

Effect of planting density, irrigation method, and nitrogen fertilizer on the quantitative and qualitative performance of sugar beet under transplanting system

Gholamreza Mohsenabadi^{1*}, Hossein Mohammadi Pakdehi¹, Mohammad Hassan Bigloui², Hasan Habibi³, Valiollah Yousefabadi⁴

(Received: 28 August. 2025 ; Accepted: 2 Dec. 2025)

How to cite this article:

Mohsenabadi GR, Mohammadi Pakdehi H, Bigloui MH, Habibi H, Yousefabadi V. Effect of planting density, irrigation method, and nitrogen fertilizer on the quantitative and qualitative performance of sugar beet under transplanting system. *Journal of Sugar Beet*. 2025; (41)1. 49-72. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2025.370557.1394.

Extended Abstract

Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is an important crop, contributing approximately 25% of global sugar production. Its cultivation is particularly significant in arid and semi-arid regions, where optimal water and nutrient management is essential for sustainable productivity. Transplanting sugar beet has emerged as an innovative cultivation method, providing advantages such as rapid establishment, effective early-season weed control, and improved pest management compared with traditional direct seeding, especially under resource-limited conditions. The yield and quality of sugar beet are strongly influenced by several agronomic factors, including planting density, irrigation regime, and nitrogen fertilization. These factors often interact in complex ways. For instance, while nitrogen is essential for plant growth, excessive application can lead to vegetative development at the expense of root yield and sugar content, increase impurities such as sodium and alpha-amino nitrogen, and pose environmental risks through water pollution. Conversely, nitrogen deficiency can limit photosynthesis, reduce root expansion, and decrease sucrose accumulation. Irrigation management is also critical, as sugar beet is a high water-demanding crop. Drip irrigation systems are known for their efficiency in delivering water and nutrients directly to the root zone, potentially enhancing water use efficiency and yield compared with conventional furrow methods. Planting density affects resource competition among plants, influencing light

interception, water uptake, root size and sugar concentration. Therefore, optimizing the interaction among planting density, irrigation, and nitrogen fertilization is crucial for maximizing both the quantity and quality of sugar beet yield. This study aimed to investigate these interactions in a transplanted sugar beet system in the Abyek region of Qazvin Province, Iran.

Materials and Methods

A two-year field experiment (2022 and 2023) was conducted in Abyek, Qazvin Province. The experiment was arranged as a split-split plot design within a randomized complete block design (RCBD) with three replications.

The treatments included two planting densities (83,000 and 100,000 plants per hectare) as the main plots (C_1 and C_2), three irrigation methods (furrow, drip tape, and alternate furrow) as the subplots (I_1 , I_2 , and I_3), and three nitrogen fertilizer levels (50, 100, and 150 kg N ha⁻¹) as the sub-subplots (N_1 , N_2 , and N_3). The distance between emitters in the drip lines was 20 cm. The German monogerm sugar beet cultivar 'Puma' was used. Seedlings were raised in a nursery and transplanted at the 8-10 leaf stage, approximately 60 days after sowing. Irrigation scheduling was managed using the CROPWAT 8.0 software based on daily meteorological data from the local station, with application efficiencies of 95% for drip and 60% for furrow irrigation. Morphological traits including leaf length and width, root length and diameter, plant height, and number of leaves, as well as root yield and quality parameters (sugar content, extractable sugar, molasses percentage,

1. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Gilan, Gilan, Iran

*Corresponding author: mohsenabadi@guilan.ac.ir

2. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Gilan, Gilan, Iran.

3. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran.

4. Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

sodium, potassium, and alpha-amino nitrogen) were measured at harvest. Data were analyzed using SAS 9.4 software, and mean comparisons were performed using Tukey's test at a 5% significance level.

Results

The combined analysis of variance revealed that planting density, irrigation method, and nitrogen fertilization significantly influenced most measured traits.

Morphological Traits and Yield: Drip irrigation (I2) combined with the lower planting density of 83,000 plants ha⁻¹ (C1) produced the highest values for leaf length (46.86 cm), leaf width (18.75 cm), root diameter, plant height (105.88 cm), and dry matter weight (1319.94 g). In contrast, alternate furrow irrigation (I3) at the higher density (C2) resulted in the lowest values. Root yield was highest (113.61 T ha⁻¹) under drip irrigation at the C1 density.

Quality Parameters: Sugar content (20.24%) and extractable sugar coefficient were maximized under drip irrigation (I2) at C1 density. The lowest molasses percentage and alpha-amino nitrogen content (3.04 mmol/100g pulp) were also recorded under this treatment. Conversely, higher planting density (C2) combined with furrow irrigation increased sodium content and root alkalinity. Nitrogen application up to 150 kg ha⁻¹ increased root length but occasionally reduced the extractable sugar coefficient, indicating a potential negative impact on processing quality at very high rates.

Discussion

The superior performance under drip irrigation is attributed to the uniform and efficient application of water and nutrients directly to the root zone, which reduces stress and optimizes growth conditions. Lower planting density (83,000 plants ha⁻¹) minimized inter-plant competition for resources such as light, water, and nutrients, allowing for better individual plant development and larger root size, thereby contributing to higher yield and quality. The response to nitrogen was complex. While increasing nitrogen up to 150 kg ha⁻¹ improved vegetative growth and root yield, the optimal rate for balancing yield with high sugar quality

(extractable sugar) was 100 kg N ha⁻¹. This aligns with previous studies indicating that excessive nitrogen promotes vegetative growth at the expense of sucrose accumulation and increases impurities like alpha-amino nitrogen. The significant interaction between year and other factors highlights the influence of climatic variations between the two growing seasons, highlighting the importance of adaptable management practices.

Conclusion

This study demonstrates that the interaction of planting density, irrigation method, and nitrogen fertilization is crucial for optimizing sugar beet production. The combination of lower planting density (83,000 plants ha⁻¹), drip irrigation, and moderate nitrogen application rate (100 kg N ha⁻¹) provided the best results for both quantitative yield and qualitative traits (sugar content and purity) in transplanted sugar beet in the Abyek region. This management strategy efficiently utilizes resources, improves water productivity, and maximizes economic returns, providing valuable guidance for farmers in similar semi-arid environments.

Keywords: Molasses percentage, Morphological traits, Sugar beet root yield, Sugar content.

References

- Shirinzadeh N, Biglouei MH, Akhavan K, Mohammadi A. The Effect of Deficit Irrigation and Irrigation Method on Water Productivity, Yield, and Yield Components of Wheat. *Journal of Crops Improvement*. 2022; 24(2): 283-296. Doi: <https://doi.org/10.22059/jci.2021.309207.2444>
- Khaembah EN, Nelson WR. Transplanting as a means to enhance crop security of fodder beet. *bioRxiv*. 2016. p.056408. Doi: <https://doi.org/10.1101/056408>
- Al-Dhumri SA, Al Mosallam MS, Zhang W, Alharbi S, Abou-Elwafa SF. Application of molasses as an eco-innovative approach substitutes mineral N fertilization and enhances sugar beet productivity. *Waste Biomass Valorization*. 2023; 14: 287–296. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01873-z>

اثر تراکم کشت، روش آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی چغندرقد (*Beta*)

(*vulgaris* L.) در سیستم کشت نشائی[†]

غلامرضا محسن آبادی^{۱*}، حسین محمدی پاکدهی^۲، محمدحسن بیگلویی^۳، حسن حبیبی^۴، ولی الله یوسف آبادی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۱

نوع مقاله: پژوهشی

DOI:10.22092/jsb.2025.370557.1394

غر. محسن آبادی، ح. محمدی پاکدهی، م.ح. بیگلویی، ح. حبیبی و و. یوسف آبادی، ۱۴۰۴. اثر تراکم کشت، روش آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) در سیستم کشت نشائی. چغندرقد ۴۱(۱): ۴۹-۷۲

چکیده

عملکرد کمی و کیفی چغندرقد به میزان قابل توجهی به شیوه‌های مختلف به‌زراعی واکنش نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی اثر تراکم، روش آبیاری و کود نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقد نشائی در منطقه آبیگ استان قزوین آزمایشی طی دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) اجرا گردید. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های دو بارخردشده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: تراکم کشت در دو سطح ۸۳ و ۱۰۰ هزار بوته در هکتار در کرت اصلی و سه روش آبیاری فارو، قطره‌ای نواری و فارو یک‌درمیان در کرت فرعی همراه با سه سطح نیتروژن ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در کرت فرعی فرعی و فاصله قطره‌چکان‌ها در نوارها ۲۰ سانتی‌متر بود. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر تراکم کشت بر صفات مورفولوژیک و میزان سدیم معنی‌دار بود. اثر روش آبیاری بر صفات مورفولوژیک، درصد قند، درصد ملاس، میزان سدیم و نیتروژن مضره معنی‌دار شد. همچنین نیتروژن بر صفات مورفولوژیک اثر معنی‌داری داشت. افزایش تراکم باعث کاهش طول و عرض برگ، قطر ریشه و وزن ماده خشک شد، درحالی‌که آبیاری قطره‌ای و استفاده از سطوح بالاتر نیتروژن به بهبود این صفات کمک کرد. سال اول آزمایش نسبت به سال دوم عملکرد بهتری در اکثر صفات نشان داد. بیشترین طول و عرض برگ در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار و آبیاری قطره‌ای مشاهده شد. افزایش نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش طول ریشه (۳۲/۷ سانتی‌متر) و عملکرد ریشه (۱۱۳/۶۱ تن در هکتار) شد. بیشترین قند با میزان ۲۴/۲۰ درصد و کمترین میزان نیتروژن مضره (با میانگین ۳/۰۴ میلی‌مول در ۱۰۰ گرم خمیر) در روش آبیاری قطره‌ای مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار، روش قطره‌ای و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نسبت به سایر سطوح به‌طور قابل توجهی عملکرد و کیفیت چغندرقد را بهبود می‌بخشد. واژه‌های کلیدی: درصد قند، درصد ملاس، صفات مورفولوژیک، عملکرد ریشه چغندرقد

[†] - این مقاله برگرفته از رساله‌ی دانشجویی است.

۱. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

*- نویسنده مسئول: mohsenabadi@guilan.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری تخصصی آگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

۳. دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۵. استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) متعلق به خانواده Amaranthaceae، به عنوان دومین محصول زراعی مهم قندی در سراسر جهان در رتبه بندی قرار می گیرد (Bhadra et al. 2020). چغندر قند بومی سواحل غربی و جنوبی اروپا یک محصول مهم قندی است. چغندر قند مناسب کشت در مناطق معتدل است و ریشه آن حاوی مقدار زیادی ساکارز است (Paul et al. 2019). چغندر قند در مقایسه با نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با طول دوره رشد کوتاه تر (۵-۶ ماه) و غلظت بالاتر قند (۱۴-۲۰٪) از مزیت خوبی برخوردار است (Paul et al. 2019). شکر تولید شده از چغندر قند ۲۵ درصد از تولید شکر جهانی را تشکیل می دهد (Anonymous 2022). کشت نشائی چغندر قند یکی از روش های جدید و بهبود یافته برای تولید این محصول است که در دهه های اخیر به دلیل مزایای متعدد آن نسبت به روش های سنتی، به ویژه در کشورهایی با شرایط آب و هوایی خشک یا نیمه خشک و مشکلات مربوط به آبیاری و مدیریت منابع آب، اقبال بیشتری پیدا کرده است. کشت نشائی به عنوان یک روش مدیریت مفید برای اطمینان از استقرار سریع (Khaembah and Nelson 2016)، کنترل مؤثر علف های هرز در اوایل فصل (Kouwenhoven et al. 1991)، مدیریت بهتر آفات خاص (Huang et al. 2014)، شناخته شده است. از سوی دیگر، عملکرد چغندر قند ارتباط تنگاتنگی با شرایط اقلیمی، ژنوتیپ، آبیاری، مدیریت نیتروژن، تراکم کاشت و غیره دارد و مدیریت مناسب آب و کود می تواند عملکرد و کارایی مصرف آب و کود چغندر قند را بهبود بخشد (Haqshenas et al. 2023). با این حال، در نواحی خشک، کشاورزان مقدار زیادی کودهای نیتروژنی در چندین نوبت برای دستیابی به عملکرد بالایی چغندر قند استفاده می کنند. این عمل نه تنها به طور قابل توجهی عملکرد را بهبود نمی بخشد بلکه اثرات منفی مانند راندمان مصرف کم نیتروژن و آلودگی نیتروژن ایجاد می کند (Leilah and Khan 2021). چغندر قند یکی از گیاهان با مصرف آب بالا است و هر گیاه می تواند در مرحله رشد سریع شاخ و برگ، روزانه یک لیتر آب در فضای آزاد مصرف کند بنابراین آب کافی برای

رشد این محصول قندی ضروری است (Vega et al. 2020). همچنین چغندر قند، یک محصول کود دوست است (Chang et al. 2024). در میان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، نیتروژن مهم ترین عاملی است که بر عملکرد و کیفیت قند در چغندر قند تأثیر زیادی دارد. با این حال، مصرف بیش از حد یا کمبود نیتروژن هر دو می توانند باعث کاهش شدید عملکرد محصول شوند. مصرف زیاد نیتروژن معمولاً باعث افزایش رشد رویشی چغندر قند می شود اما از انتقال مواد فتوسنتزی از برگ ها به ریشه جلوگیری می کند و در نتیجه عملکرد نهایی کاهش می یابد. همچنین نیتروژن زیاد موجب کاهش درصد قند و کیفیت ریشه ها می شود (Salami and Saadat 2013).

