

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 315-336

The effect of putrescine and spermidine on the quantitative and qualitative traits, and concentration of leaf mineral elements of sugar beet in different irrigation regimes (Case study: Torbat-Heydarieh)

Mehdi Abbaszadeh ^a, Reza Sadrabadi Haghighi ^{*a}, Ali Bagherzadeh Chaharjoui ^a, Amir Salari ^b, Seyed Mostafa Hoseini- Mazinani ^c

^a Department of Agricultural Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

^b Department of Science and Water Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Iran

^c Department of Agriculture, Yadegar-e-Imam Shaher Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding Author: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir

Received: 12 November 2022 Accepted: 19 January 2023 DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368778.1290

How to cite this article:

Abbaszadeh, M., Sadrabadi Haghighi, R., Bagherzadeh Chaharjoui, A., Salari, A., and Hoseini-Mazinani, S. M., 2025. The effect of putrescine and spermidine on the quantitative and qualitative traits, and concentration of leaf mineral elements of sugar beet in different irrigation regimes (Case study: Torbat-Heydarieh). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 315–336. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.368778.1290>

Abstract

Introduction: Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is well-known as the second most important sugar-producing crop after sugarcane, contributing to more than 30% of world sugar production. Water stress is considered one of the main factors of reducing Sugar Beet yield, and therefore it is necessary to use strategies to reduce its adverse effects. The external application of growth regulators under stress conditions eliminates the lack of internal plant regulators and reduces the damage of stress on plant growth. Exogenous PAs application can effectively upregulate the situation; among different types of PAs, putrescine and spermidine were found to have the greatest significance in plants water stress. polyamine can respond to different abiotic and biotic stresses by regulating physiological processes. The purpose of this research is to investigate the effect of irrigation regimes and polyamine foliar spraying on quantitative and qualitative traits and nutritional elements of Sugar Beet.

Materials and Methods: This experiment was conducted as split plots based on a randomized complete block design with three replications in Rokh plains of Torbat Heydarieh city Torbat Heydarieh region of Razavi Khorasan province in 2020. The main plots were allocated to irrigation treatments including: 100, 75 and 50% of water requirement and the sub plots were allocated to polyamine treatment in the form of foliar spraying including: putrescine (1 and 0.5 mM), spermidine (1 and 0.5 mM) and control (without foliar spraying) were placed in sub-plots. Drought stress was applied on the 8-leaf of the vegetative growth stage. The foliar application was done in two stages: 8 leaves and the middle stage of the growing season (18 to 20 leaves). One week after foliar feeding, nutrients including: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, manganese and boron were measured in leaf samples. At the end of the growing season, quantitative



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

traits including: fresh and dry weight of shoot, root weight, root yield and qualitative traits including: percentage of sugar, harmful nitrogen, potassium and sodium were measured.

Results and Discussion: The results showed the effect of polyamine foliar spraying and irrigation on all functional traits including biological yield, root yield, root dry weight, leaf fresh and dry weight and sugar content, qualitative yield traits including: sugar yield, white sugar yield, extractable sugar and coefficient extraction of sugar and leaf nutrients was significant. In the foliar application of polyamines, 1 mM putrescine treatment had the highest quantitative, qualitative and leaf nutrients, which has not significant difference with 1 mM spermidine. A significant difference was also observed between irrigation levels in all functional traits. Water stress caused the reduction of nutrients in the leaves and the highest amount of elements was obtained from the full irrigation treatment. The effects of polyamines * irrigation on some traits such as root yield, sugar yield and white sugar yield were significant and there was no significant difference between putrescine and spermidine treatment at 100% and 75% of field water requirement. In the mild stress treatment (75% irrigation), the amount of root yield was lower compared to the 100% irrigation level, at the same time, a small difference in root yield was observed between the application of two types of polyamine used at the level of 1 millimolar and the level of mild stress. Therefore, with foliar spraying of polyamines in the amount of one millimolar at a mild stress level, the amount of root yield equivalent to the optimal irrigation level was reached.

Conclusion: In general, foliar spray with polyamines significantly improves the morphophysiological traits, quantitative and qualitative yield of sugar beet and reduces the negative effect of drought stress, which is probably due to the important role of these elements in the process of osmotic regulation and other physiological, nutritional and biochemical reactions of plants. Therefore, polyamine foliar spraying (putrescine and spermidine) in 1 mM concentration with 75% of RW irrigation is recommended in sugar beet cultivation, especially in drought stress conditions. These findings collectively provide an important illustration of the use of polyamines in modulating drought tolerance in sugar beet plants.

Keywords: Extraction coefficient of sugar, Growth regulators, Root yield, Sugar yield

اثر پوترسین و اسپرمیدین بر صفات کمی، کیفی و غلظت عناصر معدنی برگ چغندر قند در سطوح مختلف آبیاری (مطالعه موردی: تربت حیدریه)

مهدی عباس زاده^۱، رضا صدرآبادی حقیقی^{۱*}، علی باقرزاده چهارجویی^۱، امیر سالاری^۲، سید مصطفی حسینی مزینانی^۳

۱- گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مجتمع آموزش عالی میناب، هرمزگان، ایران

۳- گروه کشاورزی، واحد یادگار امام شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368778.1290

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی پلی آمین ها و رژیم های مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و برخی از عناصر غذایی چغندر قند، آزمایشی به صورت کرت های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در دشت جلگه رخ تربت حیدریه استان خراسان رضوی اجرا گردید. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با ۷۵، ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی چغندر قند و تیمارهای فرعی شامل کاربرد پلی آمین به صورت محلول پاشی پوترسین (۱ و ۰/۵ میلی مولار)، اسپرمیدین (۱ و ۰/۵ میلی مولار) و شاهد (بدون محلول پاشی) بودند. نتایج نشان داد اثر تیمارهای محلول پاشی پلی آمین و آبیاری بر تمامی صفات کمی و کیفی شامل عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ، عیار قند، عملکرد شکر، عملکرد شکر خالص، قند قابل استحصال و ضریب استحصال قند و عناصر غذایی برگ معنی دار بود. در محلول پاشی پلی آمین ها، تیمارهای پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار، دارای بیشترین عملکرد کمی، کیفی و عناصر غذایی برگ بودند. سطوح مختلف آبیاری نیز اثر معنی داری بر کلیه صفات عملکردی داشت. کم آبیاری باعث کاهش عناصر غذایی در برگ گردید و بالاترین مقدار عناصر از تیمار آبیاری کامل حاصل شد. اثرات متقابل پلی آمین ها و آبیاری بر صفاتی نظیر عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید معنی دار بود. به طور کلی نتایج این تحقیق مشخص نمود محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین با غلظت ۱ میلی مولار در آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، به طور معنی داری سبب بهبود صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد کمی و کیفی چغندر قند شده و اثر منفی تنش خشکی را کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: تنظیم کننده رشد، ضریب استحصال قند، عملکرد ریشه، عملکرد شکر

مقدمه

بخش عظیمی از کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک است و با توجه به این که تنش خشکی شایع ترین تنش غیرزنده است، بررسی راهکارهایی مناسب جهت برخورد با این موضوع برای متخصصان کشاورزی اهمیت به سزایی دارد (Rostampoor and Jafari, 2017). تنش خشکی در کاهش جذب عناصر غذایی نیز نقش زیادی دارد. با توجه به این که بیشتر مناطق چغندرکاری با محدودیت کمبود آب و مشکلات مرتبط با وضعیت شیمیایی خاک مواجه اند، بنابراین مدیریت زراعی مناسب جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود جذب عناصر غذایی، یکی از راهکارهای عملی در مزرعه برای افزایش بهره‌وری خواهد بود (Kafi et al., 2018).

نتایج تحقیقات مختلف نشان می دهد تحت تأثیر تنش رطوبتی، عملکرد ریشه و وزن خشک کل بوته کاهش می یابد

بیش از ۳۰ درصد شکر مورد نیاز جهان، توسط زراعت چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) تأمین می گردد. این محصول علاوه بر تولید شکر در تأمین خوراک دام و تناوب زراعی نقش مهمی دارد (Noshad et al., 2016). گیاهان در شرایط عادی رشد و نمو خود در معرض تنش های محیطی مختلفی قرار دارند (Yilmaz et al., 2011). امروزه گرم شدن کره زمین ناشی از تغییرات اقلیم و به دنبال آن کمبود آب و تنش خشکی، به عنوان مهم ترین چالش پیش روی تولیدات کشاورزی در جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Yadollahi Farsani, 2020). با توجه به نیاز آبیاری چغندر قند در مناطق خشک و نیمه خشک، هرساله به دلیل کمبود منابع آب در کشور سطح کشت این محصول رو به کاهش است (Mohammadian, 2020).

