Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 47, No. 2, Summer 2024, p. 105-117

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Assessing Yield and Water Productivity of Sweet Corn Variety (KSC403) under Precise Irrigation Management

E. Naderi Bani[1], M. A. Gholami Sefidkouhi[*2] and M. I. Kamali Pashakolaei[3]

1- Master's graduate in irrigation and drainage engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.(ma.gholami@sanru.ac.ir).*
2- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 26 January 2023
Revised: 08 July 2023
Accepted: 11 July 2023

Keywords:
Drip-tape irrigation, Mazandaran, Subsurface irrigation, Surface irrigation.

TO CITE THIS ARTICLE:

Naderi Bani, E., Gholami Sefidkouhi, M. A., Kamali, M. E. (2024). 'Assessing Yield and Water Productivity of Sweet Corn Variety (KSC403) under Precise Irrigation Management', Irrigation Sciences and Engineering, 47(2), pp. 105-117. doi: 10.22055/jise.2023.42888.2054

Introduction

The optimal use of water is one of the most important challenges in the agricultural sector. Although modern irrigation systems increase irrigation efficiency and enhance distribution uniformity of water in the root zone, the time and depth of irrigation in these systems is considered one of the important challenges. (Liang et al., 2020; Brar et al., 2022). This research was conducted to assess the effect of using precise irrigation management (PIM) on the yield and water use efficiency of sweet corn KSC403.

Materials and Methods

Irrigation treatments included furrow irrigation with farmer irrigation management (SI), subsurface irrigation with PIM (PSSI), drip-tape irrigation with PIM (PTI) and drip-tape irrigation with irrigation management based on the national water requirement document (TI). In PSSI and PTI treatments, the irrigation time was determined before the moisture reached the critical level, and the amount of irrigation was also calculated based on the lack of soil moisture until the field capacity was reached. For this purpose, daily monitoring of soil moisture in different depths of soil was done using Sentek Diviner 2000 moisture meter. The experiment was carried out in the crop year 2019-2020 in the form of a completely random design in three repetitions inside the lysimeter. In order to determine the different yields of sweet corn (Biological, Dry cob, Green cob, Biomass, Wet forage, and Dry forage), three plants were taken from each lysimeter as samples in the harvesting stage.

Results and Discussion

The findings showed that the SI and PSSI treatments had the highest (3678 cubic meters per hectare) and the lowest (1115 cubic meters per hectare) amount of water consumed during the growth period, respectively. The PSSI, PTI and TI treatments did not have drain, but 22% of consuming

water in the SI treatment was drained. The results showed that the use of the national water requirement document of plants to estimate the water requirement of corn in the region reveals the plant to water stress during the growth period so that the amount of water delivered to the TI is 25% less than that of the PTI. In general, in precise irrigation treatments (PSSI and PTI) where the amount of moisture in the root development zone is always within Readily Available Water (RAW), a higher yield index was obtained than the SI and TI methods, as well as the use of the subsurface irrigation method due to the placement of the emitter. The distribution of water in the soil improves the absorption of water and plant nutrients, so that at the probability level of 1%, the highest biological, dry corn, green corn, biomass, and dry fodder yields were obtained in the PSSI treatment, while the lowest in TI occurred. According to the results, different irrigation management treatments at the probability level of 1% on biomass productivity, biological productivity, green cob productivity, dry cob productivity, wet fodder productivity, and dry fodder productivity has a significant effect ($p \leq 0.01$). The results of the mean comparison test show that at the probability level of 1%, biomass productivity, green cob productivity, dry cob productivity, and fodder productivity between all irrigation management treatments, except There is a significant difference between PTI and TI. The findings showed that the highest values of biomass, biological, green corn, dry corn, wet fodder and dry fodder productivities in PSSI treatment are respectively with values of 124.9, 40.1, 47.8, 13.6, 73.2 and 24.2 Kilograms per cubic meter were obtained, while the lowest values of this productivity were gotten in the SI treatment.

Conclusions

In general, the use of precise irrigation management to control and regulate soil moisture within the range of the RAW will improve the yield and water productivity in sweet corn cultivation. The findings showed that the application of precise irrigation through subsurface irrigation is higher in all indicators. Irrigation based on the management of the farmer and the national irrigation document has faced the corn plant with water stress and finally caused the reduction of the evaluation indicators. This condition is more acute in the case of the national water requirement document in the region. Therefore, it is necessary to revise this document for Sari region. The findings of this research emphasize the application and use of modern and intelligent precise irrigation systems because, with the more appropriate delivery and distribution of water and nutrients, it will increase the yield and water productivity.

Acknowledgments

The current study was conducted in the research farm of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources in the form of a student thesis and the authors of this paper express their gratitude and appreciation to the university.

Reference

1- Brar, A.S., Kaur, K., Sindhu, V. K., Tsolakis, N., and Srai, J.S. 2022. Sustainable water use through multiple cropping systems and precision irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 333, p.130117 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130117.

2- Liang, Z., Liu, X., Xiong, J. and Xiao, J. 2020 .Water allocation and integrative management of precision irrigation: A systematic review. *Water*, 12(11), p.3135 . DOI: 10.3390/w12113135.

© 2024 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۷، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۳، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۷-۱۰۵

ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری ذرتِ شیرین رقم (KSC403) تحت مدیریت آبیاری دقیق

احسان نادر بنی[۱]، محمدعلی غلامی سفیدکوهی[۲*] و محمداسماعیل کمالی پاشاکلایی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ma.gholami@sanru.ac.ir

۳- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان.

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر استفاده از مدیریت آبیاری دقیق بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت شیرین رقم (KSC403) در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری شیاری با مدیریت آبیاری کشاورز (SI)، آبیاری زیرسطحی با مدیریت آبیاری دقیق (PSSI)، آبیاری قطره‌ای-نواری با مدیریت آبیاری دقیق (PTI) و روش آبیاری قطره-ای-نواری با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی (TI) انتخاب شد. آزمایش‌ها در سال زراعی ۱۳۹۸ در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در لایسیمترهای زهکش‌دار انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد، تیمار SI و PSSI به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین حجم آب مصرفی در دوره رشد را داشت و تیمارهای PSSI، PTI و TI فاقد زه‌آب خروجی بوده‌اند ولی ۲۲ درصد از آب مصرفی در تیمار SI به‌صورت زه‌آب از لایسیمتر خارج شد. به‌طورکلی در سطح احتمال یک درصد، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی، بلال خشک، بلال سبز، زیست توده و علوفه خشک در تیمار PSSI و کم‌ترین آن‌ها در تیمار TI رخ داد. یافته‌ها نشان می‌دهد بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک در تیمار PSSI به‌ترتیب با مقادیر ۱۲٤/۹، ٤۰/۱، ٤۷/۸، ۱۳/٦، ۷۳/۲ و ۲٤/۲ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد در حالی که کمترین مقادیر این بهره‌وری در تیمار SI به‌دست آمد. نتایج این پژوهش تأکید در به‌کارگیری و استفاده از سامانه‌های نوین و آبیاری دقیق دارد زیرا، با تحویل و توزیع مناسب آب و مواد مغذی، افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب حاصل خواهد شد.