کاهش هم زمان میزان آب و کود نیتروژن می تواند باعث افزایش بهره وری مصرف آب و کود شود. در برخی پژوهش ها مشاهده شده که با وجود کاهش منابع، کیفیت قند در ریشه ها افزایش یافته است (Khan et al. 2025). مطالعات نشان داده اند که استفاده از ۷۵ درصد مقدار معمول آبیاری و کوددهی می تواند عملکرد مطلوب و کیفیت مناسب ملاس را حفظ کند (Aydin et al. 2025). همچنین در تحقیق دیگری در مناطق نیمه مرطوب، کاهش ۲۵ درصدی آبیاری نسبت به آبیاری کامل، بهره وری مصرف آب را افزایش داد بدون این که تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد یا کیفیت قند داشته باشد (Horáková et al. 2022). از سوی دیگر کمبود نیتروژن نیز، می تواند با کاهش فتوسنتز و متابولیسم گیاه، رشد ریشه و تجمع ساکارز را محدود کند و در نتیجه عملکرد کاهش یابد. در مقابل، افراط در مصرف نیتروژن باعث رشد زیاد برگ ها و شاخه ها می شود که با ریشه برای جذب مواد فتوسنتزی رقابت می کنند و در نتیجه، رشد و عملکرد ریشه کاهش می یابد (Yan et al. 2021). افزون بر این، مصرف زیاد نیتروژن باعث کاهش مقدار ساکارز در ریشه ها، افزایش ترکیبات نامطلوب مانند K^+ ، Na^+ و $\alpha-N$ ، و در نهایت کاهش عملکرد و کیفیت قند می شود. همچنین، نیتروژن اضافی می تواند باعث آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی شود و خطر آلودگی محیط زیست را افزایش دهد (Al-Dhumri et al. 2023). همچنین کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر الگوهای

جغرافیایی در ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع گردیده و در طی دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ اجرا شد. اطلاعات هواشناسی منطقه محل آزمایش در سال‌های اجرای طرح در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان بارندگی در طی دوره آبیاری (فروردین تا آبان ماه) در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۱۸/۳۷ و ۱۸/۸۴ میلی‌متر بود که در مقایسه با متوسط بارندگی طولانی مدت از قرار ۳۲ و ۳۳ میلی‌متر برای ماه‌های گذشته به ترتیب معادل ۷/۴ و ۷/۱ میلی‌متر کمتر بود.

رطوبتی قرار می‌گیرد. در همین راستا استفاده از فناوری‌های مدرن و کارآمد مانند کوددهی قطره‌ای می‌تواند کنترل هم‌زمان کود و آب را محقق کند. این امر تأمین بهینه آب و مواد مغذی به محصولات را تضمین می‌کند و جذب و استفاده از کودها توسط محصولات را بهبود می‌بخشد (Ma et al. 2019). هدف از این تحقیق بررسی صفات بررسی اثر تراکم، روش آبیاری و کود نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند نشائی در منطقه آبیک استان قزوین بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در کشت و صنعت شاهین‌فر واقع در ۸ کیلومتری شهرستان آبیک، استان قزوین که از نظر موقعیت

جدول ۱ اطلاعات هواشناسی منطقه محل انجام آزمایش در سال‌های اجرای طرح

Table 1 Meteorological information of the experimental site during the study years

سال	میانگین دمای سالانه	میانگین حداکثر دما	میانگین حداقل دما	میانگین بارندگی	میانگین سرعت باد	مجموع روزهای همراه با باران
Year	Annual mean temperature (°C)	Mean maximum temperature (°C)	Mean minimum temperature (°C)	Mean rainfall (mm)	Mean wind speed (m.s)	Total Number of rainy days
2022	15.5	23.4	7.6	147.02	3.7	58
2023	15.6	23.4	7.9	150.77	4.7	41

یکی از روش‌های آبیاری اختصاص یافت. مقدار آبی که در هر نوبت آبیاری به هر تیمار آبیاری داده شد با استفاده از یک کنتور آب با دقت ۰/۰۱ لیتر اندازه‌گیری شد. انتقال آب آبیاری به هر کرت با سیستم تحت فشار و با به‌کارگیری اتصالات و شیرفلکه‌های مربوطه اعمال شد. مدیریت آبیاری بر اساس برنامه کامپیوتری کراپ وات (CROPWAT 8.0) انجام شد (Allen et al. 1998). ورودی‌های این برنامه شامل داده‌های هواشناسی روزانه بود که از آرشیو ایستگاه هواشناسی شهرستان آبیک استان قزوین تهیه شده بود. نیاز آبی گیاه چغندر قند با استفاده از داده‌های روزانه ۳۳ ساله ایستگاه هواشناسی آبیک قزوین توسط نرم‌افزار کراپ وات تعیین شد (جدول ۲) و سپس نیاز آبی روزانه گیاه با در نظر گرفتن راندمان کاربرد آب ۹۵ درصد در سیستم آبیاری قطره‌ای و ۶۰ درصد در سیستم آبیاری شیری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شدند.

$$Tr = ETc(Pd + 0.15(1 - Pd))$$

رابطه ۱

فاکتورهای آزمایشی و نحوه اعمال آن‌ها

این تحقیق به صورت طرح کرت‌های دو بار خرد شده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: تراکم کشت در دو سطح ۸۳ و ۱۰۰ هزار بوته در هکتار در کرت اصلی، سه روش آبیاری شامل فارو، قطره‌ای نواری و فارو یک‌درمیان به عنوان کرت فرعی و کود نیتروژن شامل سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کرت فرعی فرعی بودند (Yazdi-Samadi et al., 2013). فاصله دبی قطره‌چکان‌ها در نوارها ۲۰ سانتی‌متر بود. با توجه به قالب طرح آزمایشی هر کرت اصلی دارای ۵۰ ردیف کشت و هر کرت فرعی حاوی ۱۵ ردیف و کرت‌های فرعی فرعی شامل پنج ردیف کشت بود. مساحت هر کرت به ترتیب بر اساس تراکم‌های موجود (۱۰۰ هزار بوته و ۸۳ هزار بوته) ۳۶ و ۴۲ متر مربع بود. در این تحقیق سه روش آبیاری، مورد بررسی قرار گرفت. کرت‌های فرعی بر اساس نقشه کشت، (۱۵ ردیف) به

در این رابطه: Tr نیاز آبی سیستم، ETC تبخیر- تعرق گیاه و Pd سطح سایه‌انداز است. مساحت سطح سایه‌انداز با توجه به قطر قسمت هوایی گیاه و فاصله بین بوته‌ها و ردیف‌ها ۰/۸۸ در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط به گیاه (مراحل رشد گیاه، ضریب گیاهی و غیره) از نشریه FAO56 استخراج (Alen et al. 1998) و بر اساس شرایط منطقه تصحیح شد. داده‌های مربوط به مدیریت آبیاری بر اساس تیمارهای تعریف‌شده در نظر گرفته شد. ضرایب پتانسیل رطوبتی FC و PWP خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشاری و وزن مخصوص خاک با روش مغزه‌گیری (برداشتن نمونه‌ی دست‌نخورده از خاک (نمونه با ساختمان

طبیعی) با استفاده از استوانه یا قالب فلزی مخصوص) تعیین شد. قبل از اجرای آزمایش به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد. داده‌های مربوط به خصوصیات خاک در جدول (۳) ارائه شده است. در این رابطه: Tr نیاز آبی سیستم، ETC تبخیر- تعرق گیاه و Pd سطح سایه‌انداز است. مساحت سطح سایه‌انداز با توجه به قطر قسمت هوایی گیاه و فاصله بین بوته‌ها و ردیف‌ها ۰/۸۸ در نظر گرفته شد.

جدول ۲ میانگین ماهیانه عوامل اقلیمی بین دوره‌های آبیاری در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۴۰۲ ایستگاه هواشناسی قزوین (شهرستان آبیک)
Table 2 Monthly average of climatic factors during irrigation periods from 1990 to 2023 at the Qazvin Meteorological Station (Abyek County)

ماه Month	مجموع بارندگی‌های ماهانه Total monthly rainfall (mm)	تعداد ساعات آفتابی Sunshine duration (hours)	سرعت باد Wind speed (m.s)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)
April	41.6	5.23	1.16	69.27	6.85	-3.78
May	24.2	6.00	1.59	63.81	9.54	-1.96
June	1.5	6.54	1.97	54.47	15.03	1.89
July	0.5	7.64	1.81	54.20	20.82	6.63
August	0.4	9.19	1.61	50.58	26.39	10.48
September	4.0	11.45	1.86	39.14	32.95	15.07
October	11.0	11.36	1.82	39.59	35.74	17.87
November	36.1	10.86	1.65	37.07	34.16	16.87
December	38.4	10.27	1.59	40.24	31.16	13.43
January	21.5	8.15	1.35	48.47	23.80	8.46
February	36.2	6.04	1.24	62.03	14.60	2.78
March	38.75	5.05	1.21	69.14	9.10	-1.31

جدول ۳ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 3 Some physical and chemical properties of the soil at the experimental site

بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	Field capacity	Permanent wilting point	Soil bulk density pb (g.cm ³)	pH	EC (dS.m)	Total N (%)	P (ppm)	K (ppm)
لوم Loam	34	46	20	25.7	15.6	1.49	9.7	1.6	0.09	7.8	47.4

آماده‌سازی زمین و اجرای آزمایش

کشت بذر در خزانه‌ای در فضای باز و در خاک مزرعه با مشخصاتی که در جدول ۳ آورده شده است به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع برای هر هکتار صورت گرفت. احداث خزانه بر اساس نسبت ۱ به ۱۰ خزانه به زمین اصلی بود، بدین معنی که یک هکتار خزانه برای مزرعه‌ای به مساحت ده هکتار نشاء تولید

می‌کند. با توجه به این که چغندر قند به ۱۸۰ تا ۲۱۰ روز زمان جهت برداشت در سال اول نیاز دارد این محصول در استان قزوین به‌طور معمول از اواخر اسفندماه تا اوایل فروردین‌ماه کشت می‌شود. در این آزمایش از رقم پوما که تولید کشور آلمان و یک رقم مونوژم است استفاده شد. کشت بذر در خزانه با استفاده از دستگاه خطی کار گندم به‌صورت چهار ردیف روی پشته که

از کاشت؛ زمانی که ریشه‌ها به وزن و درصد قند مطلوب رسیدند، انجام می‌شود و برداشت در تاریخ ۲۵ آبان با دقت جهت حفظ کیفیت ریشه‌ها صورت گرفت. یکی از معیارهای کلیدی مطلوب بودن زمان برداشت، رسیدن به بیشینه‌ی درصد قند در ریشه است یعنی وقتی درصد قند خام یا شکر قابل استحصال (یا شکر سفید) به اوج‌اش می‌رسد (و اگر دیرتر برداشت شود)، به دلیل بارندگی و یخبندان برداشت دچار مشکل می‌شود. قطر و میانگین طول ریشه توسط کولیس و خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین طول و عرض شش نمونه برگ در بوته چغندر قند و همچنین سطح اشغال کانوپی برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه عملکرد ریشه شش نمونه از سطح مشخص برداشت شد و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. سپس میانگین وزن نمونه‌ها بر اساس مساحت سطح نمونه‌برداری به هکتار تعمیم داده و تبدیل به تن در هکتار شد. تمامی اندازه‌گیری‌های کیفی در این طرح در آزمایشگاه‌های کارخانه قند قزوین و مؤسسه اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کرج صورت گرفت. درصد قند به روش پلاریمتری (برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندر قند) اندازه‌گیری شد (Seraji et al. 2015).

محاسبات آماری: قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد. زمانی که واریانس خطاهای آزمایشی از مقادیر جدول F کمتر بود، فرض H_0 پذیرفته شد که نشان‌دهنده‌ی همگن بودن واریانس‌ها است. سپس با وجود همگن بودن واریانس‌ها، داده‌های دو سال توسط نرم‌افزار SAS ver 4.9 مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. جهت مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

طول برگ

بر اساس نتایج تجزیه مرکب داده‌های این آزمایش، اثر سال، تراکم، آبیاری و نیتروژن و همچنین اثرات متقابل تراکم در

فاصله پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های روی پشته ۱۲ سانتی‌متر و فاصله هر بذر از هم حدود دو سانتی‌متر در اوایل فروردین انجام شد. جهت دستیابی به حداکثر جوانه‌زنی، خزانه به سرعت آبیاری و با فاصله چهار روز پس از خاک‌آب، آبیاری انجام می‌شد. آبیاری خزانه به صورت شیاری نشتی انجام شد. جهت دستیابی به نشاءهایی حدود هشت تا ۱۰ برگ و طول ریشه‌ها حدود ۱۲ الی ۱۰ سانتی‌متر و قطری حدود ۲۰ میلی‌متر به بازه زمانی شصت‌روزه نیاز بود. در آخرین آبیاری انجام‌شده در خزانه نشاءها با قارچ‌کش بنومیل که یک قارچ‌کش عمومی است با غلظت یک در هزار ضدعفونی شدند.