خشکی به مقدار زیادی در اندام گیاه تولید و ذخیره می‌شوند و هم‌چنین در همانندسازی DNA و فسفریلایسیون پروتئین، تغییر فعالیت آنزیم‌ها و حفظ یکپارچگی غشای سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی نقش دارند (Chen et al., 2019). کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها می‌تواند با مهار پراکسیدلیپیدها، افزایش کارایی مصرف آب و تعدیل متابولیسم گیاه تحمل گیاهان به خشکی را افزایش دهد (Sagor et al., 2013). با توجه به محدودیت موجود، یکی از مشکلات اساسی تغذیه گیاهان زراعی، عدم تعادل در جذب عناصر غذایی توسط گیاه است. به نظر می‌رسد ایجاد یک پیوند آلی فلزی بین عناصر غذایی و پلی‌آمین‌ها می‌تواند به ایجاد تعادل عناصر غذایی کمک کرده و ضمن کاهش خواص آنتاگونیستی عناصر، جذب آن‌ها را نیز افزایش دهد (Xiaoan et al., 2019). از این رو پلی‌آمین‌ها با کاهش اثر تنش خشکی، باعث تأخیر در پیری برگ‌ها و هم‌چنین طولانی شدن طول دوره مؤثر پرشدن مخزن شده و با تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی، باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌گردند (Emadi et al., 2013). اهداف این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد دو نوع پلی‌آمین اسپرمیدین و پوترسین بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند، جذب برخی عناصر غذایی ماکرو و میکرو و هم‌چنین افزایش عیار قند و کاهش نیترات مضر چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر پلی‌آمین‌ها بر جذب عناصر غذایی و خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند تحت تنش خشکی در سال ۱۳۹۹ در تربت حیدریه به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق کشت چغندر قند استان خراسان رضوی اجرا شد. آزمایش در دشت جلگه رخ تربت حیدریه واقع در مجتمع کشاورزی دشت گل با موقعیت جغرافیایی عرض ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۰۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۰۴ متری از سطح دریا انجام شد. میانگین درازمدت دمای روزانه ۱۴/۹، میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۷/۴ و ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۱۹۸/۱۳ میلی‌متر در سال است. برخی از اطلاعات هواشناسی ماهانه در طول دوره رشد در جدول ۲ نشان داده شده است. قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، نمونه برداری مرکب از عمق صفر تا ۳۰

(Ozby and Yildirim, 2018). پژوهش‌گران دیگری نیز طی پژوهشی بر روی چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی بیان داشتند که ارقام مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی از جمله عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند و هم‌چنین مقدار عناصری از جمله سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر تفاوت معنی‌دار داشته است (Rajabi et al., 2013). در شرایط کمبود آب، چغندر قند می‌تواند ریشه‌های خود را تا عمق یک متر گسترش داده و آب را از اعماق پایین‌تر جذب نماید (Tamara et al., 2017). هم‌چنین در نتایج تحقیق دیگر در مورد طول دوره تنش خشکی بر عملکرد و کیفیت چغندر قند نشان داد که با افزایش طول دوره خشکی از ۲۰ به ۶۰ روز از درصد قندهای قابل‌حل، ساکارز، درجه خلوص، عملکرد ریشه، عملکرد قند خالص، شاخص برداشت، سدیم ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم کاسته شده و بر مقدار پتاسیم ریشه افزوده می‌گردد (AL-Jbawi and Abbas, 2013).

در سال‌های اخیر کاربرد مؤثر تنظیم‌کننده‌های رشدی مثل سالیسیلیک اسید، پلی‌آمین‌ها، آبسیزیک اسید و اسید جاسمونیک برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر روی گیاهان مطرح می‌باشند (Yiu et al., 2009; Singh and Gautam, 2013). پلی‌آمین‌ها در همه سلول‌های گیاهان یافت می‌شوند و علاوه بر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، در فرایند رشد و نمو فعال هستند و هم‌چنین نقش دفاعی در گیاهان ایفا می‌کنند (Minocha, 2014; Alcazar et al., 2010). کاربرد خارجی محرک‌های رشد تحت شرایط تنش، باعث رفع کمبود تنظیم‌کننده‌های درونی گیاه می‌شود و آسیب‌های تنش بر رشد گیاهان را کاهش می‌دهد (Ashraf and Foolad, 2007; Ashraf and Akram, 2010). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، از عوامل مؤثر بر عملکرد و تولید گیاه هستند و پلی‌آمین‌ها، گروهی از این ترکیبات را تشکیل می‌دهند. پلی‌آمین‌ها ترکیبات کاتیونی دارای دو یا چند گروه آمین هستند و به دلیل تنوع در تعداد و موقعیت گروه‌های آمین، وظایف گوناگونی از جمله سیگنالینگ سلولی، ثبات غشا، تکثیر و مرگ سلولی را بر عهده دارند (Rangan et al., 2014). پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین، پلی‌آمین‌های اصلی در گیاهان عالی هستند که می‌توانند به فرم آزاد یا متصل با ترکیبات دیگر وجود داشته باشند (Kamiah et al., 2015). پلی‌آمین‌ها در پاسخ به

سانتی متری خاک به صورت تصادفی تهیه شد و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تعیین نیاز کودی گیاه به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید (جدول ۱). بافت خاک منطقه لومی و درصد شن، سیلت و رس آن به ترتیب ۴۴، ۳۴ و ۲۲ به دست آمد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil from study site

هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	مواد خنثی شونده TNV (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)
4.54	7.81	0.61	17.51	0.056	9.37	237.5	0.69	5.62	0.53	4.23

جدول ۲- برخی از مؤلفه‌های مهم هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تربت حیدریه در فصل رشد چغندر قند در سال ۱۳۹۹

Synoptic Station during the sugar beet growing season Table 2- Some important meteorological components of Torbat Heydarieh in 2020

ماه Month	مجموع تبخیر Total evaporation (mm)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	میانگین درجه حرارت Average temperature (°C)
اردیبهشت 21 April-21 May	207.9	34.7	44.6	18.1
خرداد 22 May-21 June	372.5	0	18.2	25.2
تیر 22 June-22 July	404.9	0.6	20.6	26.4
مرداد 23 July-22 August	374.5	0	23.8	26.9
شهریور 23 August-22 September	296.3	0	24.7	21.5
مهر 23 September-22 October	175.5	0	21.6	14.5

مورد استفاده، رقم دورتی تک جوانه و کشت در تاریخ ۹۹/۲/۲ صورت گرفت. ابعاد کرت فرعی به طول ۱۰ و عرض ۳ متر در نظر گرفته شد. بذرکاری به صورت ردیفی با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف پس از تنک کردن ۱۷ سانتی متر در عمق ۲ سانتی متری خاک صورت گرفت. بین تیمارها یک کرت نکاشت و بین تکرارها نیز ۳ متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تنک کاری بوته‌های اضافی جهت دستیابی به تراکم مطلوب (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) در مرحله ۲ تا ۴ برگی انجام پذیرفت. پس از انجام کرت بندی، آبیاری به روش قطره‌ای انجام و در ادامه به منظور اندازه‌گیری میزان آب مصرفی، کنتور حجمی نصب گردید. مقدار آب مورد نیاز گیاه با استفاده از روش فائوپنمن مانتیث به دست آمد (روش فائوپنمن مانتیث

این آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی چغندر قند به عنوان تیمارهای اصلی و محلول پاشی با دو نوع پلی آمین اسپرمیدین و پوترسین در دو غلظت نیم و یک میلی مولار و شاهد (بدون مصرف پلی آمین) به عنوان تیمارهای فرعی انجام شد. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر کشت شامل شخم، دیسک و تسطیح در فروردین ماه انجام شد. همراه با آماده‌سازی بستر کشت، کودهای فسفر و پتاس بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی به ترتیب به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. بذر

استفاده از سم پاش دستی صورت پذیرفت. محلول پاشی اول در ۲۹ خردادماه و دومین محلول پاشی ۹۹/۵/۲۴ انجام و زمان محلول پاشی ساعت ۱۷ تا ۱۹ بعدازظهر بود. تیمار شاهد با آب محلول پاشی شد. کلیه عملیات داشت؛ مانند خاک دهی، علف زنی، دادن کود سرک (اوره) برای تمام تیمارها به صورت یکسان در طول فصل انجام شد. در اول شهریورماه تمام کرت‌ها جهت مبارزه با سفیدک پودری با چارچ کش تری دمورف (کالکسین) ۷۵ درصد امولسیون با دوز ۰/۷۵ لیتر در هکتار سم پاشی شد.

به منظور بررسی چگونگی اثر تیمارها بر جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو مؤثر در فرایند رشد، از برگ‌های سالم و کامل، در دو نوبت (یک هفته پس از محلول پاشی) پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، سه بوته از هر کرت فرعی نمونه برداری شده و پس از جداسازی برگ از ریشه، ۱۰۰ گرم از برگ‌های جدا شده از هر تیمار جهت تجزیه برگ و اندازه‌گیری عناصر ماکرو شامل ازت کل به روش میکروکجلدال (با استفاده از دستگاه اتوآنالیز کجلتک)، فسفر به روش کالریمتری (توسط اسپکتروفتومتر) و پتاسیم و سدیم به وسیله دستگاه فلیم فتومتر به آزمایشگاه ارسال گردید. کلسیم و منیزیم به روش هضم خشک دستگاه جذب اتمی، بور به هضم خشک روش کالریمتری توسط اسپکتروفتومتر و عناصر میکرو آهن، روی، مس و منگنز به روش استخراج با هضم خشک انجام و توسط دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

