a-f	16.2 b-d	7.54 a-d		0.773 a-c		0.76
Mandarin	60.91 ab		12.1 b-j	17.5 a	8.68 a		0.903 a		1.05
Parental pop	47.09 c-m		12.4 a-j	16.0 c-e	6.25 c-k		0.610 c-m		0.55
Futura	50.41 a-j		13.5 a-f	17.3 ab	7.49 a-e		0.746 a-e		0.68
Jolgeh	61.68 a		13.9 a-c	14.6 h-p	8.66 ab		0.879 ab		1.10

مقادیر داخل ستون و هر عامل آزمایشی که با حروف متفاوت دنبال می‌شوند، طبق آزمون LSD تفاوت معنی‌دار دارند ($P \leq 0.05$).

Values within each column and for each experimental factor followed by different letters, are significantly different according to the LSD test at $P \leq 0.05$.

جدول ۴ ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن) هیبریدها و ارقام چغندرقند در سال ۱۳۹۵

Table 4 Root impurities (sodium, potassium, and nitrogen) of sugar beet hybrids and cultivars in 2016

	سدیم Na^+		پتاسیم K^+		نیتروژن N	
	(mmol 100 g-1 root)					
آبیاری Irrigation (I)	مطلوب Normal	تنش Stress	مطلوب Normal	تنش Stress	مطلوب Normal	تنش Stress
	5.96 a	4.34 b	5.67 a	5.83 a	4.75 a	4.86 a
هیبرید Hybrid (H)						
(7112*SB36)*S1-28	6.53 c-k	3.13 n-r	5.7 a-k	5.57 g-n	4.68 a-j	5.52 a-g
(7112*SB36)*S1-55	4.75 p-r	3.48 k-r	6.05 a-i	5.56 g-n	5.96 a	3.77 j-m
(7112*SB36)*S1-49	7.06 a-e	4.42 e-m	5.92 a-i	5.59 g-n	4.53 a-j	4.62 a-m
(7112*SB36)*S1-12	7.85 a	2.99 o-r	5.38 f-k	6.09 a-l	4.49 a-j	4.59 a-m
(7112*SB36)*S1-48	7.83 ab	3.97 h-p	4.82 j-k	6.16 a-j	3.84 h-j	4.69 a-m
(7112*SB36)*S1-45	7.45 a-c	4.70 c-j	5.33 f-k	6.76 a-c	4.31 b-j	5.39 a-i
(7112*SB36)*S1-44	5.01 m -r	4.72 c-j	5.53 c-k	5.46 h-n	5.63 a-d	4.52 a-m
(7112*SB36)*S1-39	5.79 e-q	4.38 e-m	5.68 b-k	5.67 g-m	5.39 a-g	4.11 g-m
(7112*SB36)*S1-21	6.15 d-n	4.89 b-i	5.57 b-k	6.33 a-h	5.19 a-h	4.33 e-m
(7112*SB36)*S1-42	6.25 c-m	4.4 e-m	5.56 c-k	5.68 f-m	4.67 a-j	4.64 a-m
(7112*SB36)*S1-77	5.37 j-r	4.70 c-j	5.51 c-k	5.45 h-n	4.10 d-j	4.52 a-m
(7112*SB36)*S1-86	5.47 i-r	4.51 d-l	5.38 f-k	5.56 g-n	3.22 j	5.25 a-k
(7112*SB36)*S1-40	6.85 a-h	2.80 qr	5.60 b-k	5.44 h-n	5.21 a-h	3.83 j-m
(7112*SB36)*S1-38	5.05 m -r	5.18 a-e	6.54 ab	5.31i-n	5.70 a-c	3.46 m
(7112*SB36)*S1-18	5.97 d-p	4.55 d-k	5.59 b-k	5.76 d-m	5.49 a-e	5.06 a-l
(7112*SB36)*S1-20	4.74 p-r	3.49 k-r	5.21 h-k	5.77 d-m	4.66 a-j	4.52 a-m
(7112*SB36)*S1-26	6.39 c-l	4.06 e-o	6.67 a	6.23 a-i	5.43 a-f	4.98 a-m
(7112*SB36)*S1-36	5.18 l-r	4.28 e-m	6.06 a-i	5.56 g-n	5.29 a-h	4.98 a-m
(7112*SB36)*S1-46	5.34 j-r	4.55 d-k	5.36 f-k	6.15 a-j	4.35 b-j	4.38 d-m
(7112*SB36)*S1-69	6 d-p	6.07 a	6.42 a-d	6.83 ab	5.04 a-i	5.44 a-h
(7112*SB36)*S1-57	6.03 d-o	5.56 a-d	6.02 a-i	6.69 a-d	5.38 a-h	5.50 a-h
(7112*SB36)*S1-17	4.84 o-r	4.76 b-i	5.59 b-k	6.29 a-h	5.66 a-c	5.83 a-f
(7112*SB36)*S1-31	5.57 h-r	3.92 h-q	5.59 b-k	5.88 b-m	3.86 g-j	5.17 a-l
(7112*SB36)*S1-02	6.97 a-g	3.41 l-r	5.93 a-i	5.91 b-m	5.01 a-i	4.89 a-m
(7112*SB36)*S1-05	5.75 f-r	4.77 b-i	5.63 b-k	5.76 d-m	4.74 a-j	5.09 a-l
(7112*SB36)*S1-06	5.96 d-p	4.06 f-o	6.23 a-f	5.52 g-n	4.59 a-j	4.13 g-m
(7112*SB36)*S1-94	6.11 d-o	3.93 h-p	5.28 f-k	5.53 g-n	4.46 a-j	4.60 a-m
(7112*SB36)*S1-93	5.78 f-r	5.85 ab	5.84 a-i	6.33 a-h	4.59 a-j	4.68 a-m
(7112*SB36)*S1-56	5.71 g-r	4.76 b-i	5.77 a-k	5.87 c-m	4.47 a-j	5.89 a-d
(7112*SB36)*S1-08	5.94 e-p	3.94 h-p	5.61 b-k	5.72 e-m	5.27 a-h	4.59 a-m
(7112*SB36)*S1-22	6.82 a-h	4.48 d-l	5.43 e-k	5.28 j-o	4.23 c-j	5.96 ab
(7112*SB36)*S1-77	6.84 a-h	4.53 d-l	5.53 c-k	6.20 a-j	4.27 b-j	4.77 a-m
(7112*SB36)*S1-89	4.55 q-r	5.80 a-c	5.21 h-k	5.50 g-n	4.62 a-j	4.32 f-m
(7112*SB36)*S1-19	4.50 r	4.53 d-l	5.51 c-k	6.02 a-m	4.61 a-j	5.25 a-j
(7112*SB36)*S1-37	6.26 c-m	4.40 e-m	6 a-i	6.91 a	5.33 a-h	5.61 a-g
(7112*SB36)*S1-32	5.96 d-p	4.57 d-k	5.46 d-k	6.66 a-e	4.11 d-j	5.52 a-g
(7112*SB36)*S1-54	5.95 e-p	3.92 h-p	6 a-i	5.16 m-o	4.80 a-i	4.96 a-m
(7112*SB36)*S1-53	7.24 a-d	5.09 a-g	5.61 b-k	5.62 g-m	4.92 a-i	5.50 a-h
(7112*SB36)*S1-92	6.37 c-l	4.18 e-n	5.89 a-i	5.53 g-n	4.62 a-j	4.39 d-m
(7112*SB36)*S1-66	5.15 l-r	5.14 a-f	5.21 h-k	6.63 a-f	4.39 b-j	4.98 a-m
(7112*SB36)*S1-10	5.26 k-r	4.98 a-h	4.80k	5.91 b-m	3.59 ij	5.24 a-k
(7112*SB36)*S1-76	5.16 l-r	4.97 a-h	5.35 f-k	6.06 a-m	4.83 a-i	5.94 a-c
(7112*SB36)*S1-100	6.47 c-k	4.21 e-n	6.13 a-h	5.99 a-m	5.52 a-e	5.47 a-h
(7112*SB36)*S1-13	6.28 c-m	5.70 a-c	5.79 a-j	5.51 g-n	5.14 a-h	4.55 a-m
(7112*SB36)*S1-63	5.85 e-p	3.31 m-r	5.94 a-i	5.81 c-m	4.57 a-j	5.44 a-h
(7112*SB36)*S1-90	6.04 d-o	3.90 h-q	5.47 d-k	5.64 g-m	4.27 b-j	4.86 a-m
(7112*SB36)*S1-84	5.59 h-r	4.70 c-j	5.16 i-k	6.44 a-g	3.94 f-j	6.03 a
(7112*SB36)*S1-61	6.56b-j	4.09 e-o	5.13 i-k	5.65 g-m	4.75 a-j	3.72 k-m
(7112*SB36)*S1-15	6.02 d-p	4.17 e-n	5.34 f-k	5.51 g-n	4.47 a-j	5.18 a-l
(7112*SB36)*S1-04	6.50 c-k	4.83 b-i	5.23 g-k	5.61 g-m	3.94 f-j	3.67 lm
(7112*SB36)*S1-73	6.83 a-h	3.82 i-q	5.82 a-i	6 a-m	4.45 a-j	5.85 a-e
(7112*SB36)*S1-16	7.03 a-f	3.86 h-q	5.70 a-k	6.29 a-h	4.06 e-j	5.79 a-f
(7112*SB36)*S1-71	5.71 g-r	4 g-p	5.46 d-k	5.74 d-m	4.39 b-j	4.61 a-m
(7112*SB36)*S1-70	6.53 c-k	4.35 e-m	6.19 a-g	6.27 a-h	5.77 a-c	4.99 a-l
(7112*SB36)*S1-03	4.74 p-r	3.62 j-r	6.45 a-c	6.16 a-j	5.04a-i	5.09 a-l
(7112*SB36)*S1-72	4.87 n-r	5.14 a-f	5.85 a-i	6.29 a-h	5.79 ab	5.61 a-g
(7112*SB36)*S1-88	5.28 k-r	4.85 b-i	5.65 b-k	6.11 a-k	5.26 a-h	4.70 a-m
SC (7112*SB36)	5.92 e-p	4.36 e-m	5.41 f-k	5.19 k-o	4.83 a-i	5.23 a-k
Paya	5.60 h-r	3.90 h-q	6.41 a-e	5.80 d-m	4.92 a-i	4.42 c-m
IR7	6.22 c-m	4.14 e-n	5.15 i-k	6.38 a-h	3.51 ij	3.87 i-m
Mandarin	6.85 a-h	3.96 h-p	6.08 a-i	4.36 o	5.05 a-i	4.50 b-m
Parental pop	6.71 a-i	2.89 p-r	5.71 a-k	5.18 k-o	4.45 a-j	4.25 g-m
Futura	5.53 i-r	2.54 r	5.71 a-k	4.64 no	5.25 a-h	3.91 i-m
Jolgeh	5.13 l-r	4.73 c-j	5.90 a-i	5.11 m -o	5.59 a-e	3.9 h-m