به‌وسیله چغندرکار پنوماتیکی ردیف‌های کشت ایجاد گردید. فواصل ردیف‌های کشت بر اساس ادوات موجود و بر اساس تراکم موردنظر ۵۰ یا ۶۰ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. سپس با کمک نیروی انسانی و با استفاده از ابزار کشت مکانیکی (نشاء کار) اقدام به کشت نشاءها شد. لازم به ذکر است در زمان استخراج نشاءها، برگ‌ها از فاصله چهار الی پنج سانتی‌متری طوقه و همچنین مریستم انتهایی ریشه حذف شد. با توجه به این‌که امکان هیرم کاری به دلیل عدم وجود ادوات مناسب نشاء کاری، کشت نشاءها در خاک خشک و به صورت خشکه‌کاری انجام شد و بلافاصله بعد از انتقال، آبیاری صورت گرفت. با توجه به وجود تجربه در انجام این روش کشت، طی بازدید سه الی پنج روزه بعد از نخستین آبیاری تمامی بوته‌ها، شروع به رشد مجدد کردند و درصد تلفات آن‌ها در حد صفر بود.

مراقبت‌های لازم در دوره داشت شامل وجین دستی برای حذف علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با استفاده از علف‌کش‌های مناسب انجام شد. کوددهی به صورت مرحله‌ای و با تأکید بر کودهای نیتروژنی، فسفر و پتاسیم همراه با آمینواسیدها انجام گرفت تا رشد بهینه گیاه تأمین شود. آبیاری مزرعه به صورت منظم و مطابق نیازهای رشدی گیاه با شیوه‌های شیاری یا بارانی صورت گرفت تا از تنش خشکی جلوگیری شود.

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

زمان برداشت چغندر قند معمولاً پس از گذشت ۱۸۰ تا ۲۱۰ روز

سال، تراکم در آبیاری، نیتروژن در سال و نیتروژن در تراکم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تراکم در سال و آبیاری در سال نیز در سطح احتمال پنج درصد بر صفت طول برگ تأثیر معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴ نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورفولوژی و عملکرد ریشه چغندرقدن تحت اثر سال، آبیاری، تراکم و کود
Table 4 Combined analysis of variance for some morphological traits and root yield of sugar beet under the effects of year, irrigation, plant density, and fertilizer

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		طول برگ Leaf length	قطر ریشه Root diameter	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع بوته Plant height	وزن ماده خشک Dry matter weight	وزن کل ریشه Total root weight
Year (Y) سال	1	1109.73**	113.67**	1054.68**	2118.24**	1502777.37 ^{ns}	10637079105 ^{ns}
Y(block)	4	17.10	18.95	33.22	14.12	926182.02	6382008846
Density (D) تراکم	1	81.12**	136.01**	15.03*	558.96**	6565429.27*	19497705154 ^{ns}
Y*D	1	5.97**	64.09**	23.42**	2310.18**	1129003.6 ^{ns}	7534756842 ^{ns}
Error (main-plot) خطای کرت اصلی	4	1.19	7.40	16.15	10.87	926936.66	6388272349
Irrigation (I) آبیاری	2	772.99**	489.69**	15.30**	111.87**	5441694.75*	41479422259**
Y*I	2	78.30*	144.71**	50.85*	5.72 ^{ns}	617865.00 ^{ns}	4336555022 ^{ns}
D*I	2	116.58**	140.19**	270.87**	35.71**	1634411.76 ^{ns}	9878973451**
Y*D*I	2	0.38 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.60 ^{ns}	1027381.28 ^{ns}	7091531650 ^{ns}
Error (subplot) خطای کرت فرعی	16	3.07	254.53	30.25	338.90	520924.22	3531946474
Nitrogen (N) نیتروژن	2	2.18**	5.71**	26.56**	2.26 ^{ns}	1064726.73 ^{ns}	7334705745 ^{ns}
Y*N	2	35.47**	23.23 ^{ns}	10.69**	45.05*	850771.50 ^{ns}	5807874455 ^{ns}
D*N	2	13.28**	4.35 ^{ns}	4.37 ^{ns}	11.09 ^{ns}	1261216.62 ^{ns}	8732007565 ^{ns}
I*N	4	0.39 ^{ns}	3.36 ^{ns}	0.33 ^{ns}	2.02 ^{ns}	929967.38 ^{ns}	6465208587 ^{ns}
Y*D*N	2	0.07 ^{ns}	3.47 ^{ns}	0.84 ^{ns}	3.27 ^{ns}	1200858.15 ^{ns}	8231032245 ^{ns}
Y*I*N	4	0.65 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.67 ^{ns}	1.29 ^{ns}	1009187.78 ^{ns}	6940525554 ^{ns}
D*I*N	4	0.27 ^{ns}	1.63 ^{ns}	0.20 ^{ns}	3.77 ^{ns}	1146163.45 ^{ns}	7919645822 ^{ns}
Y*D*I*N	4	0.67 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.70 ^{ns}	3.81 ^{ns}	1113856.37 ^{ns}	7651497076 ^{ns}
Error (sub-subplot) خطای کرت فرعی فرعی	48	0.72	1.86	0.38	2.78	1060256.6	7262750379.2
CV% ضریب تغییرات	-	2.06	3.42	3.31	6.04	15.92	21.15

*, **, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ ، معنی‌دار در سطح $p \leq 0.01$ و غیرمعنی‌دار.

*, **, ns: Significant at $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, and not significant, respectively.

همچنین نتایج نشان داد که در اثر متقابل آبیاری در تراکم، با افزایش تراکم از ۸۳ به ۱۰۰ هزار بوته در هکتار، طول برگ کاهش یافت. در بین تیمارها، بیشترین طول برگ در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار و آبیاری قطره‌ای مشاهده شد. در مقابل، کمترین طول برگ با میانگین ۳۴/۱۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار آبیاری یک‌درمیان و تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر سال در آبیاری نیز نشان داد که آبیاری یک‌درمیان موجب کاهش طول برگ نسبت به آبیاری نشتی و

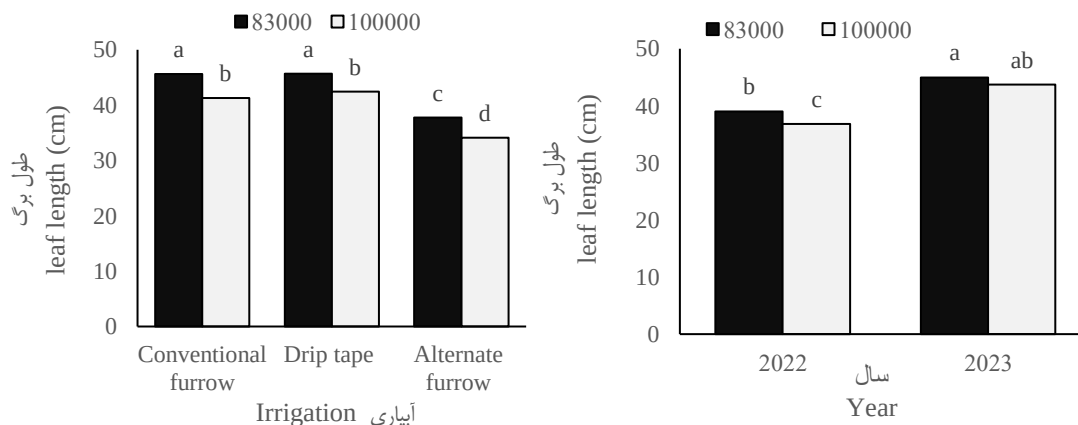
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تراکم نشان داد که چغندرقدن در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش دارای طول برگ بلندتری بود. همچنین، افزایش تراکم در هر دو سال موجب کاهش طول برگ شد. بر اساس نتایج، بیشترین طول برگ مربوط به سال ۱۴۰۲ با تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار و کمترین طول برگ مربوط به سال ۱۴۰۱ با تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار بود (شکل ۱).

آبیاری قطره‌ای تراکم، آبیاری و نیتروژن انجام شد. طول برگ از صفات مورفولوژیکی مؤثر بر شاخص سطح برگ است و به‌طور غیرمستقیم با عملکرد ریشه و درصد قند ارتباط دارد زیرا افزایش طول برگ موجب افزایش سطح فتوسنتز و ذخیره مواد قندی در ریشه می‌شود. بنابراین این صفت به‌عنوان شاخصی برای تبیین اثر عوامل مدیریتی بر رشد رویشی و نهایتاً عملکرد اقتصادی گیاه اندازه‌گیری شد (Milford and Watson 1971; Draycott 2006). نتایج نشان داد که افزایش تراکم کاشت باعث کاهش طول برگ و در مقابل، آبیاری قطره‌ای و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش آن گردید. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط بهینه رشد رویشی (طول برگ بیشتر) در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار، آبیاری قطره‌ای با میانگین ۴۵/۶۶ سانتی‌متر به‌دست آمد که از نظر آماری با آبیاری فارو تفاوتی نداشت. در این صفت مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نیز طول برگ بیشتری حاصل شد که این ترکیب می‌تواند به بهبود عملکرد کمی و کیفی چغندر قند منجر گردد.

آبیاری قطره‌ای شد. در هر دو سال، آبیاری قطره‌ای باعث افزایش طول برگ گردید به‌طوری‌که بیشترین طول برگ با میانگین ۴۶/۸۶ سانتی‌متر در تیمار آبیاری قطره‌ای در سال ۱۴۰۲ به‌دست آمد. در مقابل، کمترین طول برگ با میانگین ۳۱/۰۵ سانتی‌متر مربوط به آبیاری یک‌درمیان در سال ۱۴۰۱ بود (شکل ۲). افزون بر این، با افزایش میزان کود نیتروژن، طول برگ چغندر قند نیز افزایش یافت.

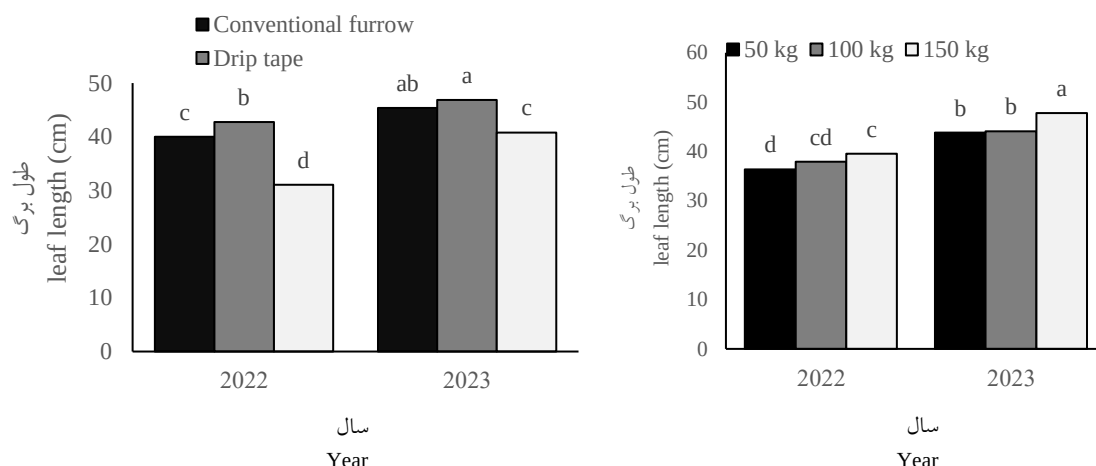
نتایج مقایسه میانگین اثر سال در نیتروژن نشان داد که بیشترین طول برگ با میانگین ۴۷/۸۱ سانتی‌متر در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در سال ۱۴۰۲ حاصل شد. در مقابل، کمترین طول برگ با میانگین ۳۶/۳۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در سال ۱۴۰۱ بود. به‌طور کلی، در سه سطح تیمار نیتروژن، میزان طول برگ در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۴۰۱ افزایش نشان داد (شکل ۲).

اندازه‌گیری صفت طول برگ در این پژوهش با هدف ارزیابی رشد رویشی و ظرفیت فتوسنتزی چغندر قند تحت تأثیر



شکل ۱ مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تراکم (راست) و اثر متقابل تراکم در آبیاری (چپ) بر صفت طول برگ چغندر قند

Fig 1 Comparison of the mean interaction effects of year× plant density (right) and plant density× irrigation (left) on leaf length of sugar beet.