در پایان فصل رشد نیز برای نوبت سوم نمونه برداری صورت گرفت و برای اندازه‌گیری صفات کمی شامل: وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن ریشه، عملکرد ریشه، و صفات کیفی شامل: درصد عیار قند (به روش پلاری متری)، نیتروژن مضر (با دستگاه بتالایزر)، مقادیر پتاسیم و سدیم (به روش فلیم فتومتری) به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال گردید. به منظور اندازه‌گیری عملکرد؛ در انتهای فصل رشد (پانزده آبان‌ماه) با در نظر گرفتن اثر حاشیه، به طور تصادفی از سطحی معادل ۶ مترمربع برداشت صورت پذیرفت. پس از سرزنی ریشه‌ها، وزن تر اندام هوایی و ریشه‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و عملکرد بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. از مجموع ریشه‌های هر تیمار یک نمونه خمیر ریشه (حدوداً ۳۰ گرم) در آزمایشگاه عیارسنجی کارخانه قند فریمان تهیه و جهت انجام تجزیه‌های کیفی مورد استفاده

روش استاندارد جهانی و دقیق مورد استفاده جهت تعیین نیاز آبی گیاهان است)، جهت تعیین مقدار نیاز آبی گیاه با استفاده از روش فائوپنمن مانتیث، ابتدا داده‌های هواشناسی روزانه از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی منطقه اخذ شده، سپس با وارد کردن آمار هواشناسی روزانه در مدل Cropwat که بر اساس روش فائوپنمن مانتیث طراحی گردیده است، مقدار تبخیر و تعرق مرجع روزانه محاسبه گردید، محاسبه نیاز آبی روزانه هر گیاه، با ضرب تبخیر و تعرق مرجع روزانه در ضریب گیاهی (Kc) به دست آمد. شایان ذکر است که ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده و به‌طور کلی از بخش ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی تشکیل یافته است و جهت محاسبه نیاز آبی، داشتن نمودار تغییرات ضریب گیاهی طی دوره رشد لازم است. ضریب گیاهی چغندر قند در مناطق مورد مطالعه بر اساس تحقیقات قبلی در دسترس بود (Dehghan and Alizadeh, 2012). نیاز آبی روزانه گیاه بر اساس معادله ۱ محاسبه شد.

$$WR = (ET_c + R_o - P_e - CR) / (E_i / 100) \quad (1)$$

که در آن: WR: نیاز آبی روزانه گیاه بر حسب میلی‌متر، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه زراعی بر حسب میلی‌متر، R_o: رواناب بر حسب میلی‌متر، P_e: بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر)، R_i: راندمان آبیاری بر حسب درصد، با توجه به عمق پایین سطح ایستابی در منطقه آزمایش، مقدار صعود کاپیلاری با توجه به بسته‌بودن کرت‌ها و مقدار رواناب صفر در نظر گرفته شدند. راندمان آبیاری قطره‌ای نیز ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (Alizadeh and Kamal, 2007). آبیاری کلیه تیمارها هر پنج روز یکبار پس از محاسبه نیاز آبی برای هر تیمار، با استفاده از کنتور حجمی برای هر تیمار جداگانه انجام شد. این مقدار حجم آب به دست آمده، حجم آبیاری کامل، مطلوب و بدون تنش گیاه است (سطح ۱۰۰ درصد). حجم آب مورد نیاز در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، به ترتیب با ضرب اعداد ۰/۷۵ و ۰/۵۰ در حجم آب محاسبه شده تیمار ۱۰۰ درصد به دست آمد. اولین آبیاری جهت خاک آب در تاریخ ۹۹/۲/۳ صورت گرفت و تا مرحله استقرار کامل گیاه یعنی هشت‌برگی آبیاری به صورت کامل انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از مرحله ۸ برگی تا اتمام دوره رشد گیاه انجام شد. محلول پاشی پلی آمین‌ها، بعد از تهیه غلظت‌های مورد نظر، در دو نوبت ۸ برگی و مرحله میانی فصل رشد (۱۸ تا ۲۰ برگی) با

به ترتیب ۱۷ و ۶۱ درصد افزایش عملکرد بیولوژیک داشت. مقایسه میانگین‌های عملکرد ریشه در تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی در رتبه دوم قرار داشت. تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی کمترین رتبه را از نظر این صفت به خود اختصاص داد (جدول ۴). صفات وزن خشک ریشه، وزن تر برگ و وزن خشک برگ نیز از همین قاعده پیروی نموده و بالاترین عملکرد آن‌ها در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴). به عبارتی تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد ریشه نسبت به شرایط آبیاری کامل شدند که با یافته‌های محققین دیگر (Yadollahi, Farsani, 2020; Mahrokh and Khajepoor, 2010) مطابقت داشت. تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود. در نتیجه میزان فتوسنتز و سطح برگ کاهش می‌یابد (Hernandez-Santana et al., 2017). در نهایت با کاهش تولید آسیمیلات‌ها عملکرد ریشه نیز کاهش پیدا می‌کند. در شرایط تنش خشکی دو دلیل برای کاهش رشد برگ و ریشه ذخیره‌ای چغندر قند وجود دارد که عبارت‌اند از: پتانسیل فشاری کم که موجب کندی توسعه سلول‌ها می‌شود و کاهش هدایت روزنه‌ای که باعث کم‌شدن جذب دی‌اکسیدکربن برای تولید ماده خشک می‌شود (Cooke and Scott, 1993). تعدادی از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که عملکرد ریشه در چغندر قند به تنش آبی بسیار حساس بوده و با بروز تنش، عملکرد ریشه کاهش می‌یابد (Mohammadian et al., 2005). در نتیجه آزمایش دیگری نیز گزارش کردند که عملکرد ریشه در شرایط آبیاری معمولی نسبت به تنش، افزایش معنی‌داری داشت (Nadali et al., 2010). دلیل کاهش عملکرد تحت تأثیر تنش کم‌آبی آن است که کمبود آب باعث کاهش رشد چغندر قند شده و به‌ویژه باعث کم‌شدن آماس سلول و افزایش پتانسیل آب خاک می‌شود. اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به محدودیت رطوبتی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد (Sharp and Lenoble, 2002). با کاهش میزان رطوبت قابل‌دسترس گیاه، کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد و جذب نور توسط سایه‌انداز کاهش یافته و در پی آن ماده خشک تولیدی نیز کاهش می‌یابد (Naderi et al., 2005). هم‌چنین در تحقیقی دیگر نشان داد

قرار گرفت. پس از عصاره‌گیری از هر نمونه و شفاف‌سازی عصاره تهیه شده با استفاده از سو استات سرب، عیار قند به روش پلاریمتری توسط دستگاه ساکاری‌متر، غلظت پتاسیم و سدیم به روش فلیم فتومتری و نیتروژن مضر به روش عدد آبی و با استفاده از دستگاه بتاآنالیزر اندازه‌گیری شد (Kant and Kafkafi, 2002).

الکالیته یا ضریب کلیانیت (Alc) نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از معادله ۲، میزان قند ملاس (MS) بر اساس معادله ۳، عملکرد شکر (SY) از معادله ۴، شکر قابل استحصال (WSC) از معادله ۵، عملکرد شکر سفید (WSY) از معادله ۶ و ضریب استحصال شکر (ECS) از معادله ۷ و از طریق روابط زیر محاسبه شدند (Abdollahian-noghabi et al., 2005).

$$\text{Alc} = (\text{k} + \text{Na}) / \text{a-amino-N} \quad (2)$$

$$\text{MS} = 0.34(\text{Na} + \text{k}) + 0.094(\text{a-amino-N}) \quad (3)$$

$$\text{SY} = \text{RY} \times \text{SC} \quad (4)$$

$$\text{WSC} = \text{SC} - (\text{MS} + 0.6) \quad (5)$$

$$\text{WSY} = \text{WSC} \times \text{RY} \quad (6)$$

$$\text{ECS} = (\text{WSC} \div \text{SC}) \times 100 \quad (7)$$

داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده پس از اطمینان از همگنی واریانس خطاها با نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTAT-C آنالیز و میانگین‌های معنی‌دار شده توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ارزیابی شدند. نمودارها و جداول مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

صفات عملکردی: نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی و کاربرد مقادیر مختلف پلی‌آمین بر تمامی صفات عملکردی شامل عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ و عیار قند تأثیر معنی‌داری داشت و اثر متقابل تنش آبی و پلی‌آمین نیز بر صفت عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تنش آبی نشان داد که آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بالاترین مقدار صفات عملکردی بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود که با تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی مزرعه اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۴). این تیمار نسبت به تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی

زراعی)، اسپرمین یک میلی مولار در رفع آسیب‌های ناشی از تنش خشکی نقش مؤثرتری نشان داده است (Farahbakhsh, Tang and Newton, 2014). در تحقیقی دیگر (Tang and Newton, 2005) گزارش کردند که نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش بیوماس گیاهی به احتمال زیاد مربوط به اثر آنتی‌اکسیداتیو، کمک به تعادل کاتیون آنیون و یا به احتمال عمل به عنوان منبع نیتروژن بوده است. پلی‌آمین‌ها از طریق افزایش فعالیت‌های آنزیمی، آنتی‌اکسیداتیو و مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد در گیاه می‌گردد (Rangan et al., 2014).