کلید واژه‌ها: آبیاری زیرسطحی، آبیاری تیپ، آبیاری سطحی، مازندران.

مقدمه

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین موجود در جهان است و این در حالی است که کشاورزی فاریاب نقش به‌سزایی در تأمین امنیت غذایی در جهان دارد به‌طوری که این اراضی با مساحتی کمتر از ۲۰ درصد سطح کل اراضی دنیا، ۴۰ درصد غذای جهان را تأمین می‌کنند (Turral et al., 2010). از سوی دیگر، تغییر در میزان بارندگی در آینده به‌علت تغییرات اقلیمی ممکن است تقاضای آب آبیاری را افزایش دهد (Döll, 2002). پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ نشان‌گر کمبود منابع آب برای کشاورزی است و پیش‌بینی می‌شود عملکرد کشاورزی باید تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد (Barkunan et al., 2019; Neupane and Guo, 2019). این آمارها در ایران بسیار نگران کننده‌تر است زیرا میزان بارندگی در ایران، حدود یک سوم متوسط بارندگی دنیاست، این در حالی است که میزان تبخیر آب در کشور حدود سه برابر متوسط تبخیر در کره زمین است (Shahrokhnia, 2013). این شرایط ایجاب می‌نماید تا علاوه بر تأکید بر کشاورزی پایدار، حفاظت از منابع آب و خاک و رعایت مسائل زیست‌محیطی، دستیابی به بهره‌وری بیش‌تر از منابع آب نیز توجه خاص شود (Adeyemi et al., 2017). آب مهم‌ترین نهاده و عامل محدودکننده در توسعه سطوح زیر کشت زراعی و باغی و افزایش تولیدات کشاورزی می‌باشد. از این رو با توجه به مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تر به منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود احساس می‌شود (Nodehi, 2015).

مفهوم بهره‌وری آب در کشاورزی با تغییر "آبیاری زمین" به "آبیاری محصولات زراعی" از طریق تغییر در روش‌های آبیاری پیگیری می‌شود (Vera et al., Jackson et al., 2010 ; 2021). در این میان، آبیاری قطره‌ای یکی از پرکاربردترین روش‌های آبیاری موضعی است که به دو صورت سطحی و زیرسطحی قابل اجرا است. از مزایای استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌توان به صرفه‌جویی در آب آبیاری، کارآیی بالاتر مصرف آب (۹۰-۸۰ درصد) Li et al (2018) و Nouri et al (2019)

DOI: 10.22055/JISE.2023.42888.2054

افزایش عملکرد محصول و بهبود کیفیت آن (Yan et al., 2020)، افزایش کارآیی مواد مغذی (Fan et al., 2016)، کاهش مصرف انرژی نسبت به روش آبیاری بارانی (Singh Dhillon et al., 2018) و کاهش ردپای کربن (Chen et al., 2020) اشاره کرد. با این حال، (Ayars et al., 2015) نرخ پایین پذیرش آبیاری قطره‌ای سطحی در کشت غلات را به‌دلیل حجم کار زیاد برای نصب و جمع‌آوری سامانه گزارش کردند. برای حل این مشکل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد شد (Brar et al., 2022). در پژوهشی (Sidhu et al., 2019) نشان دادند که استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سیستم کشت «برنج –گندم» هزینه نیروی کار را کاهش داد و برخلاف آبیاری قطره‌ای سطحی، سامانه‌های قطره‌ای زیرسطحی، تلفات آب را از طریق تبخیر مستقیم از سطح خاک کاهش می‌دهند و در نتیجه راندمان آبیاری در حدود ۱۱ تا ۳۰ درصد بهبود می‌یابد. همچنین این سامانه با تحویل مستقیم آب و مواد مغذی به ناحیه فعال ریشه گیاهان، باعث استفاده دقیق و کارآمدتر نهاده‌های کشاورزی می‌شوند (Barbosa et al (2017)، (Gil et al (2008) پژوهش،.Besharat et al (2020) نشان داد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشت ذرت، رشد سیستم ریشه را تا ۳۴ درصد افزایش داد و در نتیجه جذب آب را تسهیل می‌نماید.

استفاده ناکارآمد از منابع آب در دسترس و عدم برنامه‌ریزی و آبیاری دقیق در کشاورزی، اثرات و تبعات منفی ثانویه‌ای را به همراه خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به زه‌دار و ماندابی شدن اراضی مرغوب کشاورزی، خسارات ناشی از زه‌آب‌ها و مخاطرات محیط زیست اشاره نمود (Al-Karadsheh et al., 2002). وجود مدیریت دقیق و حساب شده به‌منظور حصول بالاترین میزان بهره‌وری آب ضروری است. از جمله اقدامات مدیریتی در هر عملیات زراعی، آبیاری بهنگام است (Adeyemi Pierce, 2010 et al; 2017). در مدیریت آبیاری، اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک از مؤلفه‌های ضروری برای اعمال روش‌های مدیریتی بهینه به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود کیفیت محصول است (Liang et Adeyemi et al., 2017 ; al., 2020; Vera et al., 2021). از این رو آبیاری دقیق (Precision Irrigation) به‌عنوان استراتژی جدید مطرح شد. آبیاری دقیق بر مبنای کاربرد مقادیر متغیر آب بر اساس نیاز گیاه طی دوره رشد استوار می‌باشد، به‌عنوان یک استراتژی بالقوه به‌منظور افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از آبیاری در کشاورزی آبی به حساب می‌آید (Adeyemi et al., Smith, 2011;2017). در پژوهشی، (Chami et al., 2019) بیان کردند که استفاده از شیوه آبیاری دقیق در سیستم آبیاری قطره‌ای، صرفه‌جویی ۲۲/۶ درصد در مصرف آب و کاهش ۲۳ درصد انتشار CO_2 را در پی دارد. همچنین، به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، حدود ۲۸ درصد ارزش افزوده آب آبیاری افزایش می‌یابد. از دیدگاه فنی، به‌دلیل تنوع گسترده منابع آب، خاک، هوا و محصولات کشاورزی، نیاز به استفاده از سامانه‌های آبیاری دقیق در شرایط مختلف وجود دارد (Liang et al., 2020). اگرچه آبیاری دقیق منجر به مزایای مالی قابل توجهی از صرفه جویی در مصرف آب و انرژی می‌شود، ولی به‌دلیل هزینه بالای تجهیزات مورد نیاز ممکن است توجیه اقتصادی را برای کشاورز به همراه نداشته باشد. با این وجود، آبیاری دقیق با تغییر در میزان عملکرد و کیفیت محصول، باعث می‌شود که سرمایه‌گذاری در آبیاری دقیق پایدارتر شود (Chami et al., 2019).