مقادیر داخل ستون و هر عامل آزمایشی که با حروف متفاوت دنبال می‌شوند، طبق آزمون LSD تفاوت معنی‌دار دارند ($P \leq 0.05$).

Values within each column and for each experimental factor followed by different letters, are significantly different according to the LSD test at $P \leq 0.05$.

شاخص STI

در میان ۵۷ هیبرید سال اول آزمایش، هیبرید S1-44*(7112*SB36) با میزان ۰/۹۲ و پس از آن هیبرید S1-70*(7112*SB36) با میزان ۰/۸۷ بیشترین (STI) را به خود اختصاص دادند و در میان هفت رقم شاهد شناسایی شده، رقم جلگه با میزان ۱/۱ و پس از آن ماندارین با ۱/۰۵ بیشترین STI را ثبت کردند (جدول ۳). بر اساس شاخص STI، از میان ۵۷ هیبرید و هفت رقم شاهد که مورد بررسی قرار گرفتند، ۱۶ هیبرید و چهار رقم شاهد برای سال دوم آزمایش انتخاب گردید.

ارزیابی تکمیلی

عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد قند ناخالص

در سال دوم آزمایش، عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر آبیاری و ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۵). آبیاری مطلوب عملکرد ریشه بالاتری (۷۰/۷۹ تن در هکتار) نسبت به آبیاری محدود (۵۶/۶ تن در هکتار) تولید کرد. بالاترین مقدار عملکرد ریشه متعلق به رقم پایا (۸۳/۹۳ تن در هکتار) بود. این رقم با سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. ماندارین (۷۱/۶۹ تن در هکتار) و هیبرید S1-100* (7112*SB36) (۷۰/۸۴ تن در هکتار) در گروه آماری بعدی قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با هشت هیبرید دیگر نداشتند. علاوه بر این، (7112*SB36) S1-44* (۵۳/۸۵ تن در هکتار) در رتبه آخر قرار گرفت (جدول ۶). در مورد درصد قند، همچنین مشاهده شد که فقط اثر ژنوتیپ در این آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). ماندارین (۱۵/۱۸ درصد) و همچنین IR7 (۱۴/۷ درصد) در رتبه اول قرار گرفتند. لازم به ذکر است که (7112*SB36) S1-28* (۱۳/۸۳ درصد) تفاوت آماری معنی‌داری با IR7 نداشتند. جالب توجه است که کمترین درصد قند متعلق به پایا (۱۱/۱۸ درصد) بود که بیشترین عملکرد ریشه را تولید کرد (جدول ۶). در مورد عملکرد قند ناخالص، مشابه نتیجه عملکرد ریشه، فقط اثر آبیاری و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). عملکرد قند ناخالص در شرایط آبیاری معمول (۸/۸۸ تن در هکتار) بیشتر از آبیاری محدود (۷/۵۵ تن در هکتار) بود؛ مانند نتیجه درصد قند، تیمار شاهد Mandarin (۱۰/۸۸ تن در هکتار) بیشترین عملکرد قند ناخالص را داشت و تفاوت معنی‌داری با IR7 (۹/۴۹ تن در هکتار) نداشت. با این حال، پایا، IR7، S1-08* (7112*SB36)، (7112*SB36) S1-15*، S1-28* (7112*SB36)، S1-* (7112*SB36) 66، S1-70* (7112*SB36)، S1-73* (7112*SB36) و S1-100* (7112*SB36) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. هیبرید S1-03* (7112*SB36) تنها ۶/۷۰ تن در هکتار تولید داشت و در رتبه آخر قرار گرفت (جدول ۶).

کارایی مصرف آب آبیاری

در ادامه بررسی صفات در سال دوم زراعی، آبیاری محدود، کارایی مصرف آب آبیاری هیبریدهای چغندرقند را افزایش داد. پس از کاهش میزان آب مصرفی از طریق آبیاری محدود در این آزمایش، کارایی مصرف آب آبیاری در مقایسه با آبیاری مطلوب ۳۲ درصد افزایش یافت (جدول ۶). همانطور که انتظار می‌رفت، دو رقم شاهد ماندارین (۱/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب) و پایا (۰/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب)، بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری را در هر دو سال نشان دادند (جدول‌های ۳ و ۶). با این حال، در سال دوم زراعی، هیبرید شماره S1-100* (7112*SB36) با ۰/۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین کارایی مصرف آب را آبیاری را در میان هیبریدها داشت. همچنین کمترین کارایی مصرف آب آبیاری در سال دوم از هیبرید S1-03* (7112*SB36) (۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب) به دست آمد (جدول ۶)

جدول ۵ تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر صفات عملکرد ریشه، محتوای قند، عملکرد قند ناخالص، ناخالصی‌های ریشه و کارایی مصرف آب آبیاری در سال ۱۳۹۶

Table 5 Analysis of variance (mean squares) for the effects of irrigation and genotype on root yield, sugar content, sugar yield, root impurities, and irrigation water use efficiency (IWUE) in 2017

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)						
		عملکرد ریشه Root yield	محتوای قند Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	سدیم Na^+	پتاسیم K+	نیتروژن N	کارایی مصرف آب آبیاری IWUE
بلوک Block	3	700.13	3.92	11.30	4.73	6.04	4.15	0.11
آبیاری Irrigation (I)	1	8057.08**	24.96ns	71.02**	4.29ns	6.50ns	6.04ns	1.83**
خطای ۱ Error 1	3	127.77	4.27	0.22	0.63	3.61	2.59	0.008
ژنوتیپ Genotype (G)	19	395.051**	6.750**	8.500**	2.73**	1.84**	1.15*	0.07**
اثرمتقابل آبیاری*ژنوتیپ (I)*(G)	19	71.199ns	0.78ns	1.79ns	0.42ns	0.40ns	0.47ns	0.01ns
خطا Error	114	77.34	1.500	2.22	0.55	0.68	0.59	0.02
ضریب تغییرات (٪) CV	–	13.80	9.47	18.16	17.05	15.82	27.52	18.13

ns نشان‌دهنده تفاوت‌های غیرمعنی‌دار است، در حالی که علائم *، ** به ترتیب سطح معنی‌داری در آلفای ۰/۰۵ و ۰/۰۱ را نشان می‌دهند.

ns indicates non-significant differences, whereas *and** indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۶ عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند ناخالص، محتوای سدیم، پتاسیم و آلفا آمینو نیتروژن و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) هیبریدها و ارقام چغندرقند در سال ۱۳۹۶

Table 6 Root yield, sugar content, sugar yield, Na^+, K^+, and α–amino N contents, and irrigation water use efficiency (IWUE) of sugar beet hybrids and cultivars in 2017