در تحقیق حاضر، تنش کم‌آبی باعث افزایش عیار قند شد. بیشترین عیار قند در تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی مزرعه حاصل شد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در گروه دوم آماری قرار داشت و کمترین مقدار عیار قند در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که با تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به بالا بودن عیار قند در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، این افزایش عیار قند تا حدودی جایگزین کاهش عملکرد ریشه در این تیمار شده است. بیشترین عیار قند در تیمار پوترسین یک میلی مولار به دست آمد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی مولار اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی با سایر تیمارهای گروه اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین عیار قند نیز به تیمار شاهد اختصاص داشت. به نظر می‌رسد که تغییر هورمونی ناشی از تنش خشکی سبب شده است تا مواد غذایی بیشتری به سمت ریشه حرکت کند و ناخالصی‌ها کاهش و عیار قند افزایش پیدا کند (Khajepoor, 2005). در پژوهشی تیمار تنش آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد بالاترین درصد قند را نشان داد. هم‌چنین کمترین عیار قند نیز به دلیل آبیاری کامل و بزرگ شدن ریشه‌ها از تیمار آبیاری کامل حاصل شد (Noorjou and Baghei-Kiani, 2004) که با نتایج این تحقیق هم‌سو است. هم‌چنین بالاتر بودن عیار قند در شرایط تنش خشکی ممکن است به علت از دست رفتن آب ریشه‌ها و کوچک بودن آن‌ها در این شرایط باشد (Ober, 2001).

به طور مشابه محققین دیگر (Mahrokh and Khajepoor, 2019) نشان دادند تنش رطوبتی از طریق افزایش عیار قند باعث افزایش درصد شکر قابل استحصال شد.

که تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه چغندر قند داشته و حداکثر عملکرد ریشه از تیمار شاهد (آبیاری کامل) به دست آمد (Noorjou and Baghaei-Kiani, 2004) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، سبب کاهش تولید آسیمیلات‌ها می‌شود؛ بنابراین تجمع ماده خشک در گیاه کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقی دیگر نیز نشان داد تنش خشکی به کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه چغندر قند منجر شد (Ghaffari and Tadayon, 2017).

بیشترین عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر برگ و وزن خشک برگ در تیمار پوترسین یک میلی مولار حاصل شد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی مولار اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی با بقیه تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش وزن تر و خشک در گیاهان تیمار شده با پوترسین و اسپرمیدین را می‌توان به تأثیر پلی‌آمین‌ها در بهبود شاخص‌های رشدی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و نقش محافظتی آن‌ها در پایداری سلول‌ها مرتبط دانست (Hussein et al., 2006; Kusano et al., 2008; Noohpish and Kalantari, 2011). در آزمایشی گزارش شد که کاربرد پلی‌آمین‌ها موجب بهبود طول اندام هوایی، طول ریشه‌چه و هم‌چنین وزن تر و خشک گیاهچه شدند و استقرار گیاه بهبود یافت (Khan et al., 2012). کاربرد خارجی پلی‌آمین‌های اسپرمیدین و پوترسین موجب افزایش وزن تر و خشک برگ در توت‌فرنگی شد (Movahed et al., 2012) که با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌سو است. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول در گیاه یونجه (*Medicago sativa L.*) سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین برگ می‌شود و تیمار با پوترسین سبب افزایش این صفات می‌گردد (Zeid and Shedeed, 2007). در تحقیق دیگری تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث کاهش محتوای آب برگ گیاه برنج (*Oryza sativa L.*) شد و محلولپاشی ۱۰ میکرومولار اسپرمین باعث عملکرد بهتر در این شرایط می‌گردد (Farooq et al., 2009). در گیاه ارزن (*Panicum miliaceum L.*) از بین تیمارهای صفر، نیم و یک میلی مولار اسپرمین در تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد کمی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین

Table 3- ANOVA of yield traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات						
		عملکرد بیولوژیک Biologic yield	عملکرد ریشه Root yield	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر برگ Leaf wet weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	عیار قند Sugar content	نیتروژن مضر α -amino-N
بلوک Block	2	2.19 ^{ns}	1.68 ^{ns}	0.1156 ^{ns}	0.429 ^{ns}	0.0115 ^{ns}	0.072 ^{ns}	0.0056 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	2670.9 ^{**}	1432.5 ^{**}	89.58 ^{**}	191.98 ^{**}	5.473 ^{**}	3.51 ^{**}	0.0042 ^{ns}
خطای اصلی Error a	4	24.87	13.47	1.045	1.785	0.0618	0.127	0.0028
پلی آمین Polyamine	4	144.2 ^{**}	86.79 ^{**}	6.22 ^{**}	7.69 [*]	0.272 ^{**}	17.66 ^{**}	0.652 ^{**}
پلی آمین * آبیاری P*I	8	23.77 ^{ns}	15.73 ^{**}	1.07 ^{ns}	1.745 ^{ns}	0.0232 ^{ns}	0.223 ^{ns}	0.002 ^{ns}
خطای کل Error b	24	10.279	4.39	0.48	2.19	0.0423	0.155	0.0039
ضریب تغییرات C.V (%)			8.86	9.98	13.02	11.66	7.24	8.21

***, ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

*, ** and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات عملکرد کمی

Table 4- Mean comparison of yield traits

صفات Traits	تیمار Treatments	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (t/ha)	عملکرد ریشه Root yield (t/ha)	وزن خشک ریشه Root dry weight (t/ha)	وزن تر برگ Leaf wet weight (t/ha)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (t/ha)	عیار قند Sugar content (%)	نیتروژن مضر α -amino-N (Mmol/100g)
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	70.313 a	51.967 a	14.36 a	18.17 a	2.94 a	17.30 b	1.93 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	59.951 b	44.827 b	12.71 b	15.13 b	2.44 b	18.16 a	1.95 a
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	43.678 c	32.641 c	9.55 c	11.04 c	1.74 c	17.35 b	1.96 a
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	62.19 a	46.60 a	13.14 a	15.58 a	2.58 a	18.77 a	1.78 c
	پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	58.73 b	43.42 b	12.30 b	15.31 a	2.41 ab	18.08 b	1.84 bc
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	61.34 a	45.71 a	12.85 ab	14.83 a	2.48 ab	18.56 ab	1.82 bc
	اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	58.85 b	43.91 b	12.39 b	14.94 a	2.40 ab	17.61 c	1.87 b
	شاهد Control	51.29 c	38.08 c	10.85 c	13.21 b	2.10 c	15.22 d	2.43 a

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

ریشه می‌گردد و بدان معنی است که در شرایط تنش، گیاه جهت تنظیم اسمزی خود پتاسیم بیشتری در ریشه ذخیره می‌کند (Mohammadian *et al.*, 2011). عقیده بر این است که در اثر تنش خشکی میزان جذب پتاسیم و سدیم به‌منظور تنظیم فشار اسمزی گیاه افزایش یافته و مقدار جذب هر یک از این دو عنصر به میزان در دسترس بودن آن‌ها در محیط بستگی دارد (Kafi *et al.*, 2011).

تنش رطوبتی باعث افزایش ناخالصی‌های ریشه از جمله سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر می‌شود و از این طریق راندمان استحصال قند را کاهش و قند ملاس را افزایش می‌دهد (Mirzaei and Rezvani, 2007). در آزمایش دیگری لثر سطوح مختلف آبیاری (تنش و نرمال) بر درصد قند ملاس معنی‌دار نشد. با این‌وجود در شرایط تنش درصد قند ملاس بیشتر بود و نسبت به شرایط نرمال افزایش نشان داد (Orojni *et al.*, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عناصر غذایی (نمونه‌برداری اول): نتایج جدول تجزیه

واریانس نشان داد اثر رژیم‌های آبیاری بر مقادیر عناصر نیتروژن و کلسیم برگ در سطح پنج درصد و عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، منیزیم، سدیم، منگنز، روی، مس و بر برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین تیمار پلی‌آمین بر مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است. اثر متقابل آبیاری در پلی‌آمین بر روی هیچ‌کدام از عناصر برگ تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین‌های تیمارها مبین آن است که به‌غیر از سدیم برگ، سایر عناصر غذایی در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بودند و با توجه به اینکه در این حالت تنشی به گیاه وارد نمی‌شود؛ بنابراین همه عناصر غذایی در بهترین حالت خود جذب شده‌اند (جدول ۸).

نتایج مقایسه میانگین تیمار پلی‌آمین نشان داد که تیمار پوترسین یک میلی‌مولار باعث افزایش عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، منگنز، روی و بر برگ گردیده است که با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت. در کل تیمار شاهد نیز دارای کمترین مقادیر عناصر غذایی برگ بود (جدول ۸).

عملکرد کیفی: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد شکر ناخالص، عملکرد شکر سفید، قند قابل استحصال، ضریب استحصال قند و پتاسیم و سدیم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار و بر روی درصد قند ملاس، ضریب قلیائیت و نیتروژن مضر غیر معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر پلی‌آمین بر تمامی صفات عملکردی کیفی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری در پلی‌آمین بر روی صفات عملکرد ناخالص شکر، در سطح یک درصد و بر عملکرد شکر خالص در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت ولی بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد شکر سفید در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین بیشترین میزان عملکرد ناخالص شکر در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید که با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار داشت. بیشترین ضریب استحصال قند و قند قابل استحصال نیز از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی حاصل گردید (جدول ۶). به‌طور کلی در صفات عملکردی کیفی، تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی دارای شرایط بهتری نسبت به سایر تیمارها بود.

بیشترین عملکرد شکر سفید، عملکرد شکر، ضریب استحصال (۸۰/۹۵)، قند قابل استحصال (۱۵/۲۰)، قند ملاس (۲/۹۷) و ضریب قلیائیت (۴/۶۳) از تیمار پوترسین یک مولار به دست آمد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف آماری نداشتند (جدول ۶).