ذرت به‌عنوان ماده اولیه خوراک دام، طیور، انسان و ماده خام تولیدات صنعتی و غذایی، از محصولات مهم و اساسی محسوب می‌شود که به‌علت قدرت تطابق و سازگاری بالای آن با شرایط مختلف آب و هوایی، کشت آن گسترش چشم‌گیری داشته است. یکی از عوامل مهم عدم توسعه کشت ذرت در ایران، پایین بودن بازده آبیاری با روش‌های آبیاری مرسوم و در نتیجه کمبود منابع آب برای افزایش سطح زیر کشت این محصول می‌باشد (Ahmadaali and Khalili, 2009). ذرت رشد سریعی دارد و در مقابل تنش آبی، به‌ویژه از مرحله گلدهی تا پر شدن دانه نسبتاً حساس است. در میان ارقام متنوع ذرت، ذرت شیرین دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای است؛ زیرا کلیه بخش‌های گیاه ازجمله بلال، ساقه، برگ، چوب بلال و پوست بلال مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گیاه، از یک سو اصولاً زودرس‌تر از ذرت علوفه‌ای است و از سوی دیگر قبل از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها، برداشت می‌شود.

به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت آبیاری دقیق و ترکیب آن با روش‌های نوین و استفاده از فناوری‌های جدید مانند سیستم‌های خودکار آبیاری در چارچوب اینترنت اشیا (Internet of Things)، برای تعیین زمان و مقدار مناسب آبیاری در حال توسعه است (Vera et al., 2021). معمولاً پایش مقدار رطوبت در سیستم خاک–گیاه–اتمسفر یک جنبه اساسی از مدیریت تولید محصول در کشاورزی آبی است که مستلزم استفاده از فناوری‌های مختلف سنجش در تعیین و توصیف دینامیک رطوبت در مقیاس مکانی–زمانی می‌باشد. با توجه به آنچه بیان شد، لازم است با استفاده از روش‌ها و مدیریت نوین آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد. بر این اساس در این پژوهش، به بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری دقیق براساس رطوبت خاک و همچنین کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری بر میزان عملکرد و بهره‌وری آب در کشت ذرت شیرین پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مکان پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۹۸–۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با استفاده از ۱۲ عدد لایسیمتر زهکش‌دار به شکل استوانه به قطر قاعده ۱۱۵ و ارتفاع ۱۴۵ سانتی‌متر، از جنس پلی‌اتیلن سخت انجام شد. به‌منظور تعیین

خصوصیات خاک، پس از انجام مراحل نصب لایسیمترها و پر کردن آن‌ها از خاک مناسب زراعی، پیش از کاشت، نمونه‌های خاک با استفاده از اوگر در فواصل عمقی معین (۲۰ سانتی‌متر) از نقاط مختلف لایسیمترها برداشت و خصوصیات آن در آزمایشگاه تعیین شد. مشخصات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ترتیب در جدول (۱) و (۲) آورده شده است. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک زدن زمین اطراف لایسیمتر و زیر و رو کردن، خرد کردن کلوخ و مسطح سازی خاک در داخل لایسیمتر انجام گرفت. ذرت شیرین رقم KSC403 در تاریخ بیستم اردیبهشت ۱۳۹۷ کاشت و در تاریخ بیست و پنجم مرداد برداشت شد. در داخل لایسیمترها پنج بوته ذرت شیرین در یک ردیف کشت شد و برای ایجاد شرایط مزرعه، به گونه‌ای عمل شد که فاصله بین ردیف‌های داخل و خارج از لایسیمترها یکسان باشد. بذرها در عمق پنج سانتی‌متری خاک، در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از هم روی ردیف بوده و فاصله بین ردیف‌ها نیز ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر محل دو بذر کشت شد و پس از جوانه زدن در مرحله دو برگی شدن، گیاه ضعیف‌تر حذف گردید. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، اطراف لایسیمترها نیز ذرت شیرین کشت شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های نیازسنجی کودی خاک، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در مرحله شخم زدن و آماده سازی لایسیمترها به خاک اضافه شد. همچنین ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در چهار مرحله به مقدار ۲۵ درصد در دومین آبیاری، ۲۵ درصد در مرحله چهار تا شش برگی، ۲۵ درصد در قبل از ظهور گل نر (مرحله ۱۰ برگی گیاه) و ۲۵ درصد آن نیز در مرحله ظهور گل‌های نر اعمال شد.

آب آبیاری از طریق چاه مزرعه تامین شد که از کیفیت خوبی برخوردار بوده است به‌طوری که مقدار EC آن ۰/۷۷ دسی‌زیمنس بر متر، TSS برابر ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار اسدیته آن نیز ۷/۳ بود.

تیمارهای آزمایش

برای بررسی اثر مدیریت آبیاری دقیق بر میزان عملکرد ذرت شیرین و بهره‌وری مصرف آب آبیاری، روش‌های آبیاری سطحی شیاری با مدیریت آبیاری زارع منطقه (Surface Irrigation (SI))، آبیاری زیرسطحی با مدیریت آبیاری بر اساس آبیاری دقیق (Precision Subsurface Irrigation (PSSI))، آبیاری قطره‌ای-نواری (Tape) با مدیریت آبیاری بر اساس آبیاری دقیق (Precision Tape Irrigation (PTI)) و روش آبیاری قطره-ای-نواری (Tape) با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی گیاهان (Tape Irrigation (TI)) اعمال شد. بدین منظور شیارها در مرکز لایسیمترها ایجاد شده و گیاه ذرت شیرین روی پشته‌ها کاشته شد. برای اعمال روش آبیاری برای تیمارهای (PTI) و (TI) با روش آبیاری قطره‌ای نواری از نوار Tape با آبدهی ۲/۵ لیتر در ساعت در واحد طول و فواصل خروجی ۲۰ سانتی‌متر به صورت دو ردیفه و برای تیمار آبیاری زیرسطحی از لوله تراوا با قطر داخلی ۱۳ و قطر خارجی ۱۸ میلی‌متر که در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از گیاه در دو طرف گیاه کار گذاشته شده بود، استفاده شد. همچنین برای محاسبه عملکرد و بهره‌وری آب، از هر لایسیمتر سه بوته رقابت کننده با هم انتخاب و برداشت شد. برای بررسی اثر روش‌ها و مدیریت‌های آبیاری، آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی (Randomized Design Completely) با سه تکرار اجرا شد. شکل (۱) جانمایی تیمارهای پژوهش را نشان می‌هد.