		عملکرد ریشه Root yield (t ha^{-1})	درصد قند Sugar content (%)	عملکرد قند ناخالص Sugar yield (t ha^{-1})	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن N	کارایی مصرف آب آبیاری IWUE (Kg m^{-3})
					(mmol 100 g^{-1} root)			
آبیاری Irrigation (I)	مطلوب Normal	70.79 a	12.54 a	8.88 a	4.53 a	5.02 a	2.99 a	0.69 b
	تنش Stress	56.6 b	13.33 a	7.55 b	4.20 a	5.42 a	2.60 a	0.91 a
Hybrid (H)								
(7112*SB36)*S1-100 (1)		70.84 b	13.28 c-f	9.38 bc	4.66 b-d	5.03 c-e	2.80 a-d	0.90 b-d
(7112*SB36)*S1-13 (2)		60.45 d-g	12.34 d-h	7.46 d-f	5.17 a-c	5.20 b-e	2.92 a-c	0.72 e-h
(7112*SB36)*S1-15 (3)		62.08 c-g	13.06 c-g	8.09 b-f	4.35 de	4.95 de	2.77 a-d	0.79 b-h
(7112*SB36)*S1-16 (4)		64.25 b-f	12.48 d-g	7.91 c-f	4.36 de	5.59 a-d	3.43 a	0.77 d-h
(7112*SB36)*S1-18 (5)		60.03 d-g	13.02 c-g	7.80 d-f	4.28 d-f	5.10 b-e	2.72 a-d	0.76 d-h
(7112*SB36)*S1-28 (6)		63.51 b-f	13.83 bc	8.83 b-d	3.70 e-g	5.12 b-e	2.99 a-c	0.85 b-e
(7112*SB36)*S1-03 (7)		54.63 g	12.31 d-h	6.70 f	4.54 b-d	5.22 b-e	2.95 a-c	0.65 h
(7112*SB36)*S1-36 (8)		65.39 b-d	12.03 gh	7.78 d-f	4.71 b-d	4.54 ef	2.61 b-e	0.76 d-h
(7112*SB36)*S1-42 (9)		61.94 c-g	12.53 e-g	7.78 d-f	4.36 de	5.58 a-d	2.89 a-c	0.75 e-h
(7112*SB36)*S1-44 (10)		53.85 g	13.43 cd	7.24 ef	3.98 d-f	5.86 ab	3.24 ab	0.69 f-h
(7112*SB36)*S1-66 (11)		65.86 b-d	12.63 c-g	8.31 b-e	4.08 d-f	5.42 a-d	2.82 a-d	0.79 b-h
(7112*SB36)*S1-70 (12)		69.71 bc	12.17 f-h	8.51 b-e	5.19 ab	6.08 a	3.09 ab	0.82 b-f
(7112*SB36)*S1-71 (13)		56.21 e-g	12.83 c-g	7.15 ef	4.07 d-f	5.02 c-e	2.30 cde	0.70 f-h
(7112*SB36)*S1-72 (14)		55.56 fg	12.21 e-h	6.74 f	4.45 cd	5.39 a-d	3.07 ab	0.67 gh
(7112*SB36)*S1-73 (15)		66.19 b-d	13.39 c-e	8.84 b-d	4.40 de	5.09 b-e	3.15 ab	0.86 b-e
(7112*SB36)*S1-08 (16)		64.54 b-e	12.68 c-g	8.23 b-e	4.33 d-f	4.98 de	2.81 a-d	0.81 b-g
IR7 (17)		65.00 b-d	14.70 ab	9.49 ab	3.61 fg	5.81 a-c	2.13 de	0.91 bc
Jolgeh (18)		58.19 d-g	13.37 c-f	7.88 d-f	4.51 b-d	5.47 a-d	2.97 abc	0.77 c-h
Mandarin (19)		71.69 b	15.18 a	10.88 a	2.97 g	3.90 f	1.85 e	1.06 a
Paya (20)		83.93 a	11.18 h	9.39 bc	5.64 a	5.09 b-e	2.48 b-e	0.93 ab

مقادیر داخل ستون و هر عامل آزمایشی که با حروف متفاوت دنبال می‌شوند، طبق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری دارند ($P \leq 0.05$).

Values within each column and for each experimental factor followed by different letters, are significantly different according to the LSD test at $P \leq 0.05$.

ناخالصی‌های ریشه

در سال دوم این آزمایش، تنها اثر ژنوتیپ از نظر آماری به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). هیبریدهای ماندارین (۲/۹۷ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه)، IR7 (۳/۶۱ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و (7112*SB36) S1-28* (۳/۷ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) بدون تفاوت آماری با یکدیگر در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها، محتوای سدیم کمتری داشتند، در حالی که رقم شاهد پایا (۵/۶۴ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و هیبربدهای (7112*SB36) S1-70* (۵/۱۹ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و (7112*SB36) S1-13* (۵/۱۷ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) محتوای سدیم بیشتری نسبت به سایر هیبریدها داشتند (جدول ۶).

به همین ترتیب، از نظر محتوای پتاسیم، رقم ماندارین (۳/۹۰ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) محتوای پتاسیم کمتری داشت، اگرچه با هیبرید (7112*SB36) S1-36* (۴/۵۴ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) از نظر آماری تفاوت نداشت. از سوی دیگر، (7112*SB36) S1-70* محتوای پتاسیم بالاتری (۶/۰۸ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) داشت و تفاوت معنی‌داری با (7112*SB36) S1-16*، (7112*SB36) S1-44*، (7112*SB36) S1-42*، (7112*SB36) S1-66*، (7112*SB36) S1-72*، IR7 و جلگه نداشت. لازم به ذکر است رقم ماندارین کمترین محتوای نیتروژن مضره (۱/۸۵ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) را به خود اختصاص داد، اگرچه در یک گروه آماری با هیبریدهای (7112*SB36) S1-36* (۲/۶۱ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و (7112*SB36) S1-71* (۲/۳۰ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و همچنین با دو رقم IR7 (۲/۱۳ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) و پایا (۲/۴۸ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) قرار گرفت. محتوای نیتروژن مضره (7112*SB36) S1-16* (۳/۴۳ میلی‌مول در هر ۱۰۰ گرم ریشه) تنها از ارقام و هیبریدهای مذکور بیشتر بود و از نظر آماری با سایر هیبریدها تفاوتی نداشت. (جدول ۶).

محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید

در بررسی صفات بیوشیمیایی در سال دوم آزمایش اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۷). در مورد کلروفیل کل، در شرایط آبیاری مطلوب، (7112*SB36) S1-08* بالاترین محتوای کلروفیل کل (۳/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را داشت که تفاوت معنی‌داری با IR7 (۲/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و (7112*SB36) S1-73* (۲/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نداشت. در حالی که در شرایط آبیاری محدود، (7112*SB36)S1-66*، پایا و (7112*SB36)S1-72* به ترتیب ۳/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، ۳/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و ۳/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بالاترین کلروفیل کل داشتند (جدول ۸). اگرچه کلروفیل کل تحت تأثیر اثر اصلی آبیاری قرار نگرفت، اما آبیاری محدود باعث افزایش محتوای کاروتنوئید برگی چغندرقند در این آزمایش شد. هیبرید (7112*SB36) S1-73* بیشترین محتوای کاروتنوئید (۰/۳۶ میلی‌گرم گرم وزن تر) را در شرایط آبیاری مطلوب داشت که تفاوت معنی‌داری با (7112*SB36) S1-08*، (7112*SB36) S1-15*، (7112*SB36) S1-16*، (7112*SB36) S1-18*، (7112*SB36) S1-66*، (7112*SB36) S1-70*، (7112*SB36) S1-71*، IR7 و ماندارین نداشت. در حالی که در شرایط آبیاری محدود، رقم پایا در رتبه اول (۰/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری با ارقام (7112*SB36) S1-36*، (7112*SB36) S1-42*، (7112*SB36) S1-44*، (7112*SB36) S1-66* و (7112*SB36) S1-72* نداشت (جدول ۸).

جدول ۷ تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر صفات کلروفیل کل و کاروتنوئید گیاه چغندرقند در سال ۱۳۹۶

Table 7 Analysis of variance (mean squares) for the effects of irrigation and genotype on total chlorophyll and carotenoid contents of sugar beet in 2017

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square) کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid
بلوک Block	2	0.02	0.0001
آبیاری Irrigation (I)	1	0.21ns	0.33*
خطای ۱ Error 1	2	0.21	0.004
ژنوتیپ Genotype (G)	19	0.58**	0.01*
اثرمتقابل آبیاری*ژنوتیپ (I)*(G)	19	0.73**	0.02**
خطا Error	76	0.18	0.01
ضریب تغییرات (%) CV	-	17.99	37.72

ns نشان‌دهنده تفاوت‌های غیرمعنی‌داراست، در حالی که علائم *، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ را نشان می‌دهند.

ns indicates non-significant differences, whereas *and** indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۸ محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید هیبریدها و ارقام چغندرقند در سال ۱۳۹۶

Table 8 Total chlorophyll and carotenoid contents of sugar beet hybrids and cultivars in 2017