به نظر می‌رسد افزایش درصد قند ملاس ناشی از افزایش ناخالصی‌های ریشه (یون‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر) و مواد جامد غیر قندی (مانند قندهای اینورت، بتائین، رافینوز، پلی‌فنول‌ها و رزین‌ها) است که سبب کاهش بلوره شدن ساکارز شده و در جریان کربناسیون حذف نمی‌شوند و در نهایت منجر به اتلاف قند به‌صورت ملاس می‌شوند (Khajepoor, 2005). از طرفی در شرایط تنش خشکی ناخالصی‌های ریشه مثل سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر افزایش می‌یابد که باعث کاهش درصد قند قابل استحصال و افزایش قند ملاس می‌شوند (Mehrandish *et al.*, 2018).

کاهش میزان آب در دسترس باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات عملکرد کیفی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین

Table 5- ANOVA of qualitative yield traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات							
		MS							
		سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	ضریب کلیاتیت	درصد قند	قند قابل	ضریب	عملکرد	عملکرد شکر
		Root Na	Root K	ALC	ملاس	استحصال	استحصال	شکر	سفید
			MS	WSC	قند ECS	SY	WSY		
بلوک Block	2	0.00 ²² ns	0.0001 ^{ns}	0.0116 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.074 ^{ns}	0.165 ^{ns}	0.01 ⁵ ns	0.005 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	0.112 ^{**}	0.231 ^{**}	0.051 ^{ns}	0.0035 ^{ns}	3.33 ^{**}	3.222 ^{**}	45.66 ^{**}	29.47 ^{**}
خطای اصلی Error a	4	0.0047	0.0014	0.016	0.0008	0.118	0.096	0.38	0.250
پلی آمین Polyamine	4	0.036 ^{**}	1.42 ^{**}	3.62 ^{**}	0.0744 ^{**}	15.49 ^{**}	12.68 ^{**}	10.91 ^{**}	8.24 ^{**}
پلی آمین * آبیاری P*I	8	0.0025 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.0026 ^{ns}	0.198 ^{ns}	0.170 ^{ns}	0.79 ^{**}	0.55 [*]
خطای کل Error b	24	0.002	0.039	0.024	0.0049	0.172	0.465	0.22	0.165
ضریب تغییرات C.V (%)			7.75	7.74	6.42	7.94	9.85	8.32	10.64

***, ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

*, ** and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات عملکرد کیفی

Table 6- Mean comparison of qualitative yield traits

صفات Traits	سدیم ریشه Root Na (Mmol/100g)	پتاسیم ریشه Root K (Mmol/100g)	ضریب کلیاتیت ALC	درصد قند ملاس MS	قند قابل استحصال WSC	ضریب استحصال قند ECS	عملکرد شکر SY (t/ha)	عملکرد شکر سفید WSY (t/ha)
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	2.64 b	5.37 a	4.22 a	2.90 ab	13.80 b	79.67 b	9.03 a	7.21 a
تنش آبی 75% RW	2.71 b	5.33 a	4.21 a	2.92 a	14.65 a	80.54 a	8.19 b	6.62 b
۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	2.81 a	5.14 b	4.11 a	2.89 b	13.87 b	79.83 b	5.68 c	4.54 c
پوترسین ۱ Potrescine 1	2.64 d	5.61 a	4.63 a	2.97 a	15.20 a	80.95 a	8.76 a	7.09 a
پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	2.70 bc	5.38 b	4.40 b	2.92 a	14.56 b	80.51 ab	7.84 b	6.31 b
پلی آمین اسپرمیدین ۱ Polyamine Spermidine 1	2.69 cd	5.45 ab	4.48 ab	2.94 a	14.82 ab	80.72 a	8.35 ab	6.88 ab
اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	2.74 b	5.38 b	4.34 b	2.94 a	14.07 c	79.89 b	7.75 b	6.20 b
شاهد Control	2.81 a	4.59 c	3.06 c	2.74 b	11.87 d	78.01 c	5.80 c	4.52 c

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

عناصر غذایی (نمونه برداری دوم): نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که اثر تنش آبی بر مقادیر عناصر نیتروژن، منیزیم، آهن، مس، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد معنی دار بوده و بر عناصر فسفر، پتاسیم و کلسیم برگ در سطح پنج درصد معنی دار بوده است. هم‌چنین تیمار پلی‌آمین بر مقادیر تمامی عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد تأثیر معنی دار داشت. اثر متقابل تنش آبی و پلی‌آمین بر هیچ کدام از عناصر غذایی معنی داری نگردید (جدول ۹).

نتایج مقایسه میانگین تیمارها بیانگر آن است که تمامی عناصر غذایی در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بوده و به دلیل عدم وجود تنش آبی، همه عناصر غذایی در بهترین حالت خود جذب شده‌اند (جدول ۱۰).

نتایج مقایسه میانگین تیمار پلی‌آمین نشان داد که تیمار پوترسین یک میلی‌مولار باعث افزایش تمامی عناصر غذایی به جز سدیم برگ گردیده است که البته با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف معنی داری نداشت. در مجموع، کمترین مقادیر عناصر غذایی برگ در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۱۰).

در این پژوهش، کاربرد پلی‌آمین‌ها باعث افزایش جذب عناصر غذایی در برگ شد. افزایش جذب عناصری مانند روی و منگنز می‌تواند موجب افزایش میزان رنگیزه و توان فتوسنتزی گیاه شده و عملکرد را بهبود بخشد. عناصر کم‌مصرف نقش مهمی در ارتباط با انتقال مواد قندی در گیاه دارد. هم‌چنین این عناصر در تنظیم متابولیسم سلولی، مقدار پتاسیم و کلسیم در گیاه، رشد سلول‌های اولیه، گرده‌افشانی و تنظیم آب مورد نیاز گیاه نقش فعالی دارد (Camberato, 2004).

این ویژگی‌ها با تولید و تجمع قند در چغندر قند می‌تواند همبستگی مثبت داشته باشد و در نتیجه با افزایش عناصر غذایی در برگ‌ها، به افزایش عملکرد ریشه و میزان قند آن کمک نماید.

پلی‌آمین‌ها، باعث افزایش شدت فتوسنتز گیاهان (Akter

2018, *et al.*) و باعث افزایش تراوش‌های ریشه می‌شوند در نتیجه، به جذب بهتر عناصر توسط ریشه گیاهان کمک می‌نماید. این افزایش جذب عناصر بر اثر پلی‌آمین‌ها، به احتمال زیاد به دلیل نقش آنها در افزایش مقادیر فتوسنتز برگ است. پلی‌آمین‌ها در فرایند نمو ریشه دخالت دارند و کاربرد پلی‌آمین‌های برون‌زا موجب بهبود ساختار ریشه از راه افزایش درصد ریشه‌های باریک و موئین و کاهش ریشه‌های ضخیم می‌شود. این تغییرات موجب بهبود جذب عناصر و افزایش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود. از سوی دیگر، پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع نیتروژن اضافی برای گیاه عمل کنند و موجب افزایش رشد گیاه شوند (Kusano *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2012). گزارش شده که محلول‌پاشی برگی پوترسین موجب افزایش برخی عناصر غذایی درونی گیاه مارچوبه، مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن و منیزیم (El-Abagy *et al.*, 2010) و هم‌چنین افزایش غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ‌های گلابول (Nahed *et al.*, 2009) شد.

پتاسیم بیشتر، در گیاهان به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی مهم به شمار آمده و از راه تأثیر بر مقاومت روزنه‌ای و تنظیم اسمزی سلول‌ها سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌شود (Zheng *et al.*, 2008).

پتاسیم در بزرگ‌شدن یاخته‌ها، رشد ریشه، تخلیه فرآورده‌های فتوسنتزی در بافت‌های مخزن، فعالیت آنزیم‌ها، توازن بار و کاهش جذب یون‌هایی مثل سدیم و آهن در خاک‌های شور نقش دارد (Cakmak, 2005). و نیز در گیاه برنج (Saleethong *et al.*, 2013) کاربرد اسپرمیدین سبب افزایش نسبت K^+/Na^+ گردید. مهار ورود Na^+ به درون ریشه و جلوگیری از افت K^+ در شاخساره‌ها توسط پلی‌آمین سبب بهبود نسبت K^+/Na^+ در جو گردید (Zhao *et al.*, 2007; Shi and Chan, 2014). افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار پلی‌آمین‌ها و افزایش رشد ممکن است به دلیل اثرهای پلی‌آمین‌ها بر بسیاری از فرایندهای زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی باشد (Hummel *et al.*, 2002).