در تمامی تیمارها، مقدار و دور آبیاری اولیه به‌منظور سبز شدن و استقرار گیاه تا مرحله پنج برگی یکنواخت بود. پس از استقرار گیاه در مزرعه، روش‌ها و مدیریت‌های آبیاری اعمال شدند. در تیمار SI، دور آبیاری ۱۰ روز و مقدار آبیاری نیز به‌طور میانگین ۹۲ میلی‌متر (براساس تجارب محلی) بود. در تیمار TI با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی گیاهان، دور آبیاری پنج روز و مقدار نیاز آبی ذرت شیرین برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار (NETWAT) محاسبه و اعمال شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک درون لایسیمترها

Table 1- Physical properties of the soil inside the lysimeters

Soil texture	Particle (%)			Volumetric moisture (%)	
	Sand	Clay	Silt	FC	PWP
Loam	39	19	42	31	9.2

جدول۲- مشخصات شیمیایی خاک درون لایسیمترها

Table 2- Chemical properties of the soil inside the lysimeters

ECe (mmohs/cm)	pH	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)
1.7	7.68	136	6.68	0.16

DOI: 10.22055/JISE.2023.42888.2054

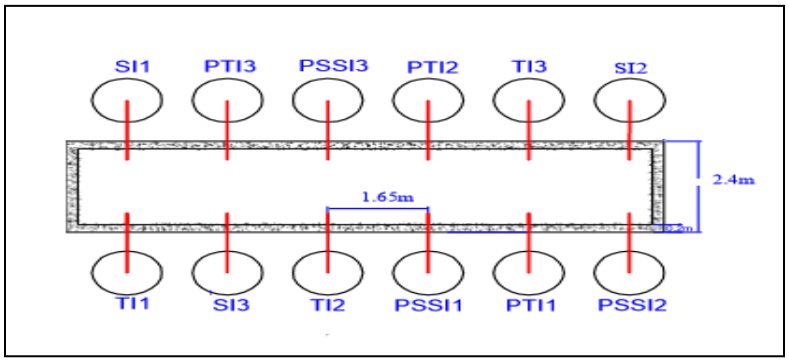

Fig. 1- Layout of research treatments
شکل ۱- جانمایی تیمارهای پژوهش

جدول ۳- میزان آب تحویلی و زه‌آب خروجی در تیمارهای مختلف (مترمکعب در هکتار)
Table 3- Amount of water delivered and drainage in different treatments (m^3/ha)

	PSSI	PTI	SI	TI
Water delivered	1115	1527	3678	1150
Drain	0	0	835	0

در تیمارهای PSSI و PTI که مدیریت آبیاری آن‌ها بر اساس مدیریت آبیاری دقیق می‌باشد، به گونه‌ای عمل شد که همواره رطوبت خاک در داخل لایسیمتر در حد رطوبت سهل الوصول باقی بماند. بدین منظور، با پایش روزانه رطوبت، زمان آبیاری قبل از رسیدن رطوبت به حد بحرانی و مقدار آن نیز مطابق رابطه (۱)، بر اساس کمبود رطوبت خاک تا رسیدن به حد ظرفیت زراعی محاسبه شد (Fazel et al., 2017). پایش رطوبت روزانه خاک در اعماق مختلف با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج Sentek مدل Diviner 2000 انجام شد. این وسیله از طریق prob که در داخل لوله هدایت‌گر مخصوص قرار می‌گیرد، رطوبت خاک در لایه‌های ۱۰۰ میلی‌متری را اندازه‌گیری می‌کند.

$$I_n=\sum_{i=1}^{m}(\theta FCi-\theta BIi)i\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، I_n، مقدار آب مورد نیاز خاک برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی(mm)، θ_{FCi}، مقدار رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی، θ_{BIi}، مقدار رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در لایه i می‌باشد.

برای حذف اثرات بارندگی مؤثر بر نتایج، از پوشش نایلونی استفاده شد. بدین منظور بر اساس پیش بینی هواشناسی، درصورت احتمال وقوع بارش، پوشش نایلونی روی پایه های نصب شده قرار می گرفت تا مانع ورود باران به محدوده و لایسیمترها شود.

بهره‌وری

به‌منظور تعیین عملکرد در مرحله برداشت اقتصادی (انتهای مرحله شیری شدن دانه‌ها)، سه بوته از داخل لایسیمترها به‌صورت کف‌بر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس، به‌وسیله ترازوی دیجیتال عملکردهای مختلف اندازه‌گیری شد. بدین منظور، عملکرد زیست توده، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد بلال سبز، عملکرد بلال خشک، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک بر حسب کیلوگرم در هکتار مورد بررسی قرار گرفتند. پس از محاسبه عملکردهای مختلف محصول ذرت شیرین برای تیمارهای مختلف پژوهش و با توجه به مقدار تجمعی آب تحویلی هر تیمار، بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک محاسبه و بررسی شد. بدین‌جهت، از رابطه (۲) برای محاسبه بهره‌وری استفاده شد (Xie et al., 2020).

$$IWUE=\frac{Y}{TI} \qquad (۲)$$

IWUE، بهره‌وری (kg/m^3)، Y، عملکرد (kg) و TI، مقدار کل آبیاری (m^3) است.