هیبرید Hybrid (H) / آبیاری Irrigation (I)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg gfw^{-1}) مطلوب Normal	تنش Stress	کارتنوئید Carotenoid (mg gfw^{-1}) مطلوب Normal	تنش Stress
	2.36a	2.44a	0.22b	0.33a
(7112*SB36)*S1-100(1)	2.13 d-g	2.04 ef	0.18 d-f	0.22 ef
(7112*SB36)*S1-13(2)	1.69 fg	2.07 ef	0.08 f	0.34 b-f
(7112*SB36)*S1-15(3)	2.76 b-d	2.38 d-f	0.30 a-e	0.34 b-f
(7112*SB36)*S1-16(4)	2.44 b-e	2.10 d-f	0.24 a-e	0.34 b-f
(7112*SB36)*S1-18(5)	2.16 d-g	1.99 ef	0.26 a-e	0.28 b-f
(7112*SB36)*S1-28(6)	2.21 d-f	1.79 f	0.19 c-f	0.24 d-f
(7112*SB36)*S1-03(7)	1.54 g	2.30 d-f	0.08 f	0.16 f
(7112*SB36)*S1-36(8)	2.34 b-f	2.40 c-f	0.18 d-f	0.35 a-e
(7112*SB36)*S1-42(9)	2.15 d-g	2.84 b-d	0.15 ef	0.39 a-e
(7112*SB36)*S1-44(10)	1.85 e-g	2.73 b-e	0.20 b-f	0.41 a-d
(7112*SB36)*S1-66(11)	2.51 b-d	3.61 a	0.21 a-f	0.44 a-c
(7112*SB36)*S1-70(12)	2.69 b-d	2.36 d-f	0.26 a-e	0.29 b-f
(7112*SB36)*S1-71(13)	2.56 b-d	2.33 d-f	0.34 a-c	0.30 b-f
(7112*SB36)*S1-72(14)	2.13 d-g	3.16 a-c	0.15 ef	0.46 ab
(7112*SB36)*S1-73(15)	2.94 ab	2.30 d-f	0.36 a	0.27 c-f
(7112*SB36)*S1-08(16)	3.42 a	1.91 f	0.35 ab	0.22 ef
IR7(17)	2.90 a-c	2.30 d-f	0.33 a-d	0.33 b-f
Jolgeh(18)	2.32 b-f	2.42 c-f	0.18 d-f	0.34 b-e
Mandarin(19)	2.13 d-g	2.28 d-f	0.21 a-f	0.29 b-f
Paya(20)	2.25 c-f	3.49 ab	0.19 c-f	0.53 a

مقادیر داخل ستون و هر عامل آزمایشی که با حروف متفاوت دنبال می‌شوند، طبق آزمون LSD تفاوت معنی‌دار دارند ($P\leq 0.05$).

Values within each column and for each experimental factor followed by different letters, are significantly different according to the LSD test at $P\leq 0.05$.

شاخص STI

در سال دوم آزمایش، از میان ۱۶ هیبرید و چهار رقم شاهد، بیشترین شاخص STI در ارقام شاهد پایا و ماندارین به ترتیب با مقادیر ۱/۴ و ۱/۰۱ مشاهده شد و کمترین میزان (STI) در شاهدها مربوط به رقم جلگه با میزان ۰/۶۷ بود (جدول ۹). در میان هیبریدهای مورد بررسی نیز دو هیبرید (7112*SB36)*S1-100 و (7112*SB36)*S1-70 به ترتیب با مقادیر ۰/۹۷ و ۰/۹۶ بالاترین میزان (STI) و هیبرید (7112*SB36)*S1-44 با میزان ۰/۵۶ کمترین (STI) را به خود اختصاص دادند.

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

در سال زراعی اول، از میان ۵۷ هیبرید و هفت رقم شاهد مورد بررسی، ۱۶ هیبرید به همراه چهار رقم شاهد گزینش شدند و با توجه به نتایج عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری، ژنوتیپ‌های گزینش شده مورد ارزیابی قرار گرفتند و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای نمودار دندوگرام آنها رسم گردید و ژنوتیپ‌های منتخب در دو گروه حساس و متحمل دسته‌بندی شدند (شکل ۲ الف). هرچند در سال دوم نیز همانند سال اول، ژنوتیپ‌ها به دو گروه حساس و متحمل تقسیم شدند، اما تفاوت در تعداد ژنوتیپ‌ها در هر خوشه بود؛ بنابراین، برخلاف سال اول، تعداد ژنوتیپ‌ها در خوشه حساس (۱۳ ژنوتیپ) بیشتر از خوشه متحمل (۷ ژنوتیپ) بود (شکل ۲ ب). همچنین، مشاهده شد که در بین هیبریدهای مورد آزمایش، تنها دو هیبرید شماره (۱) (7112*SB36) *S1-100 و (۱۲) (7112*SB36) *S1-70 در هر دو سال در خوشه متحمل قرار گرفتند (شکل ۲ الف و ب).

بحث

در هر دو آزمایش، تنش کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد ریشه شد؛ به‌طوری‌که این افت در سال اول و دوم به‌ترتیب ۴۱ و ۲۰ درصد بود. فرض بر این است که تفاوت مشاهده شده در دو سال به دلیل وجود هیبریدهای مختلف و پاسخ آنها به شرایط آبیاری مطلوب و محدود بوده است (جدول‌های ۳ و ۶). طبق یک مطالعه قبلی، عملکرد ریشه یا اندام هوایی چغندرقند به ویژگی‌های متفاوت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام بستگی دارد (Khodadadi *et al.* 2020). به طور کلی، تنش کم‌آبی بر اندازه و گسترش سلول، اندازه برگ، طویل شدن ساقه و گسترش ریشه و همچنین نوسانات روزنه تأثیر می‌گذارد و عملکرد را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Li *et* al. 2009). در سال دوم آزمایش، اگرچه آبیاری محدود منجر به کاهش ۲۰ درصدی عملکرد ریشه شد، اما با افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید در مقایسه با آبیاری مطلوب به ترتیب با مقادیر ۳٪ و ۵۰٪ همراه بود. در این آزمایش، آبیاری محدود غلظت کلروفیل اکثر هیبریدها را کاهش نداد (جدول ۸)، اگرچه به طور گسترده پذیرفته شده است که محتوای کلروفیل نشان دهنده وضعیت سلامت دستگاه فتوسنتزی بوده و تنش کم‌آبی محتوای آن را کاهش می‌دهد (Fatemi and kahraryan 2025; Kamran *et al*. 2020; Namjoyan *et al*. 2021). همانطور که محتوای کلروفیل را در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی (تقریباً ۴۰ روز پس از کاشت) اندازه‌گیری کردیم، به نظر می‌رسد که آبیاری محدود بر محتوای کلروفیل در مراحل بعدی رشد تأثیر گذاشته و با سن برگ در ارتباط است (Namjoyan *et al*. 2021; Romanova *et al*. 2011).

در هر دو سال زراعی، ارقام شاهد (ماندارین، IR7 و پایا) با تولید عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص بالاتر در مقایسه با اکثر هیبریدها عملکرد بهتری داشتند (جدول ۳ و ۶). هیبریدهای (7112 *SB36) * S1-100، (7112 *SB36) * S1-73، (7112 *SB36) * S1-70، (7112 *SB36) * S1-66، (7112 *SB36) * S1-28 و (7112 *SB36) * S1-08 از نظر عملکرد ریشه و قند در یک گروه آماری با ارقام شاهد در سال دوم قرار گرفتند (جدول ۶). شایان ذکر است که اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ نیز در هر دو سال زراعی به صورت مشابه بر عملکرد ریشه معنی‌دار نگردید در صورتی که اثر اصلی هر دو عامل آزمایشی در هر دو سال زراعی بر عملکرد ریشه به صورت

معنی‌دار مشاهده شد. این امر مبین پاسخ مشابه و هم‌سوی هیبریدها به سطوح مختلف آبیاری است. در خصوص صفت درصد قند نیز باید اشاره گردد که درصد قند در هر دو سال آزمایش با آبیاری محدود افزایش یافت. با این حال، این افزایش فقط در سال اول معنی‌دار بود (جداول ۳ و ۶). در این مطالعه میزان افزایش درصد قند در شرایط آبیاری محدود نسبت به آبیاری مطلوب در سال اول ۲۰ و در سال دوم ۶ درصد بود (جداول ۳ و ۶). این تفاوت ممکن است به دلیل دو عامل تنوع ژنوتیپی بیشتر در سال اول در مقایسه با سال دوم آزمایش و وقوع آفات و بیماری‌هایی باشد که در سال اول در مزرعه مشاهده شدند. در سال اول، ارقام ماندارین، فوتورا و IR7 در شرایط آبیاری محدود، درصد قند بیشتری نسبت به اکثر هیبریدهای دیگر داشتند (جدول ۳). به همین ترتیب، در سال دوم، ارقام ماندارین و IR7 درصد قند بیشتری نسبت به سایر هیبریدها داشتند (جدول ۶). از سوی دیگر، افزایش درصد قند در شرایط تنش کم‌آبی، ممکن است به دلیل کاهش قطر و وزن تک ریشه و تجمع بیشتر قند بین حلقه‌های کامبیوم ریشه در شرایط تنش نسبت به مطلوب باشد (Esmaeili *et al*. 2022; Hoffmann 2010; Namjoyan 2021). همچنین، ممکن است به دلیل انتخاب صحیح هیبریدهای متحمل به کم آبی از سال اول آزمایش به جهت آزمون آنها در سال دوم باشد که منجر به عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری بر درصد قند در سال دوم شده است (جدول ۶).