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات عناصر غذایی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین در نمونه برداری اول

Table 7- ANOVA of nutrition element traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying in first sampling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (نمونه برداری اول)										
		نیترژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B
بلوک Block	2	0.0068 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	0.008 ^{ns}	42.78 ^{ns}	0.305 ^{ns}	28.24 ^{ns}	7.47 ^{ns}	4.11 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	0.116 [*]	0.017 ^{**}	0.217 ^{**}	0.011 [*]	0.035 ^{**}	0.052 ^{**}	713.19 ^{**}	0.241 ^{**}	128.58 ^{**}	203.48 ^{**}	198.53 ^{**}
خطای اصلی Error a	4	0.015	0.0001	0.0069	0.0027	0.0001	0.001	59.16	0.085	4.41	27.97	19.82
پلی آمین Polyamine	4	0.602 ^{**}	0.0148 ^{**}	1.65 ^{**}	0.0122 ^{**}	0.0098 ^{**}	0.017 ^{**}	2653.9 ^{**}	18.56 ^{**}	476.77 ^{**}	580.58 ^{**}	765.76 ^{**}
پلی آمین * آبیاری P*I	8	0.033 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.00056 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	37.23 ^{ns}	0.157 ^{ns}	12.53 ^{ns}	11.92 ^{ns}	27.72 ^{ns}
خطای کل Error b	24	0.033	0.0009	0.02	0.0015	0.00066	0.0023	53.25	0.466	25.19	20.52	22.14
ضریب تغییرات C.V (%)			9.91	7.64	9.73	7.78	6.21	7.00	7.87	9.87	11.40	10.83

ns: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

*, ** and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات عناصر غذایی (نمونه برداری اول)

Table 8- Mean comparison of nutrition element traits (first sampling)

صفات Traits	نیترژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	آهن	مس	منگنز	روی	بر	
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)	
تیمار Treatments												
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	4.80 a	0.045 a	4.02 a	0.71 a	0.72 a	3.96 c	191.75 a	15.10 a	74.65 a	54.05 a	71.03 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	4.64 b	0.043 b	3.76 b	0.68 b	0.69 b	3.98 b	183.57 b	13.10 b	72.39 b	49.34 b	69.47 ab
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	4.65 b	0.039 c	3.79 b	0.66 b	0.63 c	4.07 a	172.27 c	11.88 c	72.15 b	45.18 b	66.02 b
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	4.98 a	0.48 a	4.25 a	0.74 a	0.71 a	3.97 bc	207.06 a	15.14 a	81.57 a	58.83 a	79.87 a
	پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	4.70 b	0.43 b	4.08 b	0.68 bc	0.68 ab	4.06 a	180.46 c	14.72 a	73.96 bc	46.62 c	69.64 bc
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	4.99 a	0.46 ab	4.19 ab	0.70 ab	0.70 a	3.96 c	199.33 ab	14.76 a	77.03 ab	55.25 ab	76.73 ab
	اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	4.73 b	0.41 b	4.03 b	0.67 bc	0.67 b	4.01 ab	172.68 d	13.93 b	70.48 c	44.01 c	67.28 c
	شاهد	4.28 c	0.37 c	3.17 c	0.64 c	0.63 c	4.04 a	162.14 e	11.58 c	62.28 d	38.23 d	54.68 d
	Control											

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

جدول ۹- تجزیه واریانس صفات عناصر غذایی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین در نمونه برداری دوم

Table 9- ANOVA of nutrition element traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying in second

sampling												
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (نمونه برداری دوم)										
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B
بلوک	2	0.015	0.0012	0.129	0.0019	0.003	0.0009	40.06	0.091	16.33	16.64	16.23
Block		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
آبیاری	2	0.437	0.008 *	0.488	0.0236	0.0389	0.035	221.09	12.77	81.36	173.87	158.89
Irrigation		**	*	*	*	**	ns	**	**	**	**	**
خطای	4	0.009	0.0005	0.083	0.0014	0.0014	0.009	50.16	0.54	9.10	4.93	5.71
Error a												
پلی آمین	4	0.684	0.00112	1.463	0.111	0.0092	0.036	2500.39	21.27	397.83	454.72	972.63
Polyamine		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
پلی آمین *	8	0.030	0.0003	0.013	0.0012	0.0004	0.0007	25.30	0.66	8.17	15.11	25.23
آبیاری		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P*I	24	0.02	0.0008	0.056	0.0016	0.0003	0.0018	75.63	0.52	20.75	18.96	24.46
خطای کل												
Error b												
ضریب تغییرات			10.40	9.59	8.58	7.33	6.07	8.66	9.08	10.02	11.54	10.77
C.V (%)												

***, ** و * : به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

*, ** and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۱۰- مقایسه میانگین صفات عناصر غذایی (نمونه برداری دوم)

Table 10- Mean comparison of nutrition element traits (second sampling)

صفات Traits	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B	
												تیمار Treatments
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	5.39 a	0.47 a	4.33 a	0.75 a	0.738 a	3.87 a	198.20 a	16.43 a	85.51 a	59.44 a	76.11 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	5.33 a	0.44 b	4.34 a	0.74 a	0.697 b	3.93 a	187.55 b	13.69 b	75.04 b	52.44 b	73.34 b
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	5.07 b	0.42 b	4.02 b	0.69 b	0.637 c	3.96 a	176.67 c	14.45 b	70.55 c	47.11 c	69.62 c
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	5.546 ab	0.49 a	4.53 a	0.77 a	0.73 a	3.84 c	211.92 a	15.51 a	84.68 a	60.65 a	86.34 a
	پوترسین ۰.۵ Potrescine 0.5	5.33 b	0.43 b	4.39 ab	0.72 b	0.69 b	3.93 b	182.74 c	15.17ab	75.58 bc	50.68 bc	73.02 c
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	5.56 a	0.47 ab	4.45 ab	0.74 ab	0.71 a	3.87 c	199.45 ab	15.19ab	81.14 ab	56.67 ab	83.14 ab
	اسپرمیدین ۰.۵ Spermidine 0.5	5.26 b	0.43 b	4.25 b	0.71 bc	0.68 b	3.95 b	176.49 cd	13.94 c	73.66 c	46.83 c	69.23 c
	شاهد Control	4.81 c	0.39 c	3.53 c	0.68 c	0.64 c	4.01 a	168.75 d	11.65 d	66.43 d	42.17 d	58.38 d

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

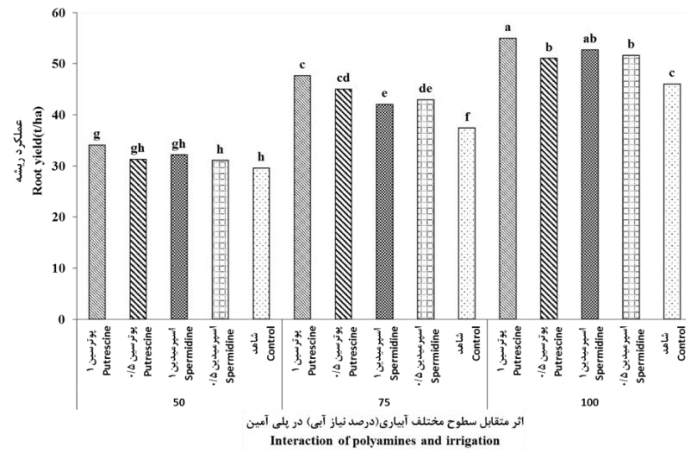
different letters in a column have significantly difference.

تجزیه واریانس نشان داد از نظر عملکرد ریشه بین سطوح

بررسی اثرات متقابل پلی آمین ها و آبیاری: نتایج جدول

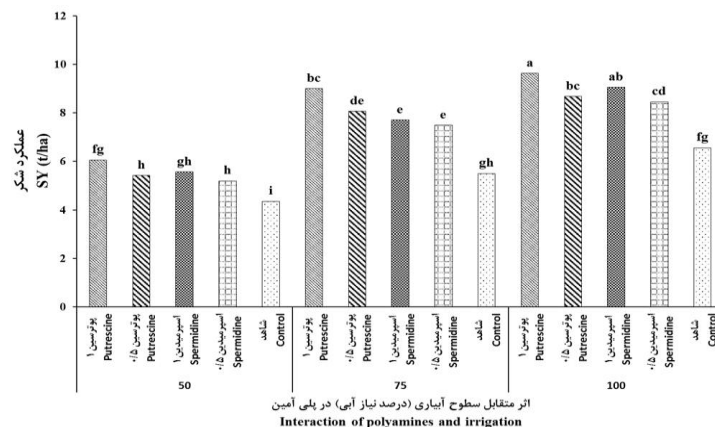
میلی مولار بود (شکل‌های ۳ و ۲). اثرات پلی‌آمین‌ها بر روی گیاهان، زمانی مشاهده می‌شود که گیاهان تحت شرایط نامناسب محیطی از جمله خشکی باشند. تنش خشکی سبب تجمع انتخابی پلی‌آمین‌ها می‌گردد به نحوی که در اغلب موارد در ارقام حساس به خشکی، پوترسین و در ارقام مقاوم به خشکی، اسپرمیدین و اسپرمین تجمع می‌یابد (Gill and Tuteja, 2013). در آزمایشی، تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه در ماش سبز بررسی و نشان داده شد که محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین، موجب افزایش معنی‌دار اجزاء عملکرد شده است (Jithesh et al., 2006).