نتایج و بحث

آب تحویلی و زه‌آب خروجی

مجموع آب تحویلی و خروجی از لایسیمترهای تحت تیمارهای مختلف آبیاری در جدول (۳) آمده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد، بیش‌ترین حجم آب آبیاری از زمان اعمال تیمار تا زمان برداشت محصول، مربوط به تیمار آبیاری SI به میزان ۳۶۷۸ متر مکعب در هکتار و کم‌ترین مقدار آب مصرفی نیز در تیمار PSSI با مقدار ۱۱۱۵ مترمکعب در هکتار بود. به‌عبارتی میزان آب تحویلی تیمار آبیاری سطحی متداول در منطقه، بیش از سه برابر تیمار آبیاری زیرسطحی مبتنی بر آبیاری دقیق می‌باشد که با نتایج

پژوهش‌های Liaghat et al. (2018) و Dukes و Scholberg (2005) مطابقت دارد. در تیمار PSSI به‌دلیل ناچیز بودن تبخیر سطحی و عدم وجود نفوذ عمقی، رطوبت به‌صورت یکنواخت در عمق مشخص در اختیار ریشه گیاه قرار می گیرد. بنابراین تلفات در این تیمار حداقل می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد، میزان آب تحویلی به تیمار TI نسبت به تیمار PTI ، ۲۵ درصد کم‌تر می‌باشد. این یافته نشان می‌دهد در صورت استفاده از سند ملی نیاز آبی گیاهان برای برآورد نیاز آبی ذرت در منطقه، گیاه با تنش آبی مواجه خواهد شد و احتمالا با کاهش عملکرد همراه خواهد بود. به نظر می رسد بروز تغییر اقلیم در سال‌های پس از تهیه این سند، باعث کم برآوردی میزان آب آبیاری شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده از زهکش‌های لایسیمترها نشان می‌دهد که تیمارهای PSSI، PTI و TI فاقد زه‌آب بوده‌اند و تمام مقدار آب تحویلی صرف تبخیر-تعرق و یا ذخیره در پروفیل خاک شده است. در حالی که هر یک از لایسیمترهای حاوی تیمار SI، از زمان اعمال تیمار تا زمان برداشت محصول، مجموعاً ۷۲ لیتر زه‌آب داشته است. به عبارت دیگر، در روش آبیاری سطحی که با مدیریت زارع منطقه همراه می‌باشد، مجموعا ۸۳۵ مترمکعب در هر هکتار زه‌آب از دسترس گیاه خارج می‌شود که معادل ۲۲ درصد مقدار آب آبیاری این تیمار محسوب می‌شود. هرچند تأمین آب مورد نیاز برای آب شویی با توجه به کیفیت آب و خاک از ضروریات آبیاری است و در نگاه اول عدم وجود زه‌آب در تیمارهای گفته شده به‌عنوان نقص مطرح خواهد بود ولی با توجه به مقادیر بارندگی نسبتاً بالا در پاییز و زمستان در منطقه، آب‌شویی به طور موثر انجام می‌گیرد و ضروری است تا از زهکش کنترل شده استفاده شود.

عملکرد محصول

به‌منظور ارزیابی شیوه‌های مختلف مدیریت آب آبیاری بر عملکرد ذرت، عملکردهای زیست توده، بیولوژیکی، بلال سبز، بلال خشک، علوفه تر و علوفه خشک مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آن‌ها در جداول (۴) و (۵) ارایه شد. بررسی نتایج به‌دست آمده از عملکرده زیست توده که شامل وزن تر کل بوته و بلال‌های آن می‌شود، نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارها به‌استثنای تیمارهای SI و TI در عملکرد زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. بیش‌ترین مقدار در عملکرد زیست توده در تیمار PSSI و کم‌ترین مقدار در تیمار TI حاصل شده است. این یافته نشان می‌دهد که عملکرد زیست توده گیاه ذرت تحت تأثیر زمان و مقدار آبیاری است و تنش آبی می‌تواند بر رشد، توسعه و فرآیندهای فیزیولوژیکی ذرت تأثیر بگذارد که این باعث کاهش عملکرد زیست توده می‌شود (Karasu et al., 2015). کمبود آب مانع به حداکثر رسیدن وزن زیستی گیاه می‌شود که این کاهش می‌تواند به‌دلیل اثر منفی تنش آبی بر فتوسنتز باشد (Fereidooni et al., 2016). با توجه به نتایج عملکرد زیست توده، مشاهده می‌شود تیمار PSSI نسبت به تیمارهای PTI ، SI و TI بترتیب ۱۷، ۵۶ و ۷۱ درصد افزایش داشته است.

عملکرد بیولوژیکی نیز شامل وزن خشک کل بوته و بلال‌های آن است. به‌طورکلی، بیش‌ترین مقدار در عملکرد بیولوژیکی به ترتیب در تیمارهای PSSI، PTI، SI و کم‌ترین مقدار آن در تیمار TI مشاهده شد و اختلاف در این عملکرد بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. این اختلاف مابین تیمار PSSI با تیمار PTI و تیمار SI با تیمار TI غیر معنی‌دار می‌باشد. تنش آبی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد. بنابراین، رشد و توسعه گیاه از نهال تا برداشت را متوقف می‌کند (Li et al., 2017). مطابق با نتایج Muhumed et al. (2014)، ماده خشک تولید شده در ذرت شیرین تحت تأثیر دور آبیاری قرار دارد و تنش آبی باعث کاهش عملکرد ماده خشک ذرت شیرین می‌شود (Moser et al., 2006).

از آنجا که محصول ذرت شیرین به‌صورت بلال تر (تازه) به فروش می‌رسد، عملکرد بلال سبز که همان بلال با غلاف (پوشش) می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اعمال روش و مدیریت‌های مختلف آبیاری، اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد بلال سبز دارد و اختلاف عملکرد بلال سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. مشابه با نتیجه Liaghat et al. (2018)، در تیمار آبیاری زیرسطحی ضمن کاهش در میزان آب مصرفی، عملکرد نیز افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار میانگین عملکرد بلال سبز مربوط به تیمار PSSI با مقدار ۵۳۳۶۳ کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف آن با تیمارهای SI و TI بسیار معنی‌دار است. همچنین، اختلاف در عملکرد بلال سبز بین تیمار PTI و دو تیمار SI و TI در سطح یک درصد معنی‌دار است و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به تیمار SI می باشد، هرچند این تیمار بیشترین مقدار آب را دریافت نموده است. در عملکرد بلال سبز، اختلاف تیمار PSSI با تیمار PTI از جنبه آماری غیر معنی‌دار بود که می‌تواند به‌دلیل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در این دو تیمار باشد و با نتایج پژوهش. Mohammadkhani et al (2020) مطابقت دارد. هرچند تیمار PSSI، مقدار ۳۸۳۰ کیلوگرم در هکتار (هشت درصد) بلال سبز بیشتر نسبت به تیمار PTI تولید شده است اما مقدار آب آبیاری در این تیمار حدود ۲۵ درصد کمتر نسبت به تیمار PTI می‌باشد.