از سویی اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ بر صفت درصد قند تنها در سال اول آزمایش معنی‌دار گردید. این معنی‌داری نشان می‌دهد که واکنش هیبریدهای‌های مختلف به سطوح آبیاری (مطلوب و محدود) یکسان نبوده و برخی هیبریدها در شرایط تنش خشکی درصد قند بیشتری نسبت به سایرین داشتند. به عنوان مثال، در شرایط تنش، ارقام شاهد مانند ماندارین و فوتورا بیشترین درصد قند را داشتند، در حالی که در شرایط مطلوب، هیبریدهای دیگری مانند (7112*SB36)*S1-55 و (7112*SB36)*S1-94 درصد قند بالاتری نشان دادند (جدول ۳). بدین معنا که پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به سطوح آبیاری یکسان نبوده و این تفاوت بانک ژنی در دو سال زراعی ۶۴) (ژنوتیپ در سال اول و ۲۰ ژنوتیپ در سال دوم می‌تواند منشا اختلاف نتایج در دو سال باشد؛ اما در سال دوم با این عدم معنی‌داری نشان می‌دهد که واکنش ژنوتیپ‌ها به تغییرات آبیاری در سال دوم مشابه و یکنواخت بوده است، به طوری که همه ژنوتیپ‌ها الگوی پاسخ نسبتاً مشابهی به تنش خشکی از خود نشان دادند. در این سال، فقط اثر اصلی ژنوتیپ بر درصد قند معنی‌دار بود، یعنی تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد قند وجود داشت، اما این تفاوت مستقل از سطح آبیاری بود.

در هر دو سال آزمایش، اثر آبیاری بر عملکرد ریشه یکسان (معنی‌دار) بود و در شرایط تنش، روند کاهشی مشاهده شد. از سویی دیگر، اثر همین عامل بر درصد قند در سال اول معنی‌دار و در سال دوم غیرمعنی‌دار بود، اما به هر صورت در شرایط تنش افزایش یافت؛ بنابراین، حاصلضرب این دو عامل در دو سال مشابه نبود. تولید قند بالا در هیبریدهایی با عملکرد ریشه کم در سال اول تحت شرایط تنش، کاهش شدید عملکرد ریشه در شرایط تنش را جبران کرد. در حالی که در سال دوم، عملکرد قند ناخالص مستقیماً تحت تأثیر عملکرد ریشه قرار گرفت و نتیجه معنی‌دار شد. گزارش شده است که هر دو صفت عملکرد ریشه و درصد قند بر عملکرد قند ناخالص تأثیر می‌گذارند، با این وجود همبستگی نزدیک‌تری با عملکرد ریشه وجود دارد (Ober *et al*. 2004). با این حال، آبیاری محدود به چغندرقند آسیب می‌رساند و عملکرد قند را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Abyaneh *et al*. 2017). اثر ژنوتیپ در دو سال زراعی نیز بر عملکرد قند ناخالص به صورت مشابه و معنی‌دار مشاهده شد که بیانگر اثر مستقیم این عامل بر عملکرد ریشه و درصد قند می‌باشد. با توجه به تفاوت ذاتی میان هیبریدها در تولید عملکرد ریشه و درصد قند در این آزمایش، نتیجه مشابه در خصوص عملکرد قند ناخالص نیز قابل انتظار بود. بر اساس میانگین عملکرد قند ناخالص ۲۰ ژنوتیپ مشترک دو سال، رقم ماندارین بین شاهدها بیشترین عملکرد قند ناخالص را با میانگین ۹/۷۸ تن در هکتار و در میان هیبریدها، هیبرید (7112*SB36)*S1-100 با میانگین ۸/۰۱ تن در هکتار به خود اختصاص دادند. اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ بر این صفت در

هر دو سال آزمایش معنی‌دار نبود. در سال اول اثر ساده آبیاری بر عملکرد قند ناخالص معنی‌دار نگردید و این امر به تبع منجر به غیر معنی‌داری اثر ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری گردید؛ به عبارت دیگر در این سال تمامی ژنوتیپ‌ها به صورت تقریبی به یک نسبت به تغییرات آبیاری پاسخ داده‌اند و الگوی پاسخ مشابه بوده است. در حالی که در سال دوم با وجود معنی‌دار بودن هر اثر اصلی دیگر، مجدداً اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ معنی‌دار نگردید. این امر نیز می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که واکنش هیبریدها و جایگاه آنها در هر دو سطح عامل آبیاری بدون تغییر تعریف شده است.

در مطالعه حاضر در هر دو سال زراعی محتوای پتاسیم و نیتروژن مضره ریشه چغندرقند تحت تأثیر آبیاری محدود قرار نگرفت، در حالی که محتوای سدیم ریشه تنها در سال اول دارای چنین روندی بود (جدول ۵). در هر دو سال زراعی با اعمال تنش کم آبیاری محتوای ناخالصی سدیم (به ترتیب سال ۲۷ و ۷ درصد) و پتاسیم (به ترتیب سال ۳ و ۸ درصد) ریشه به ترتیب روند کاهشی و افزایشی را ثبت کردند. این افزایش پتاسیم در شرایط تنش، می‌تواند به نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و حفظ تورژسانس سلول‌ها در مواجهه با کم‌آبی مرتبط باشد و اثر آن بر کاهش مقادیر سدیم جذب شده توسط ریشه به صورت معکوس و کاهشی ممکن است موید رابطه معکوس محتوای این دو ناخالصی در ریشه باشد. از سویی مشاهده شده است که در تیمار کم آبیاری (تنش) روند افزایشی درصد قند در هر دو سال وجود دارد. خورشید و همکاران گزارش داده‌اند که درصد قند ریشه چغندرقند با محتوای سدیم همبستگی بیشتری نسبت به پتاسیم دارد؛ و این همبستگی منفی بین ناخالصی‌ها و محتوای قند ممکن است با کاهش میزان تولید ماده خشک از طریق افزایش محتوای سدیم مرتبط باشد (Khorshid *et al.* 2004). در مطالعه حاضر، از آنجایی که آبیاری محدود پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس (A) به اندازه کافی شدید نبود، ناخالصی‌های ریشه افزایش نیافتند. در حالی که در مورد نیتروژن مضره این روند به صورت معکوس در سال‌های زراعی با روند افزایشی (۲ درصد) و کاهشی (۱۳ درصد) مشاهده شد. مشابه این مطالعه، تنش کم‌آبی متوسط (ETC 75%) تأثیر معنی‌داری بر محتوای سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره ریشه چغندرقند نداشت، در حالی که تنش کم‌آبی شدید (ETC 50%) نیتروژن مضره را کاهش داد(Namjoyan 2021). البته توسط دیگران نیز تأیید شده است (Bloch and Hoffmann, 2005; Ebrahimi *et al.* 2020).

نتایج دو سال زراعی نشان داد که اثر ژنوتیپ بر هر سه ناخالصی در سطح یک درصد (و در مورد نیتروژن تنها در سال ۱۳۹۶ در سطح پنج درصد) معنی‌دار است (جداول ۲ و ۵). این امر حاکی از وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه بین هیبریدها و ارقام مورد مطالعه از نظر توانایی جذب و انباشت سدیم، پتاسیم و نیتروژن در ریشه است. چنین تنوعی، بستر مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با ناخالصی پایین‌تر در برنامه‌های به‌نژادی را فراهم می‌آورد.

در سال اول آزمایش (جدول ۲) اثر متقابل آبیاری و هیبرید برای هر سه ناخالصی معنی‌دار بود (سدیم و پتاسیم در سطح یک درصد و نیتروژن در سطح پنج درصد). این معنی‌داری نشان می‌دهد که واکنش هیبریدهای مختلف به تنش خشکی از نظر انباشت ناخالصی‌ها، یکسان نبوده و برخی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، کاهش بیشتری در ناخالصی سدیم نشان دادند (مانند هیبرید S1-12*(7112*SB36) با کاهش از ۷/۸۵ به ۲/۹۹)، در حالی که برخی دیگر افزایش نسبی نشان دادند (مانند هیبرید S1-93*(7112*SB36) که سدیم آن از ۵/۷۸ به ۵/۸۵ افزایش یافت) (جدول ۴). این اثر متقابل معنی‌دار، اهمیت انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای هر شرایط محیطی را دوچندان می‌کند؛ اما در سال دوم آزمایش (جدول ۵) اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ برای هیچ‌کدام از ناخالصی‌ها معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده واکنش نسبتاً یکنواخت ژنوتیپ‌ها به تنش آبی در این سال است. این عدم معنی‌داری می‌تواند ناشی از شدت کمتر تنش یا انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پاسخ‌های مشابه باشد.