مختلف پوترسین، اسپرمیدین و تیمارهای آبیاری اثر معنی‌دار متقابلی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). بیشترین عملکرد ریشه در سطح تیمارهای پوترسین و اسپرمیدین یک میلی‌مولار در سطح ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده شد (شکل ۱). این دو سطح پلی‌آمین به ترتیب با ۵۵/۴۴ و ۵۴/۶۹ تن در هکتار بیشترین عملکرد ریشه را داشته که افزایش قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. همچنین پلی‌آمین‌ها افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد عملکرد شکر و ۵ درصد عملکرد شکر سفید داشتند (جدول ۵). بیشترین مقادیر عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید با به ترتیب ۱۰/۱۵ تن در هکتار و ۸/۱۷ تن در هکتار مربوط به تیمار پوترسین یک



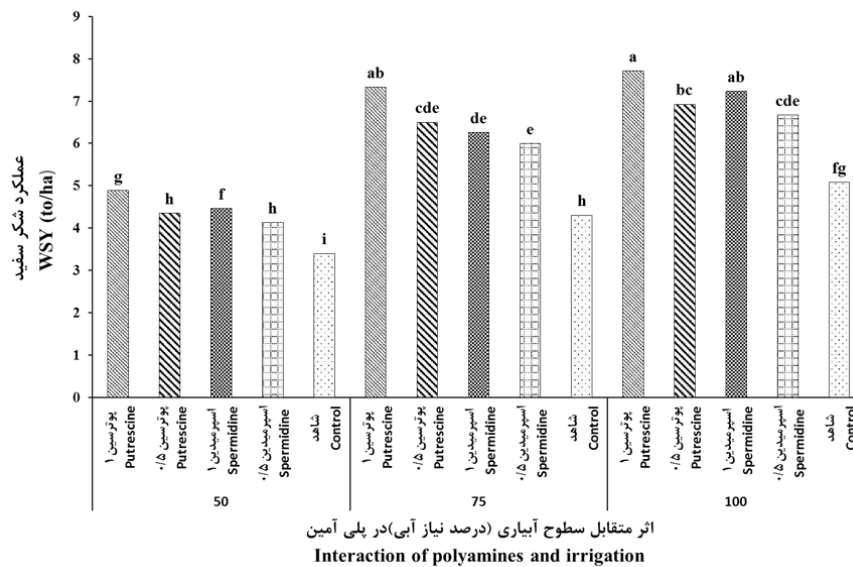
شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد ریشه در مقادیر مختلف پلی‌آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار)

Figure 1- Means comparisons for sugar beet root yield under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد شکر در مقادیر مختلف پلی‌آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار)

Figure 2- Means comparisons for sugar beet sugar content under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید در مقادیر مختلف پلی آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون ها بیانگر عدم تفاوت معنی دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی دار)

Figure 3- Means comparisons for sugar beet white sugar content under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).

بسیار کم بود. نقش محلول پاشی با پوترسین یک میلی مولار باعث صرفه جویی قابل توجه ۲۵ درصدی آب مصرفی در مقابل کاهش کم و قابل اغماض عملکرد شکر گردید. با توجه به محدودیت منابع آبی و نیاز روزافزون جمعیت به غذا، ضرورت دارد تا با کاهش مصرف آب و کشت مدیریت شده، تولید مناسب از سطح زیر کشت تأمین شود. با توجه به اینکه اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان، با تنش خشکی مواجه است بنابراین می توان با استفاده از محرک های رشد از جمله پلی آمین ها ضمن کاهش اثرات منفی کم آبی، عملکرد مطلوبی در واحد سطح تولید نمود.

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش بیان نمود که تنش خشکی باعث کاهش صفات عملکردی کمی و کیفی شد. همچنین پلی آمین پوترسین و اسپرمیدین ۱ میلی مولار باعث بیشترین افزایش در صفات عملکردی گردید. اثر متقابل پلی آمین و آبیاری نیز باعث کاهش معنی دار شکر خالص و ناخالص نگردید، بنابراین با توجه به شرایط کم آبی و خشکسالی های اخیر، می توان از مقداری کاهش عملکرد ریشه با توجه به عدم کاهش عملکرد شکر ناخالص و خالص چشم پوشی نموده و با استفاده از پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار، مزرعه را با ۷۵ درصد نیاز آبی نموده

در تیمار تنش ملایم (۷۵ درصد آبیاری)، مقدار عملکرد ریشه کمتری نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد، درعین حال بین کاربرد دو نوع پلی آمین مورد استفاده در سطح یک میلی مولار و سطح تنش ملایم اختلاف کمی در عملکرد ریشه مشاهده گردید (شکل ۱)، بنابراین با محلول پاشی پلی آمین ها به مقدار یک میلی مولار در سطح تنشی ملایم به مقدار عملکرد ریشه معادل سطح آبیاری مطلوب رسید. مقادیر قابل قبول عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید با کاربرد مقدار یک میلی مولار پوترسین در تیمار آبیاری ۷۵ درصد به دست آمد که بین این مقادیر با کاربرد پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار در نیاز آبی ۱۰۰ درصد اختلاف آماری معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۲)؛ بنابراین احتمالاً پوترسین و اسپرمیدین توانسته اند این کاهش آبیاری را جبران نموده و سبب صرفه جویی در مقدار آب مصرفی گردند. میزان آب مصرفی در سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد آبیاری) ۱۲۳۳۲ مترمکعب در هکتار و در سطح تنشی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) مقدار آب مصرفی ۹۲۴۹ مترمکعب در هکتار اندازه گیری شد؛ بنابراین هرچند در تیمار ۷۵ درصد آبیاری در مقایسه با شرایط بدون تنش، صرفاً مقدار ۱۰ درصد کاهش عملکرد ریشه حاصل شد؛ ولی در عملکرد شکر ناخالص و خالص مقدار کاهش

ریشه در اثر محلول پاشی با پلی آمین ها، میزان قند ورودی به ملاس نیز کاهش و در نهایت مقدار ضریب استحصال شکر افزایش یافت. آلکالیتیه نیز تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی قرار گرفت به طوری که بیشترین میزان آن از محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار به دست آمد. با توجه به نتیجه کلی این تحقیق و از آنجایی که تنش خشکی مهم ترین عامل محدودکننده تولید چغندر قند به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک جهان همانند ایران است، محلول پاشی با استفاده از پلی آمین ها پوترسین و اسپرمیدین با غلظت یک میلی مولار راهکاری مؤثر جهت کاهش آثار سوء تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و کیفیت چغندر قند می باشد.

تا ضمن کسب عملکرد قابل قبول، در مصرف آب نیز صرفه جویی قابل ملاحظه ای صورت پذیرد.

در این پژوهش تیمارهای محلول پاشی پلی آمین با کاهش آثار منفی تنش خشکی نقش مهمی در کاهش صدمات وارده به گیاه داشتند. به طوری که محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین سبب افزایش قابل ملاحظه عملکرد کمی و کیفی شد. تیمارهای محلول پاشی واکنش های فیزیولوژیک گیاه به خشکی را بهبود بخشیدند به طوری که در شرایط تنش خشکی بیشترین محتوای عناصر غذایی برگ در هر دو نمونه برداری از محلول پاشی پلی آمین به دست آمد؛ بنابراین در شرایط خشکسالی، یکی از بهترین راهکارهای کاهش اثرات منفی کم آبی، استفاده از پلی آمین ها جهت افزایش مقدار عناصر غذایی برگ و افزایش عملکرد می باشد. به دلیل کاهش سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر

References

- Abdollahian-noghabi, M., Shikholeslami, R., and Babae, B., 2005. Technical terms of sugar beet quantity and quality. *Sugar Beet*, 21(1), pp.101-104. [In Persian].
- Akter, S.H., Rasull, G., Zakaria, M., Sarker, M., Nila, I.S., Dutta, S., Haque, M., and Rohman, M., 2018. Effect of polyamine on pigmentation, reactive oxidative species and antioxidant under drought in maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(7), pp.799-811. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i7.799-811.1493>
- Alcazar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., Carrasco, P., and Tiburcio, A.F., 2010. Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231(6), pp.1237-1249. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1130-0>
- Alizadeh, A., and Kamali, G., 2007. *Water requirement of plants in Iran* (2nd ed.). Astan Quds Razavi Publications. [In Persian].
- Al-Jbawi, E., and Abbas, F., 2013. The effect of length during drought stress on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. *Persian Gulf Crop Protection*, 2(1), pp.35-43.
- Ashraf, M., and Akram, N., 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29, pp.162-190. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580>
- Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), pp.206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Cakmak, I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, pp.521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>

- Camberato, J.J., 2004. Foliar application on sugar beet. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, pp.120-126.
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., and Zheng, B., 2019. Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp.1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>
- Cooke, D.A., and Scott, R.K., 1993. *The sugar beet crop: science and practice*. Champan and Hall, p. 704. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0373-9>
- Dehghan, H., and Alizadeh, A., 2012. Evaluation and calibration of different methods to estimate reference crop evapotranspiration under climatic data limitations (Case Study: Khorasan Razavi province). *Journal of Water and Soil*, 26(1), pp.236-250. [In Persian].
- El-Abagy, H.M.H., Rashad, El-Sh.M., Abdel-Mawgoud, A.M.R., and El-Greadly, N.H.M., 2010. Physiological and biochemical effects of some bioregulators on growth, productivity and quality of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6, pp.683-690.
- Emadi, M., Hasibi, P., and Azimi, A., 2013. Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 15(3), pp.247-261. [In Persian].
- Emami, A., 1996. *Plant decomposition methods* (Vol. 1). Publication No. 982. Soil and Water Research. [In Persian].
- Farahbakhsh, H., Tohidinezhad, A., and Reshad, S., 2014. Effect of polyamines on morphological and chemical characteristics of oat under drought stress. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University. [In Persian].
- Farooq, M., Wahid, A., and Lee, D. J., 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologica Plant*, 31, pp.937-945. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
- Ghaffari, H., and Tadayon, M.R., 2017. Effect of vermicompost tea application on morpho-physiological characteristics, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under water stress condition. *Sugar Beet*, 33(2), pp.177-191. [In Persian].
- Gill, S. S., and Tuteja, N., 2013. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, pp.909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Hernandez-Santana, V., Fernández, J.E., Cuevas, M.V., Perez-Martin, A., and Diaz-Espejo, A., 2017. Photosynthetic limitations by water deficit: effect on fruit and olive oil yield, leaf area and trunk diameter and its potential use to control vegetative growth of super-high density olive orchards. *Agricultural Water Management*, 184, pp.9-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.016>
- Hummel, I., Couée, I., El Amrani, A., Martin-Tanguy, J., and Hennion, F., 2002. Involvement of polyamines in root development at low temperature in the subantarctic cruciferous species *Pringlea antiscorbutica*. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp.1463-1473. <https://doi.org/10.1093/jxb/53.373.1463>