بیش‌ترین مقدار در عملکرد بلال خشک (۱۵۱۴۰/۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار PSSI، بعد از آن در تیمار PTI، سپس در تیمار TI و کم‌ترین مقدار هم در تیمار SI مشاهده شد. اختلاف بین تیمارها در عملکرد بلال خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مشاهده می‌شود که اختلاف فقط بین تیمار PSSI با تیمارهای SI و TI بسیار معنی‌دار است. نتایج نشان می‌دهد هرچند تیمار SI حدود ۲۳۰ درصد بیشتر از تیمار PSSI آب دریافت نموده است ولی مقدار عملکرد بلال خشک در این تیمار

DOI: 10.22055/JISE.2023.42888.2054

حدود ۱۶ درصد کمتر می‌باشد. تحقیقات گذشته نشان‌دهنده آن است که تنش آب بیش‌ترین تأثیر در عملکرد ذرت در مراحل تولید مثل (تاسل‌دهی، ابریشم‌زنی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها) را دارد (Payero et al., 2008). بنابراین با توجه به ثابت بودن دور و مقدار آبیاری در تیمار SI علی‌رغم تحویل آب زیاد، گیاه دچار تنش شده است.

از آنجا که پس از برداشت بلال‌ها در ذرت شیرین، ساقه و برگ‌های گیاه هنوز سبز هستند، مقدار زیادی علوفه سبز در مزرعه وجود دارد که مناسب مصرف تازه برای دام‌ها می‌باشد (Didgah et al., 2012) و یا می‌توان از علوفه خشک آن برای تغذیه دام استفاده نمود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، از جنبه آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در عملکرد علوفه تر وجود نداشت ولی با توجه به مقدار میانگین عملکرد علوفه تر، تیمار PSSI سبب افزایش ۱۳۷۴۸ کیلوگرم در هکتار (۲۰ درصد) نسبت به تیمار PTI، ۲۱۴۶۶ کیلوگرم در هکتار (۳۶ درصد) نسبت به تیمار SI و مقدار ۲۴۵۴۸ کیلوگرم در هکتار (۴۳ درصد) نسبت به تیمار TI شده است. اختلاف در عملکرد علوفه خشک در بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. البته این اختلاف نیز بین تیمار PSSI با تیمار PTI و تیمار SI با تیمار TI غیر معنی‌دار می‌باشد.

به‌طورکلی می‌توان بیان داشت، در تیمارهای آبیاری دقیق (تیمارهای PSSI و PTI) به‌دلیل متغییر بودن دور و مقدار آبیاری در طول دوره رشد، مقدار رطوبت در منطقه توسعه ریشه همیشه در حد رطوبت سهل‌الوصول قرار دارد در حالی که برای تیمارهای TI و SI چنین شرایط فراهم نیست و گیاه در طول فصل رشد با تنش رطوبتی مواجه می‌شود و این شرایط می‌تواند تا حدود ۵۰ درصد عملکرد محصول را کاهش دهد (Li et al., 2017). علاوه بر این، عملکرد بلال در تیمار آبیاری دقیق زیرسطحی (PSSI) نسبت سایر تیمارها نیز بیش‌تر می‌باشد که این می‌تواند یکی از مزایای استفاده از روش آبیاری زیرسطحی باشد زیرا نحوه توزیع و محل گسیلنده آب در روش زیرسطحی مناسب‌تر بوده و جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه بهتر انجام می‌شود. همچنین، برخلاف آبیاری سطحی که شکل پیاز رطوبتی آن نیم‌دایره است، در آبیاری زیرسطحی به شکل کروی بوده که این باعث می‌شود گیاه ۳۰ تا ۴۰ درصد بیش‌تر به آب دسترسی داشته باشد. از طرفی، ضمن کاهش بیماری‌ها و علف‌های هرز، در توزیع مناسب-تر کود نیز مؤثر است (Isa khani, 2016). از سوی دیگر، در روش آبیاری سنتی، سطح خاک اشباع شده و موجب کاهش هوادهی در خاک می‌شود، تنش غرقابی باعث کاهش عملکرد، صدمه به اندام‌های رویشی و عدم کارکرد مناسب گیاه می‌شود (Kamali et al., 2015).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکردهای مختلف ذرت شیرین

Table 4- ANOVA for the effect of treatments on different yields of sweet corn

S.O.V	df	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
Treatment	3	888216245*	22714198*	675217284*	6513724899*	1078613992^{ns}	557347613*
Error	8	20800031	3178148	30499753	161218704	390029105	15824599
Total	11	3330249722	169843333	3001643951	24700173210	15716773331	2178430000

ns and **: non-significant and significant at $p\leq0.01$, respectively

جدول ٥- مقایسه میانگین عملکرد ذرت شیرین (کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 5- Comparison of average yields of sweet corn (kg/ha) in different irrigation treatments

Treatment	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Dry forage
PSSI	44807^{a}	15140.7^{a}	53363^{a}	139267^{a}	27000^{a}
PTI	39115^{a}	12985.2^{ab}	49533^{a}	119148^{b}	25319^{a}
SI	25393^{b}	11311.1^{b}	35489^{b}	89141^{c}	14081^{b}
TI	25074^{b}	12629.6^{b}	38133^{b}	81237^{c}	11356^{b}

In each column, different letters indicate a significant difference at the 1 percent probability level.