در مجموع برای بررسی نتایج ناخالصی‌های ریشه مجموع ناخالصی‌های سه گانه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن ریشه) ۱۶ هیبرید و چهار رقم شاهد در هر دو سال محاسبه گردید. بر این اساس مشخص گردید که میانگین مجموع ناخالصی‌ها در سال

دوم (حدود ۱۲/۳) به طور قابل توجهی کمتر از سال اول (حدود ۱۵/۸) است. این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش شدید نیتروژن مضره در سال دوم است (از حدود ۵ به کمتر از ۳ میلی‌مول). رقم ماندارین نیز با میانگین دو سالانه ۱۲/۰۷ به عنوان بهترین ژنوتیپ از نظر کیفیت فرآوری شناسایی شد. این رقم در سال اول رتبه دوم (۱۵/۴۱) و در سال دوم رتبه اول (۸/۷۲) را داشت. نکته قابل توجه، پایداری کیفیت این رقم در هر دو سال و در هر دو سطح آبیاری است. ماندارین با داشتن کمترین میزان پتاسیم در سال دوم (۳/۹۰) و نیتروژن بسیار پایین (۱/۸۵)، به عنوان یک ژنوتیپ ایده‌آل برای برنامه‌های به‌نژادی با هدف تولید ارقام با ناخالصی کم و پایدار مناسب است. هیبریدهای (7112*SB36)*S1-71، (7112*SB36)*S1-28، (7112*SB36)*S1-15، (7112*SB36)*S1-36 و (7112*SB36)*S1-08 با میانگین دو سالانه بین ۱۳/۱۸ تا ۱۳/۸۳، در زمره ژنوتیپ‌های با پایداری نسبی قرار می‌گیرند. این هیبریدها در هر دو سال از مقادیر ناخالصی‌های قابل قبولی برخوردار بوده و نوسان کمی نشان داده‌اند. به ویژه هیبرید (7112*SB36)*S1-71 که بعد از IR7 در رتبه بعدی با ۱۳/۱۸ میلی مول قرار گرفته است و علیرغم محتوای سدیم متوسط، دارای نیتروژن پایین (۲/۳۰ در سال دوم) و پتاسیم متعادل است. اگرچه آبیاری محدود در هر دو سال باعث افزایش کارایی مصرف آب آبیاری شد، اما در سال دوم در مقایسه با آبیاری مطلوب به طور معنی دار ۳۲ درصد افزایش یافت. در شرایط آبیاری محدود، با میانگین دو سالانه کاهش ۳۶ درصدی مصرف آب، عملکرد قند ناخالص در سال اول و دوم به ترتیب ۲۹ درصد و ۱۵ درصد کاهش یافت. این کاهش در عملکرد قند ناخالص به دلیل کاهش ۳۹ درصدی و ۲۰ درصدی عملکرد ریشه در هر سال بود (جداول ۳ و ۶). توصیه شده است که برای افزایش کارایی مصرف آب آبیاری می‌توان از دو راه افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب بهره برد (De Santana *et al.* 2015). با این وجود تنش آبی متوسط در چغندرقند، موجب افزایش کارایی مصرف آب آبیاری می‌گردد، در حالی که تنش شدید باعث کاهش آن می‌شود (Hazrati *et al.* 2017; Li *et al.* 2019; Saeidabadi *et al.*2021). از آنجایی که در این آزمایش، رژیم آبیاری محدود، تنش کم آبی شدیدی را بر گیاهان چغندر قند تحمیل نکرد، کارایی مصرف آب آبیاری افزایش یافت. در هر دو سال، ارقام چغندرقند کارایی مصرف آب آبیاری بالاتری نسبت به اکثر هیبریدها داشتند. ارقام شاهد برتری کارایی مصرف آب آبیاری خود را به عنوان میانگین دو ساله (۰/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان دادند. پس از آنها، دو هیبرید (7112*SB36)*S1-100 و (7112*SB36)*S1-70 با میانگین ۰/۷۸ کیلوگرم در متر مکعب، کمترین اختلاف عددی را در مقایسه با سایر هیبریدها با ارقام شاهد ثبت کردند. (جداول ۳ و ۶).

در این تحقیق، یکی از راه‌های شناسایی هیبریدهای متحمل به تنش خشکی استفاده از شاخص STI می‌باشد؛ زیرا در نتایج مشاهده شد که هیبریدهای با تولید عملکرد ریشه بالاتر از توان تولید عملکرد قند بالاتری برخوردارند. طالقانی و صارمی‌راد (Taleghani and Saremirad 2023) نیز گزارش نموده‌اند که تجزیه همبستگی نشان داد شاخص STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد قند در هر دو شرایط دارد، بدین معنا که شاخص STI به‌خوبی می‌تواند لاین‌هایی را شناسایی کند که هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط کم‌آبی عملکرد قند بالایی دارند؛ به عبارت دیگر، STI نه تنها لاین‌های متحمل به خشکی را نشان می‌دهد، بلکه لاین‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو محیط را نیز به خوبی تفکیک می‌کند. برای مقایسه STI هیبریدها و ارقام انتخاب شده، میانگین STI محاسبه شد و آنهایی که مقادیر بالاتری از میانگین داشتند، در هر سال به عنوان هیبریدهای متحمل در نظر گرفته شدند (جدول ۹). در سال اول، هر چهار رقم STI بالاتری نسبت به میانگین داشتند، در حالی که در سال دوم، شاخص STI جلگه در مقایسه با سال اول ۳۹ درصد کاهش یافت و ماندارین پایدارترین رقم در طول هر دو آزمایش بود (۴+ درصد). در هر دو سال، هیبریدهای (7112 * SB36)*S1-66، (7112 *SB36) *S1-70، (7112 * SB36) *S1-100 شاخص STI بالاتری نسبت به میانگین داشتند. از طرف دیگر، هیبریدهای (7112 *SB36) *S1-03، (7112 *SB36) *S1-15، (7112 *SB36) *S1-18،

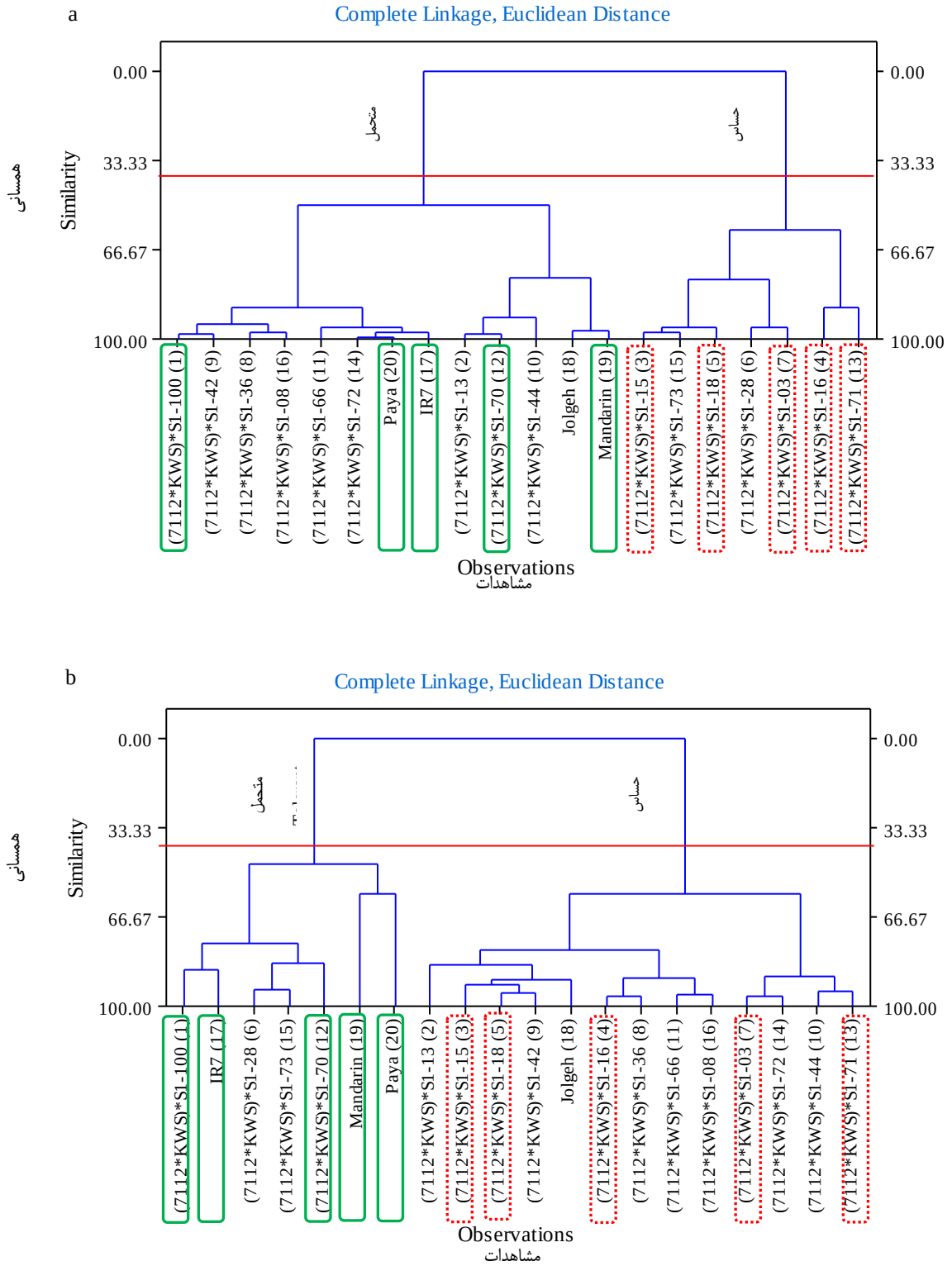
S1-28* (7112 *SB36) و S1-71* (7112 *SB36) در دو سال آزمایش STI بالاتر از میانگین نداشتند (جدول ۹).