شکل ۲ مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در سال (چپ) و اثر متقابل سال در کود نیتروژن (راست) بر صفت طول برگ چغندرقد

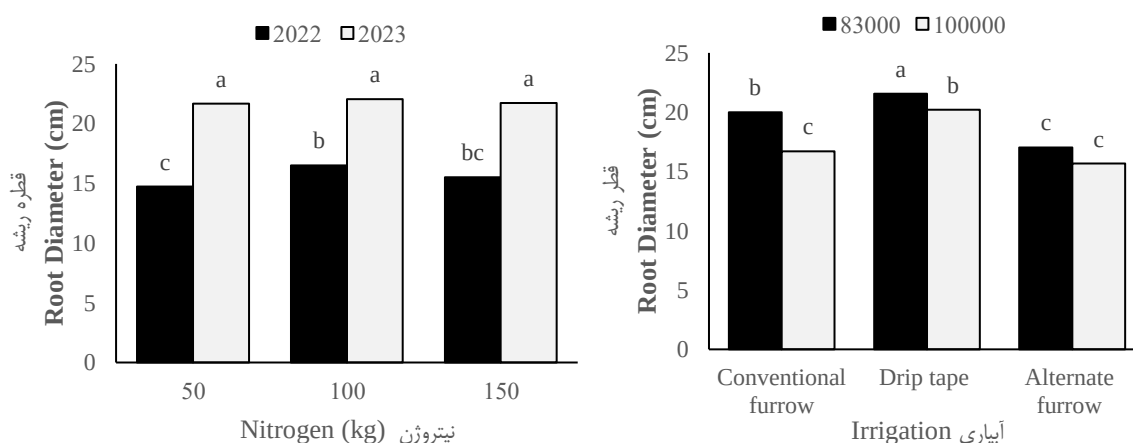
Fig 2 Comparison of the mean interaction effects of irrigation × year (left) and year × nitrogen fertilizer (right) on leaf length of sugar beet.

قطر ریشه

بیشترین قطر ریشه بود. افزایش تراکم و آبیاری به روش یک‌درمیان باعث کاهش قطر ریشه چغندرقد شد (شکل ۳). قطر ریشه چغندرقد تحت اثر سال در کود نیتروژن نشان داد که افزایش کود نیتروژن از ۵۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت و کمترین قطر ریشه نیز در اعمال ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن با میانگین ۱۴/۲۷ سانتی‌متر در سال زراعی ۱۴۰۱ مشاهده شد. همچنین بیشترین قطر ریشه چغندرقد نیز در سال زراعی ۱۴۰۲ با اعمال ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در هکتار با میانگین ۲۲/۰۶ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۳).

افزایش قطر ریشه بیانگر رشد بهتر اندام زیرزمینی و ذخیره بیشتر مواد قندی است که مستقیماً بر عملکرد اقتصادی محصول تأثیر دارد.

نتایج نشان داد که صفت قطر ریشه تحت اثر سال، تراکم، آبیاری، نیتروژن، اثر متقابل تراکم در سال، تراکم در آبیاری و نیتروژن در سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل آبیاری در سال در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم در آبیاری نشان داد که آبیاری به روش قطره‌ای و در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار دارای



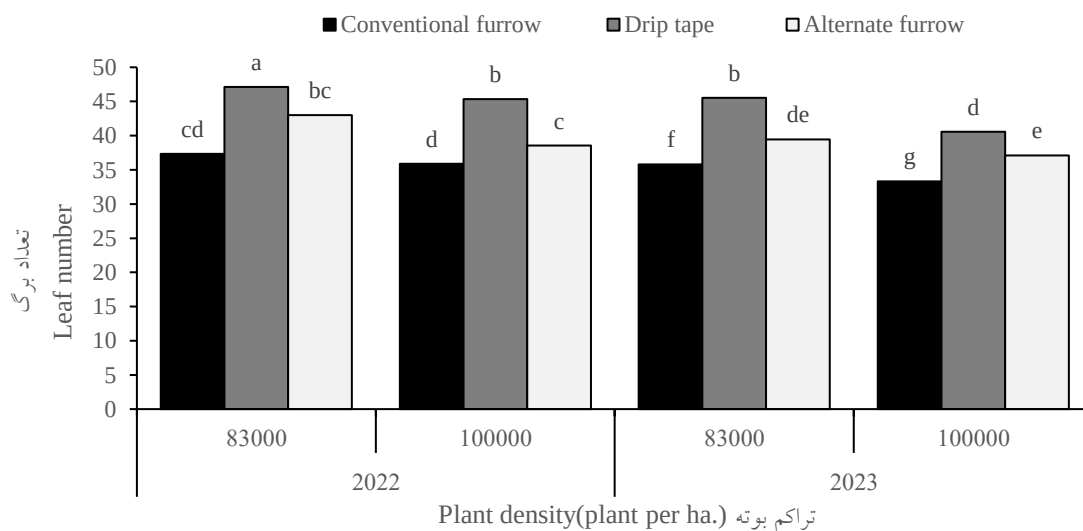
شکل ۳ مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در آبیاری (راست) و سال در کود نیتروژن (چپ) بر صفت قطر ریشه چغندرقد

Fig 3 Comparison of the mean interaction effects of plant density × irrigation (right) and year × nitrogen fertilizer (left) on root diameter of sugar beet

تعداد برگ در بوته

افزایش تعداد برگ موجب افزایش ظرفیت فتوسنتز و رشد رویشی گیاه شده و در نهایت عملکرد ریشه و قند را بهبود می‌بخشد. بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عوامل اصلی شامل سال، تراکم کشت، روش آبیاری و سطح مصرف نیتروژن، به همراه اثرات متقابل آن‌ها، به‌ویژه تعامل میان تراکم و سال، سال و آبیاری و همچنین تراکم و آبیاری، همگی تأثیر آماری معنی‌داری بر صفت تعداد برگ در گیاه چغندر قند داشتند (جدول ۴). این یافته‌ها حاکی از آن است که شرایط محیطی و مدیریتی نقش مهمی در تنظیم رشد رویشی این گیاه دارند. بر پایه نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، بیشترین

تعداد برگ در تیمار ترکیبی آبیاری قطره‌ای و تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار به دست آمد، به‌گونه‌ای که میانگین تعداد برگ در این شرایط به ۴۶/۳۳ عدد رسید. این ترکیب از تراکم و روش آبیاری، با تأمین بهینه آب و فضای رشد، بستر مناسبی برای توسعه شاخ و برگ فراهم کرده است. در مقابل، کمترین تعداد برگ مربوط به تیمار با تراکم بالاتر (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) و آبیاری به روش نشتی که روش مرسوم منطقه نیز محسوب می‌شود، مشاهده شد (شکل ۴). این کاهش احتمالاً ناشی از رقابت شدیدتر گیاهان برای منابع محدود به‌ویژه آب و نور بوده است که منجر به محدود شدن رشد برگ‌ها شده است.



شکل ۴ مقایسه میانگین اثر متقابل سال در آبیاری در تراکم بر صفت تعداد برگ چغندر قند

Fig 4 Comparison of the mean interaction effect of year× irrigation× density on sugar beet leaf number.

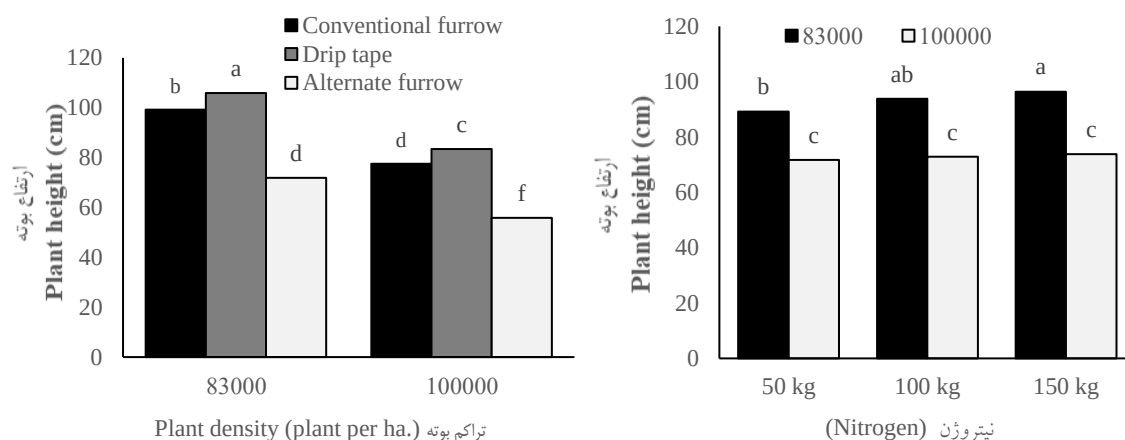
طول بوته

طول بیشتر بوته نشان‌دهنده‌ی رشد رویشی قوی‌تر و توسعه مطلوب اندام‌های هوایی است که به افزایش تجمع ماده خشک در ریشه منجر می‌شود. نتایج نشان داد که اثر تجزیه مرکب سال، تراکم، آبیاری، نیتروژن، اثرهای متقابل تراکم در سال، آبیاری در سال، تراکم در آبیاری، سال در نیتروژن، تراکم در نیتروژن و نیتروژن در آبیاری بر صفت طول بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر تراکم در آبیاری نشان داد که افزایش تراکم (۱۰۰ هزار بوته در

هکتار) با آبیاری نشتی یک‌درمیان کمترین میزان طول بوته را داشت. آبیاری به روش قطره‌ای و تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار نیز بیش‌ترین میزان طول بوته با میانگین ۱۰۵/۸۸ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۵). افزایش میزان تراکم از ۸۳ به ۱۰۰ هزار بوته موجب کاهش طول بوته چغندر قند شد، بیش‌ترین طول بوته در اعمال ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار حاصل شد (شکل ۵). طول بوته چغندر قند در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار با اعمال ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (با میانگین ۹۶/۴۱ سانتی‌متر) مشاهده شد. در تمام

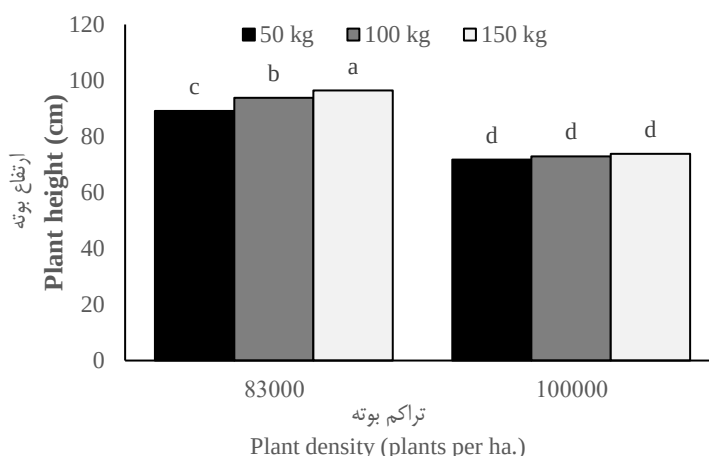
نیز مربوط به اعمال ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (با میانگین ۷۱/۷۴ سانتی متر) به دست آمد (شکل ۶).

سطوح کود نیتروژن میزان طول بوته کمتری در شرایط تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار به دست آمد. کمترین میزان طول بوته



شکل ۵ مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در آبیاری (چپ) و کود تراکم در نیتروژن (راست) بر صفت ارتفاع بوته چغندر

Fig 5 Comparison of the mean interaction effects of density × irrigation (left) and density × nitrogen (right) on sugar beet plant height.



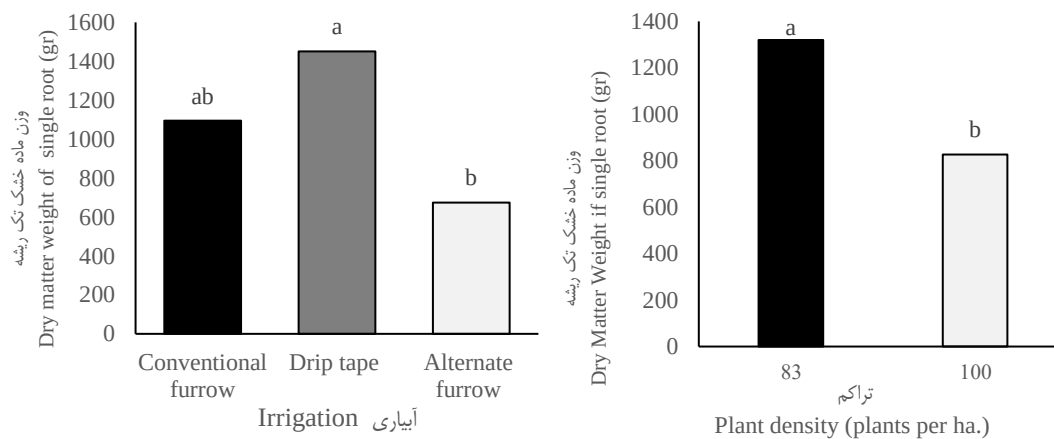
شکل ۶ مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن در تراکم بر صفت ارتفاع بوته چغندر

Fig 6 Comparison of the mean interaction effect of nitrogen × density on sugar beet plant height

وزن ماده خشک تک ریشه

نتایج این مطالعه نشان داد که صفت وزن ماده خشک تحت تأثیر تراکم و آبیاری در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم بر وزن ماده خشک نشان داد که با افزایش تراکم از ۸۳ به ۱۰۰ بوته در هکتار وزن ماده خشک کاهش یافت. به طوری که بیشترین وزن ماده خشک مربوط به تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار با میانگین ۱۳۱۹/۹۴ گرم

بود (شکل ۷). از سوی دیگر، روش آبیاری نیز تأثیر معناداری بر وزن ماده خشک داشت، به گونه ای که آبیاری به روش قطره ای بیشترین وزن ماده خشک را به همراه داشت، در حالی که کمترین وزن ماده خشک (۶۷۴/۲ گرم) در آبیاری به صورت یک درمیان مشاهده شد. این نتایج نشان می دهد که تراکم پایین تر و استفاده از روش آبیاری قطره ای می تواند به افزایش وزن ماده خشک و بهبود عملکرد محصول کمک کند (شکل ۷).