بهره‌وری آب آبیاری

اثر روش‌های مختلف مدیریت آب در کشت ذرت بر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک بررسی شد و نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین در جداول (۶) و (۷) ارائه شد. با توجه به نتایج، تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک اثر معنی‌دار دارد. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد در سطح احتمال یک درصد، بهره‌وری زیست‌توده، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری بلال سبز و بهره‌وری علوفه تر بین تمام تیمارهای مدیریت آبیاری، به‌جز بین تیمارهای PTI و TI، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. میزان آب تحویلی در دو روش اخیر اختلاف حدود ۳۰ درصد را دارد و این باعث شد تا بهره وری زیست توده در تیمار PTI نسبت به تیمار TI ۱۳ درصد افزایش یابد. همچنین مقدار بهره‌وری بلال سبز تیمار TI به میزان پنج درصد نسبت به تیمار PTI برتری دارد ولی عملکرد بلال سبز در تیمار PTI به مقدار ۱۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار TI بیش‌تر است. همچنین میانگین بهره‌وری علوفه تر تیمار TI نسبت به تیمار PTI برتری حدود ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد. این در حالی است که میزان عملکرد علوفه تر در تیمار PTI نسبت به تیمار TI افزایش ۱۹ درصد دارد. به‌طورکلی می‌توان گفت اختلاف عملکرد این دو تیمار بیشتر ناشی از میزان آب تحویلی کم در تیمار TI می‌باشد. البته نمی‌توان به نقش آبیاری دقیق در تیمار PTI بی تفاوتی نشان داد. همچنین مقادیر بهره‌وری بیولوژیکی و علوفه خشک در تمامی تیمارهای مدیریت آبیاری با هم اختلاف بسیار معنی‌دار دارد. بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک در تیمار PSSI به‌ترتیب با مقادیر ۱۲۴/۹، ۴۰/۱، ۴۷/۸، ۱۳/۶، ۷۳/۲ و ۲۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد در حالی‌که کمترین مقدار بهره‌وری در تیمار SI بدست آمد. شاخص بهره‌وری، تاثیر آبیاری دقیق در ارزش گذاری واقعی آب مصرفی به‌عنوان یک کالای نایاب با ارزش در شرایط کنونی را نشان می‌دهد. به‌عبارتی تیمار آبیاری دقیق زیرسطحی ضمن کاهش در مصرف آب، در تمامی شاخص‌های بهره‌وری بالاترین عملکرد را به همراه دارد و از نظر درآمد نیز برای کشاورز دارای جذابیت می‌باشد.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری‌های مصرف آب ذرت شیرین

Table 6- ANOVA for the effect of different irrigation treatments on water productivity of sweet corn

S.O.V	df	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
Treatment	3	4955**	565**	6865**	46092**	15579**	1975**
Error	8	18	4	38	169	586	15
Total	11	15452	1817	21820	143672	65485	6390

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and **: non-significant and significant at $p\leq 0.01$, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 7- Comparison of irrigation water productivity (kg/m^3) in different irrigation treatments

Treatment	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
PSSI	40.1^a	13.6^a	47.8^a	124.9^a	73.2^a	24.2^a
PTI	24.9^b	8.2^b	31.5^b	75.8^b	43.4^b	16.1^b
SI	6.9^d	3.1^c	9.7^c	24.2^c	15.3^c	3.8^d
TI	21.8^c	10.9^b	33.1^b	70.5^b	50.1^b	9.4^c

در هر ستون، حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 1 percent probability level.

 DOI: 10.22055/JISE.2023.42888.2054

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی تأثیر مدیریت‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی ذرت شیرین، چهار روش آبیاری مشتمل بر مدیریت آبیاری زارع منطقه با روش آبیاری سطحی، مدیریت آبیاری براساس سند ملی نیاز آبی گیاهان با روش آبیاری تیپ (قطره‌ای–نواری)، مدیریت آبیاری دقیق با روش‌های آبیاری زیرسطحی و تیپ بررسی و ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد، به‌طورکلی استفاده از مدیریت آبیاری دقیق بر اساس رطوبت خاک باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در کشت ذرت شیرین خواهد شد. در این بین آبیاری دقیق به شیوه زیرسطحی نسبت به آبیاری دقیق موضعی تیپ، در تمامی شاخص‌ها برتر می‌باشد. تیمارهای آبیاری براساس مدیریت زارع و سند ملی آبیاری، گیاه ذرت را با تنش آبی مواجه نموده است و نهایتاً باعث کاهش شاخص‌های ارزیابی شدند. این مهم در مورد سند ملی نیاز آبی در منطقه حادتر می‌باشد و نیازمند بازنگری در محاسبه نیاز آبی گیاه ذرت شیرین در منطقه است. یافته‌های این پژوهش، تأکید در به‌کارگیری و استفاده از سیستم‌های نوین و هوشمند آبیاری دقیق دارد زیرا، با تحویل و توزیع مناسب‌تر آب و مواد مغذی، باعث افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب خواهد شد. بدیهی است اجرای چنین سامانه در مزارع، نیازمند توجه ویژه مادی و ترویجی توسط متولیان بخش آب می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب پایان نامه دانشجویی انجام گرفته است. بدین وسیله لازم است از این موسسه و تمامی کسانی که ما را در این مسیر همراهی نموده‌اند، قدردانی به عمل آورد.

Reference

1- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S. and Norton, T., 2017. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9(3), p.353 . DOI: 10.3390/su9030353.

2- Ahmadaali, J. and Khalili, M., 2009. Study on yield and water use efficiency of drip tape and furrow irrigation systems in single and two-row planting systems of grain corn. *Iranian journal of Irrigation and Drainage*, 3(2), pp.71-78. (in Persian)

3- Al-Karadsheh, E., Sourell, H. and Krause, R., 2002. Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. *Paper presented at the Proceedingd of the Conference on International Agricultural Research for Development, Deutscher Tropentag, Wiltzenhausen, Germany*.

4- Ayars, J., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California—Here to stay? *Agricultural water management*, 157, pp.39-47. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.01.001.

5- Barbosa, A. A., Matsura, E. E., dos Santos, L. N. S., Gonçalves, I. Z., Nazário, A. A. and Feitosa, D. R. C. 2017. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 153, pp.448-456 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.167.

6- Barkunan, S., Bhanumathi, V. and Sethuram, J. 2019. Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. *Computers and Electrical Engineering*, 73, pp.180-193 . DOI: 10.1016/j.compeleceng.2018.11.013.

7- Besharat, S., Barão, L., and Cruz, C. 2020. New strategies to overcome water limitation in cultivated maize: results from sub-surface irrigation and silicon fertilization. *Journal of Environmental Management*, 263, p.110398 . DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110398.

8- Brar, A.S., Kaur, K., Sindhu, V. K., Tsolakis, N., and Srai, J.S. 2022. Sustainable water use through multiple cropping systems and precision irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 333, p.130117 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130117.

9- Chami, D., Knox, J.W., Daccache, A. and Weatherhead, E.K. 2019. Assessing the financial and environmental impacts of precision irrigation in a humid climate. *Horticultural Science*, 46(1), pp.43-52 .

10- Chen, X., Thorp, K.R., van Oel, P.R., Xu, Z., Zhou, B. and Li, Y. 2020. Environmental impact assessment of water-saving irrigation systems across 60 irrigation construction projects in northern China. *Journal of Cleaner Production*, 245, p.118883. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118883.

11- Didgah, S. K., Faraji, H. and Yadavi, A.R. 2012. Effect of Plant Density on Ear Yield and Forage Protein of Four Sweet Corn Hybrids in Yasouj. *Plant Productions*, 35(2), pp.77-84. (in Persian).