جدول ۹ شاخص تحمل به تنش (STI) هیبریدها و ارقام چغندرقند آزمایش در سال اول (۱۳۹۵) و دوم (۱۳۹۶) آزمایش

Table 9 Stress tolerance index (STI) of sugar beet hybrids and cultivars evaluated in the first (2016) and second (2017) years of the experiment

هیبرید Hybrid (H)	شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index (STI) سال Year 2016	2017
(7112*SB36)*S1-100 (1)	0.70	0.97
(7112*SB36)*S1-13 (2)	0.86	0.72
(7112*SB36)*S1-15 (3)	0.63	0.76
(7112*SB36)*S1-16 (4)	0.28	0.81
(7112*SB36)*S1-18 (5)	0.53	0.72
(7112*SB36)*S1-28 (6)	0.46	0.79
(7112*SB36)*S1-03 (7)	0.45	0.59
(7112*SB36)*S1-36 (8)	0.57	0.84
(7112*SB36)*S1-42 (9)	0.71	0.76
(7112*SB36)*S1-44 (10)	0.92	0.56
(7112*SB36)*S1-66 (11)	0.71	0.84
(7112*SB36)*S1-70 (12)	0.87	0.96
(7112*SB36)*S1-71 (13)	0.43	0.62
(7112**SB36)*S1-72 (14)	0.73	0.62
(7112*SB36)*S1-73 (15)	0.60	0.86
(7112*SB36)*S1-08 (16)	0.68	0.83
IR7 (17)	0.76	0.82
Jolgeh (18)	1.10	0.67
Mandarin (19)	1.05	1.01
Paya (20)	0.78	1.40
میانگین Average	0.69	0.81

یکی دیگر از رویکردهای ارزیابی نتایج در این پژوهش، استفاده از تجزیه خوشه‌ای بود. با توجه به اینکه این شاخص نیز در شرایط آبیاری مطلوب و محدود، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد قند ناخالص دارد، از آن به عنوان روشی تایید شده برای طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری (شکل ۲ الف و ب) استفاده شد و تا حد مطلوبی روش ما را بر اساس مقدار STI (جدول ۹) تکمیل و تأیید کرد (Choukri *et al*. 2020; Ghafari *et al*. 2016). این بدان معناست که هیبریدهای با STI بالاتر تحت تنش کم‌آبی متوسط (آبیاری محدود) در این آزمایش، کارایی مصرف آب آبیاری بالاتری نیز داشتند. با توجه به چالش‌های فزاینده ناشی از تغییرات اقلیمی، شناسایی و معرفی منابع ژنتیکی سازگار ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. کاهش ۳۵ درصدی مصرف آب در تیمار آبیاری محدود می‌تواند کارایی مصرف آب آبیاری را تا یک سوم افزایش دهد (جدول ۶). در مورد تحلیل خوشه‌ای، هیبریدها و ارقام بر اساس پیوند کامل و روش فاصله اقلیدسی به خوشه‌های متحمل و حساس تقسیم شدند. در هر دو سال به صورت مشترک، ارقام ماندارین، IR7، پایا و هیبریدهای (7112 S1-70* (SB36* و S1-100* (7112 *SB36) در خوشه متحمل قرار گرفتند، در حالی که هیبریدهای (7112 *SB36) S1-03*، S1-15* (7112 *SB36)، (7112 *SB36) S1-16*، S1-18* (7112 *SB36) و (7112 *SB36) S1-71* در خوشه حساس قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل ۲ دندروگرام‌های خوشه‌ای هیبریدها و ارقام چغندرقند منتخب بر اساس عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) در آزمایش سال اول؛ ۱۳۹۵ (الف) و دوم؛ ۱۳۹۶ (ب). هیبریدها یا ارقام موجود در مستطیل‌های توپر یا سبز در هر دو سال در خوشه متحمل قرار گرفتند؛ هیبریدها یا ارقام موجود در مستطیل‌های قرمز یا نقطه‌چین در هر دو سال در خوشه حساس قرار گرفتند؛ سایر هیبریدها یا ارقام در هر دو سال در خوشه‌های مختلف قرار گرفتند

Figure 2 Cluster dendrograms of selected sugar beet hybrids and cultivars based on root yield, sugar yield, and irrigation water use efficiency (IWUE) in the first (2016; a), and second (2017; b) years of the experiment. Hybrids or cultivars enclosed in solid or green rectangles were classified into the tolerant cluster in both years; those enclosed in red or dotted rectangles were classified into the sensitive cluster in both years; and the remaining hybrids or cultivars were grouped into different clusters across the two years

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد ریشه (به ترتیب سال ۳۹ و ۲۰ درصد) و عملکرد قند ناخالص (به ترتیب سال ۲۹ و ۱۵ درصد) در هیبریدهای چغندرقند شد، هرچند که باعث افزایش درصد قند (به ترتیب سال ۲۰ و ۶ درصد) گردید. همچنین با کاهش ۳۵ درصدی حجم آب مصرفی در سال دوم، آبیاری محدود با افزایش ۳۲ درصدی کارایی مصرف آب آبیاری همراه بود. هیبریدهای متحمل از ناخالصی‌های ریشه کمتری برخوردار بودند، همان گونه که در سال دوم، با انتخاب هیبریدهای برتر، اثر متقابل بر ناخالصی‌ها از بین رفت و تنها اثر اصلی ژنوتیپ بر هر سه ناخالصی پایدار ماند که نشان دهنده عملکرد یکنواخت‌تر هیبریدهای منتخب در شرایط تنش و تثبیت کیفیت ریشه در نسل‌های بعدی است. شاخص STI نیز به‌عنوان معیاری کارآمد برای شناسایی هیبریدهای متحمل عمل کرد و هیبریدهایی با STI بالاتر از میانگین، عملکرد قابل‌قبولی در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود داشتند. با استفاده از میانگین سالانه شاخص STI ارقام شاهد (ماندارین، IR7 و پایا) و هیبریدهای برتر (7112 *SB36)*S1-66)، * 7112) *S1-70 (SB36، *S1-100 (7112 *SB36)) مشترک در دو سال شناسایی شدند. در ادامه تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد ریشه، عملکرد قند و کارایی مصرف آب آبیاری، هیبریدها را به دو گروه متحمل و حساس تفکیک کرد که در نتیجه هیبریدهای (7112*SB36)*S1-100 و (7112*SB36)*S1-70 به همراه ارقام شاهد ماندارین، IR7 و پایا در هر دو سال به صورت مشترک در خوشه متحمل قرار گرفتند. در نتیجه ارقام شاهد ماندارین، IR7 و پایا به همراه دو هیبرید *S1-70 (7112 *SB36) و *S1- (7112 *SB36) 100 که در هر دو سال به صورت مشترک از STI بالاتر از میانگین برخوردار بودند و همچنین به صورت مشترک در دو سال در خوشه متحمل به کم آبی قرار گرفته بودند به عنوان ارقام و هیبریدهای متحمل به تنش کم آبی در این مطالعه شناخته و معرفی شدند. در نهایت، ارقام و هیبریدهای مذکور به عنوان کاندیداهای مناسب برای کشت در مناطق با محدودیت آب و نیز به عنوان والدین بالقوه در برنامه‌های به‌نژادی برای تولید ارقام متحمل به کم آبی توصیه می‌شوند و استفاده تلفیقی از شاخص STI و تجزیه خوشه‌ای به‌عنوان رویکردی مکمل و کارآمد در غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به کم آبی شناخته شد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از کلیه کارکنان موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند که در اجرای آزمایش ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

References منابع مورد استفاده

Abyaneh HZ, Jovzi M, Albaji M. Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying and N-fertilizer levels on sugar beet crop (*Beta vulgaris* L.). Agricultural water management. 2017; 194:13-23. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.016**

Anonymous. ICUMSA. The determination of the polarisation of sugar beet by the macerator or cold aqueous digestion method using aluminium sulphate as clarifying agent–official. ICUMSA Methods Book: Method GS 6-3. 1994.

Barratt GE, Murchie EH, Sparkes DL. Water use efficiency responses to fluctuating soil water availability in contrasting commercial sugar beet varieties. Frontiers in Plant Science. 2023; 14:1119321. **Doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1119321**

Baryga A, Rusinowski S, Krzyżak J, Kunicka-Styczyńska A, Świącik B, Stec R, Smykała K, Małkowski E, Sitko K. Sugar management and photosynthesis of sugar beet after infection by Cercospora beticola. Scientific Reports. 2025; 15(1):19444. **Doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-03968-8**

Bloch D, Hoffmann C. Seasonal development of genotypic differences in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and their interaction with water supply. Journal of Agronomy and Crop Science. 2005; 191(4):263-72. **Doi: https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00150.x**

Burba M, Georgi B. Fluorometric determination of amino acids in sugar beet roots and sugar factory products by means of fluorescamine and o-phthaldehyde. 1975.