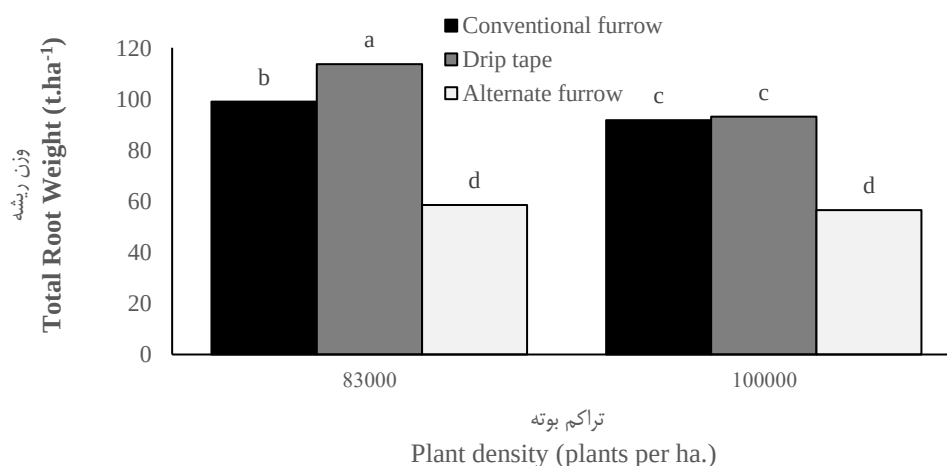
شکل ۷ مقایسه میانگین اثر تراکم و روش‌های آبیاری بر صفت وزن ماده خشک تک ریشه

Fig 7 Comparison of the mean effects of plant density and irrigation methods on dry matter weight of single root

فراهم می‌کند، درحالی‌که روش‌های نشتی ممکن است به دلیل توزیع ناهمگن آب و هدر رفت بیشتر، کارایی کمتری داشته باشند بنابراین استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای افزایش عملکرد و بهبود تولید محصول چغندر قند مورد توجه قرار گیرد. نتایج مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری در تراکم نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن کل ریشه مربوط به آبیاری قطره‌ای و تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار با میانگین ۱۱۳/۶۱ تن در هکتار مشاهده شد. همچنین کمترین وزن کل ریشه نیز با روش آبیاری یک‌درمیان و تراکم ۱۰۰ بوته در هکتار با میانگین ۵۶/۵۱۱ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۸).

عملکرد ریشه

نتایج تجزیه و تحلیل مرکب داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر آبیاری و اثر متقابل تراکم در آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر صفت وزن کل ریشه معنی‌دار شد (جدول ۴). بر اساس نتایج این مطالعه، آبیاری به روش قطره‌ای در مقایسه با روش‌های آبیاری نشتی یک‌درمیان و نشتی معمولی، منجر به افزایش معنادار در وزن کل ریشه چغندر قند شد. این افزایش وزن ریشه نشان‌دهنده تأثیر مثبت آبیاری قطره‌ای در بهینه‌سازی مصرف آب و بهبود رشد گیاه است. روش قطره‌ای با توزیع یکنواخت و کارآمد آب در خاک، شرایط بهتری را برای رشد ریشه



شکل ۸ مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته بر صفت عملکرد ریشه

Fig 8 Comparison of the mean interaction effects of irrigation and plant density on root yield

درصد قند ریشه

نتایج به دست آمده نشان داد که درصد قند موجود در ریشه چغندر قند تحت اثر آبیاری، اثر متقابل تراکم در آبیاری و آبیاری در سال در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). آبیاری به صورت قطره‌ای بهترین گزینه برای افزایش میزان قند در ریشه چغندر قند بود. روش‌های دیگر آبیاری موجب کاهش

درصد قند موجود شدند. بیش‌ترین درصد قند موجود ریشه چغندر قند در آبیاری به صورت قطره‌ای و تراکم ۸۳ هزار در بوته با میانگین ۲۰/۲۴ درصد به دست آمد. کم‌ترین درصد قند موجود نیز در تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و روش آبیاری به صورت یک‌درمیان با میانگین ۱۶/۷۷ درصد مشاهده شد (شکل ۹).

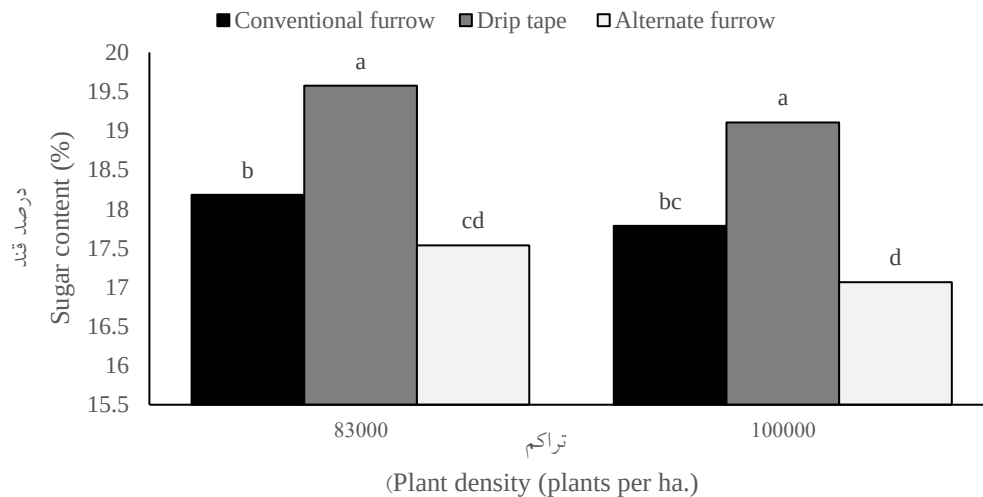
جدول ۵ نتایج تجزیه مرکب صفات کیفی تحت تیمارهای مورد مطالعه بر چغندر قند

Table 5 Results of combined analysis of quality traits of sugar beet under the studied treatments

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	قلیائیت Alkalinity	نیتروژن مضره Harmful nitrogen	پتاسیم Potassium	سدیم Sodium	درصد ملاس Molasses percentage	ضریب استحصال Extraction coefficient	قند قابل استحصال Extractable sugar	درصد قند موجود Sugar content
Year (Y) سال	1	0.65 ^{ns}	718.42**	7092.84**	27.08**	132.26**	2.43 ^{ns}	58.87**	35.59**
Y(block)	4	0.56	1.15	9.11	0.08	0.03	0.73	0.33	1.41
Density (D) تراکم	1	0.64 ^{ns}	1.002 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	1.78*	1.42 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.18 ^{ns}
Y*D	1	0.06 ^{ns}	0.90 ^{ns}	17.33 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.56 ^{ns}	3.59 ^{ns}	4.75 ^{ns}
Error (main-plot) خطای کرت اصلی	4	1.65	0.89	15.05	0.14	0.21	1.52	0.17	0.14
Irrigation (I) آبیاری	2	15.41**	2.49 ^{ns}	31.75 ^{ns}	0.65**	2.19*	0.65 ^{ns}	0.26**	0.05 ^{ns}
Y*I	2	4.10**	4.45 ^{ns}	45.89*	0.15 ^{ns}	0.32 ^{ns}	1.92 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.76 ^{ns}
D*I	2	21.30**	0.16 ^{ns}	3.81 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.12**	1.58 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.24 ^{ns}
Y*D*I	2	0.21 ^{ns}	2.72 ^{ns}	58.72*	0.41 ^{ns}	0.29 ^{ns}	1.36 ^{ns}	1.43 ^{ns}	1.93**
Error (subplot) خطای کرت فرعی	16	0.49	0.02	3.31	0.01	0.01	0.81	0.11	5.13
Nitrogen (N) نیتروژن	2	0.90 ^{ns}	1.27 ^{ns}	13.99 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.42 ^{ns}
Y*N	2	0.32 ^{ns}	0.48 ^{ns}	6.86 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.32	0.20 ^{ns}	0.65 ^{ns}
D*N	2	0.92 ^{ns}	0.48 ^{ns}	11.42 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.19 ^{ns}	1.18 ^{ns}	0.71**	1.00 ^{ns}
I*N	4	1.59 ^{ns}	0.65 ^{ns}	4.39 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.83 ^{ns}
Y*D*N	2	0.22 ^{ns}	1.04 ^{ns}	17.62 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.30 ^{ns}
Y*I*N	4	0.92 ^{ns}	2.58 ^{ns}	30.62 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.71 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.33 ^{ns}
D*I*N	4	0.67 ^{ns}	1.01 ^{ns}	9.72 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.86*	0.26 ^{ns}	0.86 ^{ns}	1.90**
Y*D*I*N	4	0.47 ^{ns}	1.66 ^{ns}	3.75 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.55
Error (sub-subplot) خطای کرت فرعی فرعی	48	0.63	1.57	13.16	0.12	0.28	0.62	0.35	0.72
CV% ضریب تغییرات	-	4.36	12.64	5.58	7.88	13.78	8.78	17.69	20.79

*, **, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ ، معنی‌دار در سطح $p \leq 0.01$ و غیرمعنی‌دار.

*, **, ns: Significant at $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, and not significant, respectively.



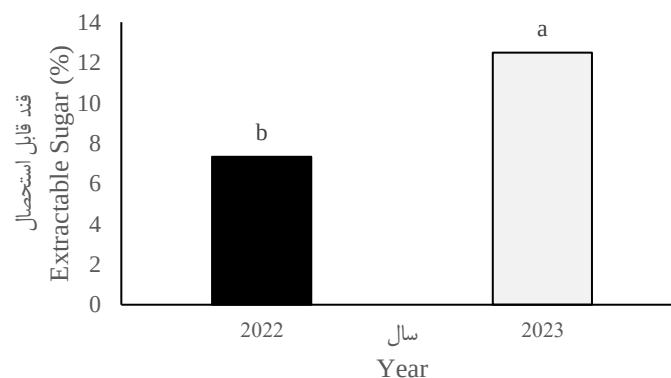
شکل ۹ مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در آبیاری بر صفت درصد قند موجود چغندر قند

Fig 9 Comparison of the mean interaction effect of density× irrigation on sugar content of sugar beet

استحصال مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱ بود که می‌تواند ناشی از عوامل نامساعد محیطی، تغییرات اقلیمی یا مدیریت زراعی کمتر مطلوب در آن سال باشد (شکل ۱۰). این نتایج اهمیت تأثیر عوامل سالانه بر عملکرد کیفی محصول را برجسته می‌کند و بر لزوم توجه به شرایط محیطی و مدیریتی در برنامه‌ریزی‌های زراعی تأکید دارد.