12- Döll, P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic change*, 54(3), pp.269-293.

13- Dukes, M. and Scholberg, J. 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(1), pp.89-101. DOI: doi: 10.13031/2013.17916) @2005.

14- Fan, J., Zhang, F., Wu, L., Yan, S. and Xiang, Y. 2016. Field evaluatio`n of fertigation uniformity in drip irrigation system with pressure differential tank. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(12), pp.96-101 .

15- Fazel, F., gheysari, M., Mohamadian, M. and Etemadi, N. 2017. Effect of Maximum Allowable Depletion on Irrigation Use and Plant Parameters of Grass under Subsurface Drip Irrigation Management. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp.155-165. (In Persian)

16- Fereidooni, M.J., Faraji, H. and Sedghi, M. 2016. Evaluating yield and morphological characteristics of sweet corn with using different irrigation levels and cultivation techniques. *Journal of Crop Production*, 9(2), 127-150. DOI: 10.22069/ejcp.2016.3120. (in Persian).

17- Gil, M., Rodríguez-Sinobas, L., Juana, L., Sanchez, R. and Losada, A. 2008. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. *Irrigation Science*, 26(6), pp.451-458.

18- Isa khani, M. 2016. The necessity of jihad movement and national determination to save the country from drought. *Monthly Journal of New irrigation methods*, 10(1), pp.1-76. DOI: 10.30699/PJAS.6.19.157.(in Persian)

19- Jackson, T.M., Khan, S. and Hafeez, M. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural water management*, 97(10), pp.1477-1485. DOI: doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.013.

20- Kamali, S.H., Gholami Sefidkohi, M.A., Ziatabar Ahmadi, M. and Darzi-Naftchali, A. 2015. The effect of waterlogging stress on the traits of sunflower plant aerial parts. *Paper presented at the National Conference on Sustainable Agriculture, Environment and Rural Development* . (In Persian).

21- Karasu, A., Kuşcu, H., Mehmet, Ö. and Bayram, G. 2015. The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage Maize (Zea mays indentata Sturt.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1), 138-145 .

22- Li, J., Xu, X., Lin, G., Wang, Y., Liu, Y., Zhang, M., Zhang, Y. 2018. Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain. *Science of the total environment*, 643, pp.367-377 . DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.157.

23- Li, W., Zhang, X., Ashraf, U., Mo, Z., Suo, H. and Li, G. 2017. Dynamics of seed germination, seedling growth and physiological responses of sweet corn under peg-induced water stress. *Pakstan Journal of Botanical*, 49(2), pp.639-646 .

24- Liaghat, A., Pourgholam Amiji, M. and Mashhouri Nejad, P. 2018. The Effect of Surface and Subsurface Irrigation with Saline Water and Mulch on Corn Yield, Water Productivity and Solute Distribution in the Soil. *Water and Soil*, 32(4), pp.661-674. DOR: 20.1001.1.20084757.1397.32.4.2.2. (in Persian).

25- Liang, Z., Liu, X., Xiong, J. and Xiao, J. 2020 .Water allocation and integrative management of precision irrigation: A systematic review. *Water*, 12(11), p.3135 . DOI: 10.3390/w12113135.

26- Mohammadkhani, A., Pourgholam-Amiji, M., Sohrabi, T. and Liaghat, A. 2020. The Effect of Different Levels of Water Stress in Two Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield and Water Productivity of Maize. Water and Irrigation Management, 10(2), pp.247-264. DOI: 10.22059/jwim.2020.298096.767. (in Persian)

27- Moser, S.B., Feil, B., Jampatong, S. and Stamp, P. 2006. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural water management*, 81(1-2), pp.41-58. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.04.005.

28- Muhumed, M.A., Jusop, S., Sung, C.T.B., Wahab, E.M. and Panhwar, Q. A. 2014. Effects of drip irrigation frequency, fertilizer sources and their interaction on the dry matter and yield components of sweet corn. *Australian Journal of Crop Science*, 8(2), pp.223-231 .

29- Neupane, J. and Guo, W. 2019. Agronomic basis and strategies for precision water management: a review. *Agronomy*, 9(2), p.87. DOI: 10.3390/agronomy9020087.

30- Nodehi, D.A., 2015. Effect of furrow irrigation methods and deficit irrigation on yield and water use efficiency of maize in Mazandaran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *18*(70), pp.245-255. DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.22.1. (In Persian)

31- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. and Hoekstra, A.Y. 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the total environment*, 653, pp.241-252. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.311.

32- Payero, J.O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J. L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency ,and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management*, 95(8), pp.895-908. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.02.015.

33- Pierce, F., 2010. *Precision irrigation*. Landbauforsch SH, 340, pp.45-56 .

34- Shahrokhnia, M. 2013. Influence of irrigation scheduling tools on water use and yield of corn under different soil texture conditions. *journal of Irrigation and Drainage*, 6(4), pp.331-341. (in Persian)

35- Sidhu, H., Jat, M., Singh, Y., Sidhu, R.K., Gupta, N., Singh, P., Gerard, B. 2019. Sub-surface drip fertigation with conservation agriculture in a rice-wheat system: A breakthrough for addressing water and nitrogen use efficiency. *Agricultural water management*, 216, pp.273-283. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.02.019.

36- Singh Dhillon, M., Kaur, S., Sood, A. and Aggarwal, R. 2018. Estimation of carbon emissions from groundwater pumping in central Punjab. *Carbon Management*, 9(4), pp.425-435. DOI: 10.1080/17583004.2018.1518107.

37- Smith, R. 2011. Review of precision irrigation technologies and their applications. *University of Southern Queensland*.

38- Turral, H., Svendsen, M. and Faures, J.M. 2010. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. *Agricultural water management*, 97(4), pp.551-560. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.07.012.

39- Vera, J., Conejero, W., Mira-García, A.B., Conesa, M.R., and Ruiz-Sánchez, M.C. 2021. Towards irrigation automation based on dielectric soil sensors. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(6), pp.696-707. DOI: 10.1080/14620316.2021.1906761.

40- Xie, Y., Wang, S., Luo, C., Sun, M., Wang, Y., Yang, J. and Wang, Q. 2020. Using plastic mulching improves greenhouse-grown Pakchoi (Brassica rapa subsp. chinensis) growth and water use efficiency under irrigation scheduling based on soil water content. *Agronomy*, 10(9), p.1257. DOI: 10.3390/agronomy10091257.

41- Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Zheng, J., Qiang, S., Wu, L. 2020. A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *Journal of Cleaner Production*, 262, p.121279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121279.