- Hussein, M., Nadia, M., El-Gereadly, H.M., and El-Desuki, M., 2006. Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Applied Science Research*, 2, pp.598-604.
- Jithesh, M.N., Prashanth, S.R., Sivaprakash, K.R., and Parida, A.K., 2006. Antioxidative response mechanisms in halophytes: their role in stress defense. *Journal of Genetics*, 85(3); 237-254. <https://doi.org/10.1007/BF02935340>
- Kafi, M.M., Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A.M., 2011. *Crop responses to environment*. Mashhad University Press, p. 350. [In Persian].
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A., and Nabati, J., 2018. *Physiology of environmental stresses in plants*. Jahad-e-Daneshgahi Press, p. 502. [In Persian].
- Kamiah, F., Salehabad, M.H., and Zamanibahramabadi, E., 2015. Evaluation the effects of foliar treatments of polyamines and some organic acids on quantitative and qualitative traits in some pistachio cultivars. *Journal of Nuts*, 6(2), pp.131-142.
- Kant, S., and Kafkafi, U., 2002. Potassium and abiotic stresses in plants. In N. Pasricha and S. Bansal (Eds.), *Potassium for sustainable crop production* (pp.233-251). Potash Institute of India.
- Khajepour, M.R., 2005. *Industrial Plants*. Jahad-e- Daneshgahi Press of Isfahan University of Technology. [In Persian]
- Khan, H.A., Ziaf, K., Amjad, M., and Iqbal, Q., 2012. Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, pp.429-433. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000300018>
- Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., and Takahashi, Y., 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta*, 228, pp.367-381. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0772-7>
- Mahrokh, A., and Khajepoor, M.R., 2010. Water regime effect on growth indices and quantitative and qualitative yields characteristics of sugar beet. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41, pp.235-246. [In Persian].
- Mehrandish, M., Jamimoeini, M., and Armin, M., 2018. The effect of source and amount of potassium consumption on the quality characteristics of Aras sugar beet under full and limited irrigation conditions. *Plant Ecophysiology*, 34, pp.97-108.
- Minocha, R., Majumdar, R., and Minocha, S. C., 2014. Polyamines and abiotic stress in plants: a complex relationship. *Frontiers in Plant Science*, 5, pp.175-185. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00175>
- Mirzaei, M.R., and Rezvani, S.M.A., 2007. Effect of drought stress on quality characteristics of sugar beet in different stages of vegetative growth. *Sugar Beet*, 23, pp.29-42.
- Mohammadian, R., 2019. Management package to reduce irrigation water and increase water use productivity in sugar beet cultivation. *Water Management in Agriculture*, 6(2), pp. 103-114.
- Mohammadian, R., Taleghani, D., and Sadeghzadah Hemayaty, S., 2011. Effect of different irrigation managements on quantity and quality of sugar beet. *Sugar Beet*, 26(2), pp.139-156.

- Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S.Y., 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(5), pp.357-368.
- Movahed, N., Eshghi, S., Tafazoli, E., and Jamali, B., 2012. Effects of polyamines on vegetative characteristics, growth, flowering and yield of strawberry ('Paros' and 'Selva'). *Acta Horticulturae*, 926, Lisbon, Portugal. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.926.39>
- Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., and Vazan, S., 2010. Effects of methanol on yield and some quality characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in drought and non-drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 26(1), pp.95-108.
- Naderi Darbaghshahi, M.R., Noormohammadi, G.H., Majidi, A., Darvish, F., Shirani, A., and Madani, H., 2005. Evaluation of safflower response to different intensities of drought stress in Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Science*, 7(3), pp.212-225. [In Persian].
- Nahed, G.A.A., Lobna, S.T., and Soad, M.M.I., 2009. Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus plants at Nubaria. *Ozean Journal of Applied Science*, 2, pp.169-179.
- Noohpish, Z., and Kalantari, Kh.M., 2011. The interaction effects of spermidine application and salinity stress in pepper plants. *Iranian Journal of Biology*, 24(6), pp.848-857.
- Noorjou, A., and Baghaei-Kiani, M., 2004. Water stress effect on quantitative and qualitative sugar beet in growth different stage. *Sugar Beet*, 20(1), pp.27-38. [In Persian].
- Noshad, H., Mohammadian, R., and Khayamim, S., 2016. The effect of different nitrogen and potassium levels on quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress. *Sugar Beet*, 32(1), pp.37-49. [In Persian].
- Ober, E., 2001. The search for drought tolerance in sugar beet. *British Sugar Beet Review*, 69, pp.40-43.
- Orojnina, S., Habibi, D., Taleghani, D., Safari Dolat Abadi, S., Pazoki, A., Moaveni, P., Rahmani, M., and Farshidi, M., 2012. Evaluation of yield and yield components of different sugar beet genotypes under drought stress. *Agriculture and Plant Breeding*, 8(1), pp.127-144.
- Ozbay, S., and Yıldırım, M., 2018. Root yield and quality of sugar beet under drip and sprinkler irrigation with foliar application of micro nutrients. *Journal Agricultural Faculty*, 6(1), pp.105-114.
- Rajabi, A.H., Vahidi, M.R., Haj Seyed Hadi, D., and Taleghani, F., 2013. Study on drought tolerance and interrelationships among some agronomic and morphophysiological traits in sugar beet lines. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(7), pp.761-768.
- Rangan, P., Subramani, R., Kumar, R., Singh, A.K., and Singh, R., 2014. Recent advances in polyamine metabolism and abiotic stress tolerance. *Biological Medicine Research International*, 6(3), pp.604-621. <https://doi.org/10.1155/2014/239621>
- Rostampoor, M., and Jafari, M., 2017. Seed priming is a solution to deal with drought stress and soil salinity. *International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries*. Tehran University. [In Persian].

- Sagor, G.H.M., Berberich, T., Takahashi, Y., Niitsu, M., and Kusano, T., 2013. The polyamine spermine protects *Arabidopsis* from heat stress-induced damage by increasing expression of heat shock-related genes. *Transgenic Research*, 22(3), pp.595-605. <https://doi.org/10.1007/s11248-012-9666-3>
- Saleethong, P., Sanitchon, J., Kong-Ngern, K., and Theerakulpisut, P., 2013. Effects of exogenous spermidine (Spd) on yield, yield-related parameters and mineral composition of rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica) grains under salt stress. *Australian Journal of Crop Science*, 9, pp.1293-1301.
- Sharp, R.E., and Lenoble, M.E., 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp.33-37. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.33>
- Shi, H., and Chan, Z., 2014. Improvement of plant abiotic stress tolerance through modulation of the polyamine pathway. *Journal of Integrative Plant Biology*, 40, pp.20-30.
- Singh, P.K., and Gautam, S., 2013. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(8), pp.2345-2353. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1279-9>
- Tamara, F.J., Fitters, J., Bussell, S., Mooney, D., and Sparkes, L., 2017. Assessing water uptake in sugar beet (*Beta vulgaris*) under different watering regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 144, pp.61-67. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.001>
- Tang, W., and Newton, R.J., 2005. Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, 214, pp.31-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0>
- Wu, Q.S., Zou, Y.N., Liu, M., and Cheng, K., 2012. Effects of exogenous putrescine on mycorrhiza, root system architecture, and physiological traits of *Glomus mosseae*-colonized trifoliate orange seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40, pp.80-85. <https://doi.org/10.15835/nbha4027926>
- Xiaoyan, L.V., Sixue, C., and Yuguang, W., 2019. Advances in understanding the physiological and molecular responses of sugar beet to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 10, pp.1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01431>
- Yadollahi Farsani, N., 2020. The effect of potassium (K) and boron (B) foliar application on physiological responses, quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress conditions. MSc Thesis, Agriculture Faculty, Shahrekord University. [In Persian].
- Yilmaz, E., Tuna, A.L., and Burun, B., 2011. Tolerance strategies developed by plants to the effects of salt stress. *C.BU. Journal of Science*, 7(1), pp.47-66.
- Yiu, J.C., Juang, L.D., Fang, D.Y.T., Liu, C.W., and Wu, S.J., 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Scientia Horticulturae*, 120, pp.306-314. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.020>
- Zeid, I.M., and Shedeed, Z.A., 2007. Alterations in nitrogen metabolites after putrescine treatment in alfalfa under drought stress. *Pakistan Journal of Biology Science*, 10, pp.1513-1518. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1513.1518>

- Zhao, F., Song, C.P., He, J., and Zhu, H., 2007. Polyamines improve K⁺/Na⁺ homeostasis in barley seedlings by regulating root ion channel activities. *Plant Physiology*, 145, pp.1061-1072. <https://doi.org/10.1104/pp.107.105882>
- Zheng, Y., Jia, A., Tangyuan, N., Xu, J., Li, Z., and Jiang, G., 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165, pp.1455-1465. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.01.001>