درصد قند قابل استحصال (قند سفید)

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر سال زراعی بر صفت قند قابل استحصال در سطح اطمینان ۱ درصد به‌طور معناداری تفاوت داشت (جدول ۵). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار قند قابل استحصال در سال زراعی ۱۴۰۲ مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی شرایط بهینه محیطی و مدیریتی برای تولید قند در این سال بوده است. در مقابل، کم‌ترین درصد قند قابل



شکل ۱۰ مقایسه میانگین اثر سال بر صفت درصد قند قابل استحصال چغندر قند

Fig 10 Comparison of the mean effect of year on extractable sugar of sugar beet

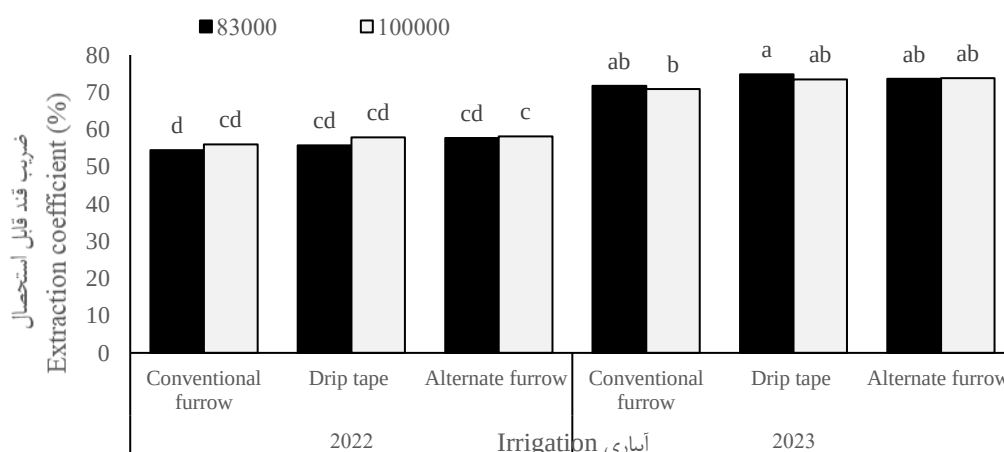
پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). این نتایج بیانگر آن است که عوامل مدیریتی مزرعه در تعامل با شرایط اقلیمی هر سال می‌توانند به‌صورت قابل‌توجهی بر راندمان قند‌گیری مؤثر باشند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، افزایش تراکم کشت موجب کاهش ضریب قند استحصال‌شده و بالاترین مقدار این شاخص در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار به‌دست‌آمده آمد. این یافته

ضریب استحصال قند

ضریب استحصال قند که به‌عنوان یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده‌ی کیفیت نهایی محصول چغندر قند شناخته می‌شود، در این پژوهش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال زراعی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل سال در روش آبیاری و اثر سه‌گانه سال در تراکم در آبیاری نیز در سطح احتمال

می‌توان به یکنواختی توزیع آب، جلوگیری از بروز تنش‌های آبی و ارتقاء شرایط فیزیولوژیک گیاه در سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت داد. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که انتخاب روش آبیاری مناسب و تنظیم بهینه تراکم کاشت، به‌ویژه در سال‌هایی با شرایط اقلیمی مساعد، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در بهبود کیفیت محصول چغندر قند و افزایش بهره‌وری مزرعه داشته باشد.

احتمالاً ناشی از رقابت متعادل‌تر بین بوته‌ها، افزایش کارایی در استفاده از منابع و بهبود یکنواختی رشد در تراکم‌های پایین‌تر است. همچنین، آبیاری به روش قطره‌ای نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری از خود نشان داد و در سال زراعی ۱۴۰۲، ترکیب آبیاری قطره‌ای با تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار منجر به بیشترین مقدار ضریب قند استحصال شد (شکل ۱۱). این موضوع را



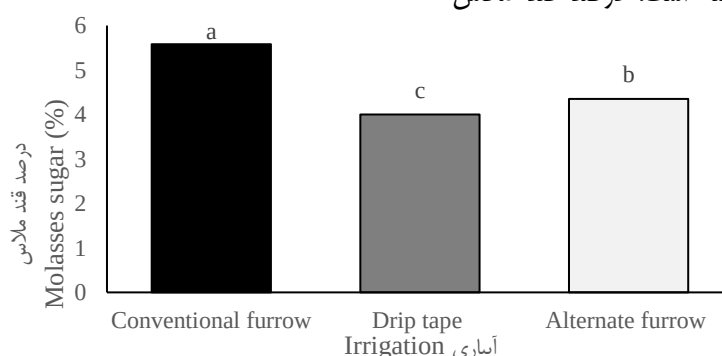
شکل ۱۱ مقایسه میانگین اثر متقابل سال (تراکم در آبیاری) بر صفت ضریب قند قابل استحصال چغندر قند

Fig 11 Comparison of the mean interaction effect of year× irrigation× density) on the extractable sugar coefficient of sugar beet.

چغندر قند در تیمار آبیاری به روش نشتی (با میانگین ۵/۵۸ درصد) و آبیاری به روش قطره‌ای (با میانگین ۴ درصد) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد قند ملاس را داشتند (شکل ۱۲). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر سال (تراکم در آبیاری) افزایش تراکم و آبیاری به‌صورت نشتی موجب افزایش درصد قند ملاس در سال زراعی ۱۴۰۱ شد، آبیاری به‌صورت قطره‌ای درصد قند ملاس را کاهش می‌دهد (شکل ۱۳).

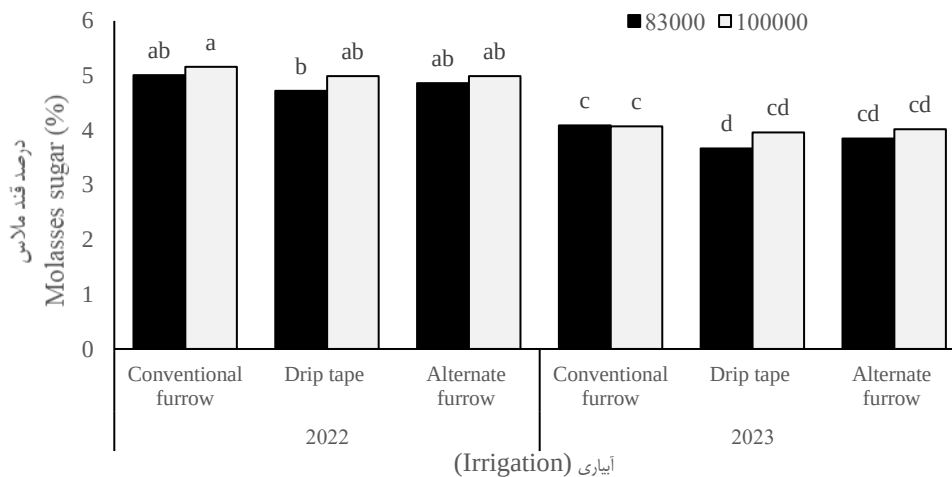
درصد قند ملاس

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، تیمار آبیاری و اثر سال (تراکم در آبیاری) در سطح احتمال یک درصد بر صفت درصد قند ملاس معنی‌دار شدند (جدول ۵). ملاس محصول جانبی فرآیند تولید شکر است و حاوی باقی‌مانده قندهایی است که به‌طور کامل استخراج نشده‌اند. هرچه درصد قند در ملاس بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که بخشی از قند در فرآیند استخراج از دست‌رفته است. درصد قند ملاس



شکل ۱۲ مقایسه میانگین اثر تیمار آبیاری بر صفت درصد قند ملاس چغندر قند

Fig 12 Comparison of the mean effect of irrigation treatment on sugar beet molasses sugar percentage



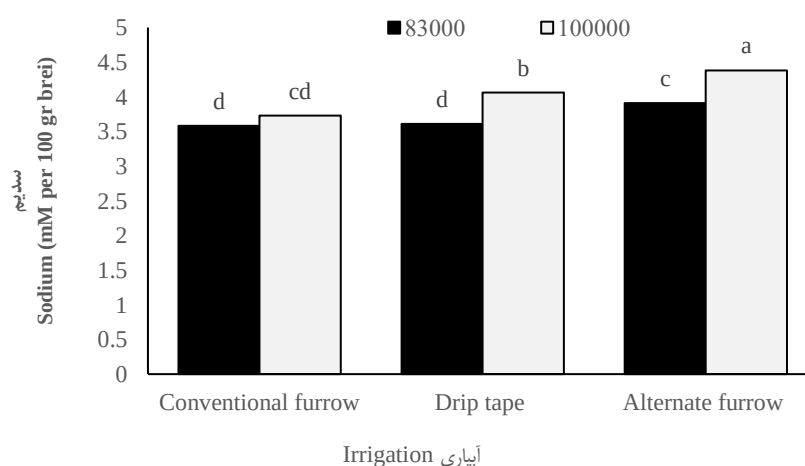
شکل ۱۳ مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تراکم در آبیاری بر صفت درصد ملاس چغندر قند

Fig 13 Comparison of the mean interaction effect of year× irrigation× density on sugar beet molasses sugar percentage.

میزان سدیم

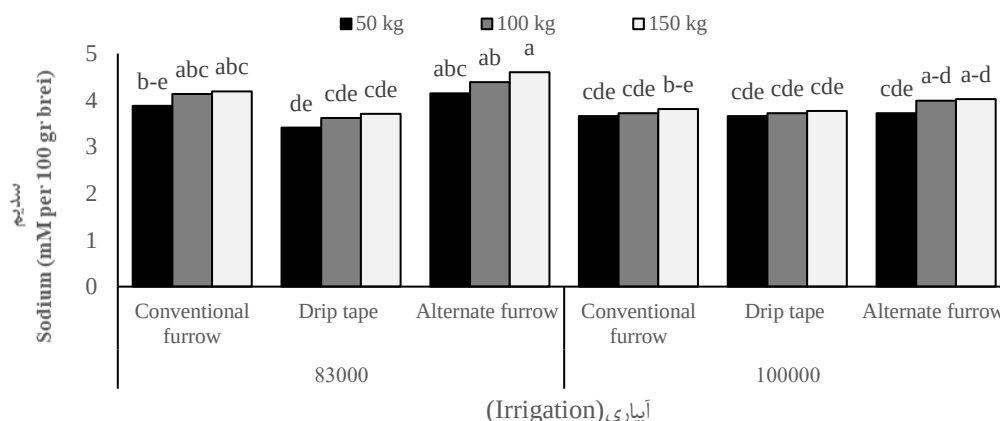
میزان سدیم ریشه چغندر قند تحت تأثیر سال و اثر متقابل تراکم در آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین میزان سدیم تحت اثر تیمار تراکم، آبیاری و اثر متقابل سه گانه تراکم در آبیاری در کود نیتروژن نیز در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۵). میزان سدیم ریشه چغندر قند با افزایش تراکم کشت از ۸۳ به ۱۰۰ هزار هکتار افزایش پیدا کرد و در آبیاری به روش نشتی یک درمیان بیش تر از دیگر روش های

آبیاری بود (شکل ۱۴). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم در آبیاری و بیش ترین میزان سدیم در اعمال ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در روش آبیاری به صورت نشتی یک درمیان و در تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار (با میانگین ۴/۳۸ میلی مول در ۱۰۰ گرم خمیر) به دست آمد. آبیاری به روش قطره ای با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار دارای کم ترین میزان سدیم (با میانگین ۳/۵۸ میلی مول در ۱۰۰ گرم خمیر) بود (شکل ۱۵).



شکل ۱۴ مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در تراکم بر صفت سدیم ریشه چغندر قند

Fig 14 Comparison of the mean interaction effect of irrigation× density on the sodium content of sugar beet roots.



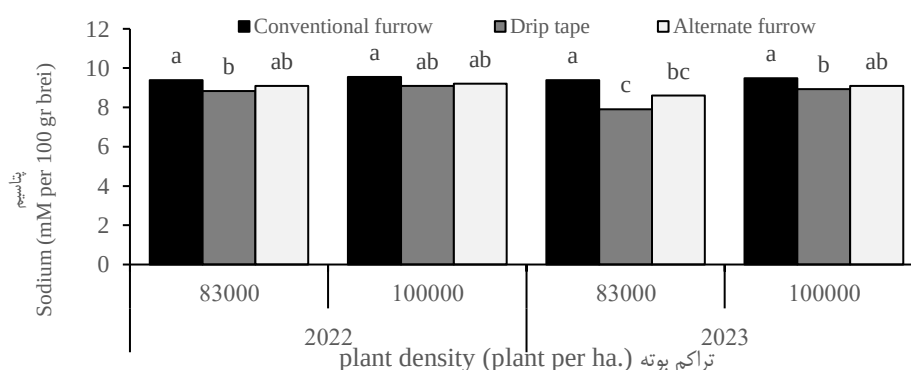
شکل ۱۵ مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در آبیاری در کود نیتروژن بر صفت سدیم ریشه چغندر

Fig 15 Comparison of the mean interaction effect of density × irrigation × nitrogen fertilizer on the sodium content of sugar beet roots

پتاسیم

از آبیاری قطره‌ای در سال زراعی ۱۴۰۲ به دست آمد که میانگین آن برابر با ۹/۷ میلی‌مول پتاسیم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه بود (شکل ۱۶). این یافته‌ها ممکن است به شرایط متفاوت محیطی سال زراعی ۱۴۰۲ و تأثیرات کمتر روش آبیاری قطره‌ای در فراهم کردن پتاسیم قابل جذب برای گیاه مربوط باشد. نتایج حاکی از آن است که تعامل پیچیده عوامل سال، تراکم بوته و روش آبیاری به‌طور چشمگیری بر غلظت پتاسیم در ریشه تأثیرگذار است. از آنجاکه پتاسیم یکی از عناصر حیاتی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله تعادل آبی و انتقال مواد غذایی است، افزایش جذب آن می‌تواند به بهبود کیفیت و کمیت محصول چغندر کمک کند؛ بنابراین، انتخاب بهینه ترکیب تراکم کاشت و روش آبیاری متناسب با شرایط سال زراعی می‌تواند استراتژی مؤثری برای افزایش جذب پتاسیم و در نتیجه ارتقای عملکرد محصول باشد.