Choukri H, Hejjaoui K, El-Baouchi A, El Haddad N, Smouni A, Maalouf F, Thavarajah D, Kumar S. Heat and drought stress impact on phenology, grain yield, and nutritional quality of lentil (*Lens culinaris Medikus*). Frontiers in Nutrition. 2020; 7:596307. **Doi: https://doi.org/10.3389/fnut.2020.596307**

De Santana TA, Oliveira PS, Silva LD, Laviola BG, de Almeida AA, Gomes FP. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water deficit. Biomass and Bioenergy. 2015; 75:119-25. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.008**

Ebrahimi A, Nabizadeh E, Azizi H, Mohammadian R. The assessment of quantitative and qualitative yield of different native and foreign sugar beet (*Beta vulgaris L.*) cultivars under optimal and limited irrigation conditions. Journal of Plant Environmental Physiology. 2020; 15 (59): 58-71 (In Persian with English abstract).

Esmaeili R, Mohammadian R, Abad HH, Mohammadi GN. Improving the quantity and quality of sugar beet yield using agronomic methods in summer cultivation. Plant, Soil and Environment. 2022; 68(8): 347-357 **Doi: https://doi.org/10.17221/151/2022-PSE**

Fatemi R, Kahraryan B. Study the effect of salicylic acid foliar spraying on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet at different irrigation levels. Journal of Sugar Beet, 2025; 41(1): 73-90. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2025.369144.1386**

Fernandez GC. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Adaptation of food crops to temperature and water stress.In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress; AVRDC Publication, Tainan, . 1992; P. 257-270.

Franco-Navarro JD, Padilla YG, Álvarez S, Calatayud Á, Colmenero-Flores JM, Gómez-Bellot MJ, Hernández JA, Martínez-Alcalá I, Peñella C, Pérez-Pérez JG, Sánchez-Blanco MJ. Advancements in water-saving strategies and crop adaptation to drought: A comprehensive review. Physiologia Plantarum. 2025; 177(4): e70332. **Doi: https://doi.org/10.1111/ppl.70332**

Ghafari E, Rajabi A, Izadi Darbandi A, Rouzbeh F, Amiri R. Evaluation of new sugar beet monogerm hybrids for drought tolerance. *Journal of Crop Breeding*, 2016; 8(17): 8-16. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.18869/acadpub.jcb.8.17.16**

Ghaffari H, Tadayon MR, Bahador M, Razmjoo J. Investigation of the proline role in controlling traits related to sugar and root yield of sugar beet under water deficit conditions. Agricultural Water Management. 2021; 243:106448. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106448**

Hazrati S, Tahmasebi-Sarvestani Z, Mokhtassi-Bidgoli A, Modarres-Sanavy SA, Mohammadi H, Nicola S. Effects of zeolite and water stress on growth, yield, and chemical compositions of Aloe vera L. Agricultural Water Management. 2017; 181:66-72. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026**

Hoffmann CM. Sucrose accumulation in sugar beet under drought stress. Journal of agronomy and crop science. 2010; 196(4):243-52. Doi: https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00415.x

Hosseini SA, Réthoré E, Pluchon S, Ali N, Billiot B, Yvin JC. Calcium application enhances drought stress tolerance in sugar beet and promotes plant biomass and beetroot sucrose concentration. International journal of molecular sciences. 2019; 20(15):3777. **Doi: https://doi.org/10.3390/ijms20153777**

Ilkaee, M. N., Forozesh, P., Habibi, D., Taleghani, D., Rajabi, A. Response of different sugar beet genotypes to water deficit stress. Journal of Sugar Beet, 2016; 32(2): 135-146. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2016.107054**

Kamran M, Ahmad S, Ahmad I, Hussain I, Meng X, Zhang X, Javed T, Ullah M, Ding R, Xu P, Gu W. Paclobutrazol application favors yield improvement of maize under semiarid regions by delaying leaf

senescence and regulating photosynthetic capacity and antioxidant system during the grain-filling stage. Agronomy. 2020; 10(2):187. **Doi: https://doi.org/10.3390/agronomy10020187**

Kaya G, Ergin N. Classification of red beet and sugar beet for drought tolerance using morpho-physiological and stomatal traits. Peer Journal. 2025; 13: e19133. **Doi: https://doi.org/10.7717/peerj.19133**

Khodadadi S, Chegini MA, Soltani A, Ajam Norouzi H, Sadeghzadeh Hemayati S. Influence of foliar-applied humic acid and some key growth regulators on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drought stress: Antioxidant defense system, photosynthetic characteristics and sugar yield. Sugar Tech. 2020; 22(5):765-72. **Doi: https://doi.org/10.1007/s12355-020-00839-6**

Khorshid, A., Mesbah, M., Ranji, Z., Vahedi, S., Mesbah, M. Correlation between quantitative and qualitative traits under salinity and drought in comparison with non-stress conditions in sugar beet (*Beta vulgaris*). Journal of Sugar Beet, 2004; 19(2): 123-132. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2004.7200**

Kiymaz S, Ertek A. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırsehir, Turkey. Agricultural Water Management. 2015; 158:156-65. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.004**

Kumar A, Nayak AK, Pani DR, Das BS. Physiological and morphological responses of four different rice cultivars to soil water potential-based deficit irrigation management strategies. Field Crops Research. 2017; 205:78-94. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.026**

Li Y, Liu N, Fan H, Su J, Fei C, Wang K, Ma F, Kisekka I. Effects of deficit irrigation on photosynthesis, photosynthate allocation, and water use efficiency of sugar beet. Agricultural Water Management. 2019; 223:105701. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105701**

Li Y, Ye W, Wang M, Yan X. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. Climate research. 2009; 39:31-46. Doi: https://doi.org/10.3354/cr00797

Lichtenthaler HK. [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. pp. 350-382. In: Methods in Enzymology. Academic Press. 1987; (Vol. 148). **Doi: https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1**

Namjoyan S, Rajabi A, Sorooshzadeh A, AghaAlikhani M. The potential of tebuconazole for mitigating oxidative stress caused by limited irrigation and improving sugar yield and root quality traits in sugar beet. Plant Physiology and Biochemistry. 2021; 162:547-55. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.027**

Nikzad S, Sharafi S, Hamze H, Mahmoodi TM, Yazdan Seta S. Investigating the effect of foliar spraying of zinc nanoparticles and biostimulants on modulating the effect of water deficit stress in sugar beet by using Integrated Biomarker Response Version 2. Scientific Reports. 2025;15(1):37780. **Doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-19912-9**

Ober ES, Clark CJ, Le Bloa M, Royal A, Jaggard KW, Pidgeon JD. Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet: agronomic traits of diverse genotypes under droughted and irrigated conditions. Field Crops Research. 2004; 90(2-3):213-34. **Doi: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.004**

Qiao M, Hong C, Jiao Y, Hou S, Gao H. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. Plants. 2024; 13(13):1808. **Doi: https://doi.org/10.3390/plants13131808**

Romanova AK, Semenova GA, Novichkova NS, Ignat'ev AR, Mudrik VA, Ivanov BN. Physiological, biochemical, and fluorescence parameters of senescing sugar beet leaves in the vegetative phase of growth. Russian Journal of Plant Physiology. 2011; 58(2):271-82. **Doi: https://doi.org/10.1134/S1021443711020178**

Ruggiero A, Punzo P, Landi S, Costa A, Van Oosten MJ, Grillo S. Improving plant water use efficiency through molecular genetics. Horticulturae. 2017; 3(2):31. **Doi: https://doi.org/10.3390/horticulturae3020031**

Saeidabadi H, Afsharmanesh G, Shirzadi, M, Sadeghzadeh Hemayati, S. The effect of drought stress and transplanting method on agronomic characteristics, quantitative and qualitative yield as well as water use efficiency of different sugar beet cultivars in autumn planting. Journal of Sugar Beet, 2021; 37(1): 27-48. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2022.352225.1252**

Taleghani D, Saremirad A. Drought impacts on the reaction of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) pollinator lines in terms of sugar. Crop Science Research in Arid Regions. 2023; 4(2):371-388. (In Persian with English abstract). **Doi: https://doi.org/10.22034/csrar.2022.321003.1173**

Taleghani, D., Sadeghzadeh Hemayati, S., Matluobi, F., Khayamim, S. Study of some quantitative and qualitative traits of promising sugar beet genotypes under drought stress conditions. Journal of Sugar Beet, 2010; 25(2): 123-113. **Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2010.979**

Wang G, Miao X, Xu B, Tian D, Ren J, Li Z, Li R, Zheng H, Wang J, Tang P, Feng Y. Exploring the water–soil–crop dynamic process and water use efficiency of typical irrigation units in the Agro-Pastoral ecotone of Northern China. Plants. 2024;13(14):1916. **Doi: https://Doi.org/10.3390/plants13141916**

Yang B, Fu P, Lu J, Ma F, Sun X, Fang Y. Regulated deficit irrigation: an effective way to solve the shortage of agricultural water for horticulture. Stress Biology. 2022; 2(1):28. **Doi: https://doi.org/10.1007/s44154-022-00050-5**