نتایج تجزیه مرکب داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه سال زراعی، تراکم بوته و روش آبیاری (سال در تراکم در آبیاری) بر میزان پتاسیم در ریشه چغندر در سطح احتمال ۱ درصد به‌طور معنی‌داری مؤثر بود (جدول ۵). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، با افزایش تراکم بوته از ۸۳ هزار به ۱۰۰ هزار بوته در هکتار، میزان پتاسیم موجود در ریشه چغندر به شکل قابل توجهی افزایش یافت. بیشترین مقدار پتاسیم ریشه مربوط به تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار همراه با آبیاری به روش نشتی در سال زراعی ۱۴۰۱ بود، اگرچه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح بالای پتاسیم نداشت. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش تراکم گیاهان و استفاده از روش آبیاری نشتی می‌تواند جذب پتاسیم را در ریشه‌ها بهبود بخشد که نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاه ایفا می‌کند. از سوی دیگر، کمترین میزان پتاسیم در ریشه‌ها در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار و با استفاده



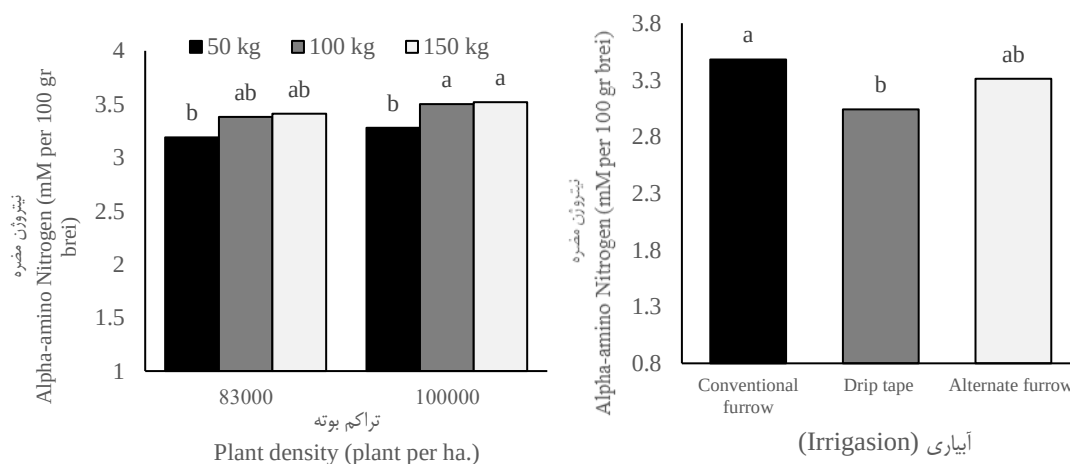
شکل ۱۶ مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تراکم در آبیاری بر صفت پتاسیم ریشه چغندر

Fig 16 Comparison of the mean interaction effect of year × plant density × irrigation on potassium content of sugar beet roots

نیتروژن مضره

میزان نیتروژن مضره در ریشه چغندر قند تحت اثر سال، آبیاری و تراکم در نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). با افزایش تراکم کشت از ۸۳ به ۱۰۰ هزار بوته در هکتار میزان نیتروژن مضر افزایش پیدا نمود. بیشترین میزان نیتروژن مضره مربوط به تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار در سال زراعی ۱۴۰۱ و کمترین میزان نیتروژن مضره در تراکم ۸۳ هزار

بوته در هکتار در سال زراعی ۱۴۰۲ مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین صفت میزان نیتروژن مضره ریشه چغندر قند تحت اثر متقابل کود نیتروژن نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن میزان نیتروژن مضره ریشه افزایش پیدا کرد. روش آبیاری به صورت قطره‌ای از میزان نیتروژن مضره کاست به طوری که روش آبیاری قطره‌ای و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن دارای کمترین میزان نیتروژن مضره در ریشه چغندر قند بود (شکل ۱۷).



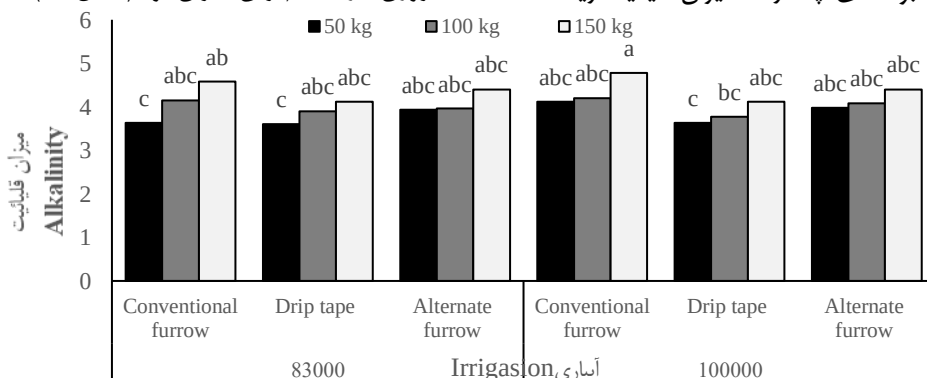
شکل ۱۷ مقایسه میانگین اثر آبیاری و اثر متقابل تراکم در نیتروژن بر صفت نیتروژن مضره ریشه چغندر قند

Fig 17 Comparison of the irrigation and mean interaction effects of density× nitrogen on alpha-amino nitrogen content of sugar beet roots

قلیائیت

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که میزان قلیائیت تحت اثر سال، سال (تراکم در آبیاری) و اثر سه‌گانه‌ی تراکم در آبیاری و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم در آبیاری و کود نیتروژن، افزایش در تراکم کشت بوته‌های چغندر قند میزان قلیائیت ریشه

چغندر قند نیز افزایش پیدا کرد به طوری که بیشترین میزان قلیائیت در تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و با میزان مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با اعمال روش آبیاری نشتی مشاهده شد. میزان قلیائیت در تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار با روش آبیاری قطره‌ای و مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن دارای کمترین میزان بود (شکل ۱۸).



شکل ۱۸ مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در آبیاری در کود نیتروژن بر صفت قلیائیت ریشه چغندر قند

Fig 18 Comparison of the mean interaction effect of density× irrigation× nitrogen fertilizer on root alkalinity of sugar beet

بحث

طبق نتایج به دست آمده صفات کمی و کیفی چغندر قند تحت تأثیر آبیاری قطره‌ای دارای بیشترین میزان بودند. آبیاری مناسب می‌تواند به افزایش طول و عرض برگ‌ها کمک کند. در روش‌های آبیاری قطره‌ای یا تحت فشار که رطوبت به‌طور یکنواخت و بهینه تأمین می‌شود، طول و عرض برگ‌ها معمولاً بیشتر است. در مقابل، کمبود آب می‌تواند منجر به کاهش عرض برگ‌ها شود. افزایش طول و عرض برگ‌ها به افزایش سطح برگ و در نتیجه بهبود فرآیند فتوسنتز و تولید ماده خشک کمک می‌کند. در این آزمایش آبیاری قطره‌ای اثر مثبتی بر صفات مورفولوژی داشت، بهترین نوع آبیاری برای صفات طول و عرض برگ، طول بوته و وزن کل ریشه آبیاری قطره‌ای بود. بر اساس مطالعات ملی متعدد در مورد آبیاری گیاهان زراعی از جمله چغندر قند، این تیمار به سرعت مناسب رشد و نمو گیاهان و همچنین تشدید فرآیندهای فیزیولوژیکی کمک می‌کند. در نتیجه باعث افزایش عملکرد و تثبیت آن‌ها می‌شود و همچنین بر کیفیت محصول تأثیر مثبت می‌گذارد (Żarski et al. 2013). محققین گزارش کردند که کم آبیاری باعث می‌شود تا عملکرد چغندر قند بالا با تأمین آب متوسط حاصل شود. چغندر قند قادر به رشد یک سیستم ریشه گسترده برای استفاده از آب از لایه عمیق خاک زمانی است که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد (Fabeiro et al. 2003). مطالعات قبلی گزارش کردند که عملکرد محصول با مقدار آب آبیاری افزایش یافت (Yavuz et al. 2015). سطوح مختلف آبیاری در مطالعه ما به‌طور معنی‌داری بر عملکرد چغندر قند تأثیر گذاشت، بیشترین عملکرد در این مطالعه تحت آبیاری قطره‌ای بود، این نتیجه با یافته قبلی (DU et al. 2017)، مطابقت دارد. یافته‌های تحقیق شیرین‌زاده و همکاران (Shirinzadeh et al. 2022) نشان داد که استفاده از روش آبیاری قطره‌ای سطحی در مقایسه با سایر روش‌ها مانند آبیاری جوی و پشته‌ای، تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد دانه و بهبود بهره‌وری مصرف آب گندم (*Triticum aestivum* L.) داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد (۷۱۲۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری قطره‌ای با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده

شد. همچنین در شرایط کم‌آبی، تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی از طریق آبیاری قطره‌ای سطحی نیز عملکرد مطلوبی را حفظ کرد. این نتایج تأکیدی بر کارایی بالای آبیاری قطره‌ای در مدیریت منابع آبی و افزایش بازدهی در تولیدات زراعی است و قابل‌تعمیم به سایر محصولات مانند چغندر قند در کشت نشایی نیز است، به‌ویژه در شرایطی که محدودیت منابع آب وجود دارد. تراکم بالای کشت می‌تواند باعث رقابت بین گیاهان برای آب و مواد مغذی شود. تراکم بهینه می‌تواند به حداکثر کردن استفاده از منابع و بهبود بهره‌وری آب کمک کند. تراکم کشت می‌تواند بر میزان نور و تبخیر آب تأثیر بگذارد. گیاهان با تراکم مناسب می‌توانند از نور بهینه استفاده کرده و در نتیجه عملکرد بهتری داشته باشند که در این آزمایش تراکم مناسب کشت ۸۳ هزار بوته در هکتار بود. تراکم محصول به‌طور قابل توجهی بر ویژگی‌های بهره‌وری آب گیاهان چغندر قند تأثیر می‌گذارد. (Anar et al. 2021). واکنش‌های فیزیولوژیکی چغندر قند به تراکم‌های مختلف کاشت شامل تغییرات در رشد ریشه، شاخص سطح برگ و تولید کلی زیست‌توده است. افزایش تراکم کاشت اغلب منجر به شاخص سطح برگ بیشتر می‌شود که می‌تواند ظرفیت فتوسنتزی را افزایش دهد (Mahmoud et al. 2018). مطالعات نشان داده‌اند که استراتژی‌های مختلف آبیاری، زمانی که با تراکم کاشت مناسب ترکیب شوند، می‌توانند به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های بهره‌وری آب چغندر قند را بهبود بخشند. به‌عنوان مثال، روش‌های کم آبیاری زمانی که با تراکم کاشت کمتر همراه شوند، می‌توانند مؤثرتر باشند و امکان رشد بهتر ریشه و جذب آب را فراهم کنند (Mahmoud et al. 2018).

نتایج نشان داد که افزایش میزان نیتروژن اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژی داشت. یافته‌های پژوهشی مشخص کرد که واکنش عملکرد قند به نرخ کود نیتروژن به نیتروژن موجود در خاک بستگی دارد. آن‌ها همچنین دریافتند که عملکرد بهینه از خاک با محتوای نیتروژن کم در دسترس با استفاده از ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (Mahmoud et al. 2014). باریک (Barik 2003) در هند روی خاک‌های کربن آلی متوسط کارکرد و گزارش داد که استفاده از کود نیتروژن به میزان ۱۵۰

کیلوگرم در هکتار منجر به بیشترین عملکرد قند در هکتار می‌شود، درحالی‌که بالاترین مقادیر شکر غلظت زمانی که ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اعمال و ثبت شد. گزارش شده است که کاهش محتوای قند با کاهش مصرف کود نیتروژن به دلیل تجمع بیشتر آب در ریشه اتفاق می‌افتد (Weeden 2000). وقتی نیتروژن قبل از برداشت کاهش پیدا می‌کند شروع و گسترش برگ در مقایسه با فتوسنتز کند می‌شود و فتوسنتز ساکارز تولید می‌کند که در ریشه‌ها به‌عنوان ذخیره و نه به‌عنوان رشد رویشی جدید تجمع می‌یابد (Kaffka et al. 2014).

نیتروژن یک عنصر ضروری برای گیاهان است. به‌عنوان یکی از اجزای اصلی بسیاری از مولکول‌های زیستی از جمله پروتئین و کلروفیل در نظر گرفته می‌شود و همچنین نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی دارد (Gojon et al. 2017). طبق نتایج محققین بیشترین مقادیر ابعاد ریشه (طول و قطر)، وزن تر ریشه و شاخ و برگ/بوته، شاخ و برگ در هکتار و عملکرد قند در هکتار ناشی از افزایش کود نیتروژن تا بالاترین سطح (۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) است. افزایش صفات ذکر شده در بالا با افزایش سطوح مصرفی کود نیتروژن را می‌توان به نقش نیتروژن در افزایش سریع رشد اولیه، تشویق به جذب و استفاده از سایر مواد مغذی از جمله پتاسیم و فسفر، افزایش محتوای پروتئین از طریق سنتز اسیدهای آمینه و کنترل رشد کلی گیاه نسبت داد (Bloom 2019). کوددهی بیش‌ازحد چغندر قند با نیتروژن بیش‌ازحد مورد نیاز برای حداکثر تولید ساکارز منجر به کاهش عملکرد ساکارز شد (Yin et al. 2020). استفاده از مقدار بهینه نیتروژن ممکن است اثر آبیاری را تقویت کند. این احتمال وجود دارد که سطح بالاتر کاربرد نیتروژن باعث رشد رویشی شود اما انتقال فتوسنتز را ضعیف می‌کند. کم آبیاری به دلیل رقت کمتر و تجمع آب کمتر در میوه نسبت به آبیاری زیاد می‌تواند به‌طور قابل توجهی کیفیت میوه را بهبود بخشد (Guichard et al. 1999). محققان دیگر نشان داده‌اند که تنش آبی بسته به میزان عرضه نیتروژن، صفات کمی و کیفی را به میزان‌های مختلف کاهش می‌دهد (Sun et al. 2013). مصری و همکاران (Masri et al. 2015) دریافتند که عملکرد شکر به‌طور

قابل توجهی با افزودن نیتروژن از ۶۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در تغذیه افزایش یافت. چندین مطالعه قبلی نشان داد که عملکرد ریشه چغندر قند و شکر بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (Schmehl et al. 1963)، ۱۸۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار (Jahedi et al. 2012) و ۱۲۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار (Tsialtas et al. 2013)، تفاوت معنی‌داری ندارند. کاربرد نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در این مطالعه برای رشد گیاه کافی است که می‌تواند نقش افزایش نیتروژن را در بهبود عملکرد و کیفیت چغندر قند تضعیف کند. عملکرد بیشتر ریشه و قند در گیاهان بارور شده با افزایش سرعت نیتروژن می‌تواند افزایش پیدا کند. تفاوت در محتوای قند در ریشه معنی‌دار بود. برهمکنش بین آب تأمین‌شده و کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد چغندر قند نداشت (Żarski et al. 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تراکم کشت پایین‌تر (۸۳ هزار بوته در هکتار) همراه با آبیاری قطره‌ای و مصرف بهینه کود نیتروژن (۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بهترین شرایط را برای بهبود عملکرد کمی و کیفی چغندر قند فراهم می‌کند. آبیاری قطره‌ای به دلیل توزیع یکنواخت آب و کاهش هدر رفت، باعث افزایش رشد گیاه، وزن ریشه و درصد قند شد. در مقابل، افزایش بیش از حد تراکم کاشت سبب کاهش رشد رویشی و در نتیجه افت عملکرد شد. همچنین، مصرف متعادل نیتروژن موجب تقویت رشد برگ و اندام‌های هوایی شد، اما مصرف بیش از اندازه آن با کاهش درصد قند قابل استحصال همراه بود. بررسی صفات مورفولوژیکی مانند طول برگ، تعداد برگ، طول بوته و قطر ریشه نشان داد که شرایط بهینه رشد رویشی در تراکم کمتر و تحت آبیاری قطره‌ای حاصل می‌شود. این ترکیب با فراهم‌سازی فضای کافی برای رشد ریشه و برگ، توسعه سطح فتوسنتزی و بهبود استفاده از منابع را امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین، برای دستیابی به عملکرد بهینه، توصیه می‌شود از تراکم کشت پایین‌تر، آبیاری قطره‌ای و مصرف متعادل کود نیتروژن استفاده شود. این نتایج می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای کشاورزان در مدیریت بهتر

کشت چغندر قند و افزایش بهره‌وری محصول مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مسئولین دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه‌های دانشگاه گیلان به دلیل همکاری و حمایت ارزشمند در طول اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

منابع مورد استفاده

- Al-Dhumri SA, Al Mosallam MS, Zhang W, Alharbi S, Abou-Elwafa SF. Application of molasses as an eco-innovative approach substitutes mineral N fertilization and enhances sugar beet productivity. *Waste Biomass Valorization*. 2023; 14: 287–296. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01873-z>
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1998. <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>
- Anar MJ, Lin Z, Ma L, Chatterjee A. Modeling the effects of crop rotation and tillage on sugar beet yield and soil nitrate using RZWQM2. *Transactions of the ASABE*. 2021; 64 (2): 461–474.
- Anonymous database. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2022 Available online: <https://www.fao.org/faostat/zh/#data/QCL> (accessed on 6 September 2022).
- Aydin A, Kiziloglu FM, Sahin U. Optimization of irrigation and fertilization levels for yield, quality, and molasses content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Sugar Technology*. 2025; 27(3): Doi: <https://doi.org/10.1007/s12355-025-01558-6>
- Babae B, Khanmohammadi khorami M, Bagheri Gramarudi A, Abdollahian noghabi M. Effect of sugar beet root weight on estimation of sucrose using densitometry method versus polarimetry method. *Journal of Sugar Beet*. 2020; 36(2): 129-138. (In Persian with English abstract) Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2021.356267.1291>
- Barik S. Role of potassium and nitrogen on sugar concentration of sugar beet. *African Crop Science Journal*. 2003; 11: 259–268. Doi: <https://doi.org/10.4314/acsj.v11i4.27576>
- Bhadra T, Mahapatra CK, Paul SK. Weed management in sugar beet: A review. *Fundamental and Applied Agriculture*. 2020; 5(2): 147–156. Doi: <https://doi.org/10.5455/faa.83758>
- Bloom AJ. The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current Opinion in Plant Biology*. 2019; 25: 10–16. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.03.002>
- Chang Y, Zhang B, Li G, Zhang P, Liu H, Zhang S. Influence of Water and Fertilizer Reduction on Sucrose Metabolism in Sugar Beets. *Agronomy*. 2024; 14(3): 539. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030539>
- Draycott AP. Sugar beet. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. 2006; ISBN 978-1-4051-1911-5. 2006; pp.465. Doi: <https://doi.org/10.1017/S002185960600671X>
- Du YD, Cao HX, Liu SQ, Gu X, Cao YX. Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017; 16: 1153–1161.
- Fabeiro C, Martín de Santa Olalla F, López R, Domínguez A. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*. 2003; 62(3): 215–227.
- Gojon A. Nitrogen nutrition in plants: Rapid progress and new challenges. *Journal of Experimental Botany*. 2017; 68: 2457–2462. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx171>

- Guichard S, Gary C, Longuenesse J, Leonardi C. Water fluxes and growth of greenhouse tomato fruits under summer conditions. In: III International Workshop on Models for Plant Growth and Control of the Shoot and Root Environments in Greenhouses; ISHS: Leuven, Belgium. 1999; 507: 223–230.
- Haqshenas A, Azizi K, Ghasemi S, Firouzabadi FN, Hosseinpour M. N reduction and foliar application of zinc sulfate improve the physiological and biochemical characteristics of two autumn-sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Acta Physiology Plant*. 2023; 45: 134.
- Horáková V, Kováčik P, Hlisenikovsky L. Optimization of irrigation strategy in sugar beet farming based on yield, quality and water productivity. *Plant, Soil and Environment*. 2022; 68(8): 387–394. Doi: <https://doi.org/10.17221/2/2022-PSE>
- Huang S, Wang L, Liu L, Fu Q, Zhu D. Nonchemical pest control in China rice: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2014; 34: 275–291. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0199-9>
- Kaffka SR, Grantz DA. Sugar crops. pp. 240-260. In: Van Alfen NK, (Ed.) *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Amsterdam: Elsevier; 2014.
- Khaembah EN, Nelson WR. Transplanting as a means to enhance crop security of fodder beet. *bioRxiv*. 2016. p.056408. Doi: <https://doi.org/10.1101/056408>
- Khan A, Wang Y, Ali S, Hafeez A, Mehmood MA, Khan S. Effects of deficit irrigation and nitrogen fertilization on sugar beet performance, quality, and water/fertilizer use efficiency. *Plants*. 2025; 14(3): 368. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants14030368>
- Kouwenhoven JK, Wevers JDA, Post BJ. Possibilities of mechanical post-emergence weed control in sugar beet. *Soil Tillage Research*. 1991; 21(1–2): 85–95. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90007-K](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90007-K)
- Leilah AA, Khan N. Interactive effects of gibberellic acid and N fertilization on the growth, yield, and quality of sugar beet. *Agronomy*. 2021; 11: 137. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010137>
- Ma FY, Liu Y, Cui J, Fan H, Lu Y, Li MR. Review on the research progress of water and fertilizer integration. *Xinjiang Agricultural Sciences*. 2019; 56: 183–192. Doi: <https://doi.org/10.6048/j.issn.1001-4330.2019.01.022>
- Mahmoud EA, Hassanin MA, Borham TI, Emara EIR. Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. *Agricultural Water Management*. 2018; 201: 144–151. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.024>
- Mahmoud EA, Ramadan BSH, El-Geddawy IH, Korany SF. Effect of mineral and bio-fertilization on productivity of sugar beet. *Journal of Plant Production (Mansoura University)*. 2014; 5: 699–710. Doi: <https://doi.org/10.21608/jpp.2014.53887>
- Masri MI, Ramadan BSB, El-Shafai AMA, El-Kady MS. Effect of water stress and fertilization on yield and quality of sugar beet under drip and sprinkler irrigation systems in sandy soil. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2015; 5(3): 414–425.
- Milfor GFJ, Watson DJ. (1971). The effect of nitrogen on the growth and sugar content of sugar beet. *Annals of Applied Biology*. 1971; 68(1): 1–12. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1973.tb07991.x>
- Paul SK, Joni RA, Sarkar MAR, Hossain M, Paul SC. Performance of tropical sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as influenced by year of harvesting. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2019; 4: 19–26. Doi: <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.040103>
- Salami M, Saadat S. Study of potassium and nitrogen fertilizer levels on the yield of sugar beet in Jolge cultivar. *Journal of Novel Applied Sciences*. 2013; 2: 94–100.
- Schmehl WR, Finkner R, Swink J. Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of sugar beets. *Journal of Sugar Beet Research*. 1963; 12: 538–544.
- Seraji N, Hosseini Z, Khademi H, Rahimi M. The effect of crown gall disease on sugar content of sugar beet roots. In: 2nd National Conference on Plant Diseases of Iran. Tehran: Iranian Research Institute of Plant Protection; 2015.

- Shirinzadeh N, Biglouei MH, Akhavan K, Mohammadi A. The Effect of Deficit Irrigation and Irrigation Method on Water Productivity, Yield, and Yield Components of Wheat. *Journal of Crops Improvement*. 2022; 24(2): 283-296. Doi: <https://doi.org/10.22059/jci.2021.309207.2444>
- Sun Y, Hu KL, Fan ZB, Wei YP, Lin S, Wang JG. Simulating the fate of nitrogen and optimizing water and nitrogen management of greenhouse tomato in North China using the EU-Rotate_N model. *Agricultural Water Management*. 2013; 128: 72–84. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.016>
- Tsialtas J, Maslaris N. Nitrogen effects on yield, quality and K/Na selectivity of sugar beets grown on clays under semi-arid, irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*. 2013; 7: 355–372. Doi: <https://doi.org/10.22069/ijpp.2013.1109>
- Vega SV, Salazar SV, Cabrejos JP. Nitrogen cycle of sugarcane irrigated with ‘filter cake water’. *Sugar Technology*. 2020; 22: 445–450. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00810-5>
- Weeden BR. Potential of sugar beet on the Atherton Tableland: A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Kingston, Australia: RIRDC; 2000. Publication No. 00/167. 102 p.
- Yan F, Zhang F, Fan J, Hou X, Bai W, Liu X, Pan X. Optimization of irrigation and N fertilization increases ash salt accumulation and ions absorption of drip-fertigated sugar beet in saline-alkali soils. *Field Crops Research*. 2021; 271: 108247. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108247>
- Yavuz D, Seymen M, Yavuz N, Türkmen Ö. Effects of irrigation interval and quantity on the yield and quality of confectionary pumpkin grown under field conditions. *Agricultural Water Management*. 2015; 159: 290–298. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.025>
- Yazdi-Samadi B, Rezaei, A, and Valizadeh M. Statistical designs in agricultural research: Mathematical statistics in agriculture – Experimental agricultural research. Tehran, Iran: University of Tehran Press. 2013; pp: 764.
- Yin H, Li B, Wang X, Xi Z. Effect of ammonium and nitrate supplies on nitrogen and sucrose metabolism of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* cv.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100: 5239–5250. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10574>
- Żarski J, Dudek S, Kuśmierk-Tomaszewska R, Rolbiecki R, Rolbiecki S. Forecasting effects of plants irrigation based on selected meteorological and agricultural drought indices. *Annual Set The Environment Protection*. 2013; 15: 2185–2203.
- Zarski J, Kuśmierk-Tomaszewska R, Dudek S. Impact of irrigation and fertigation on the yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in a moderate climate. *Agronomy*. 2020; 10(166): 1–15. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020166>