



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Investigating the durability and efficiency of the subsurface drip irrigation system in sugarcane fields in southern Ahvaz

Ali Sheini-Dashtegol^{1*}, Elham Zanganh-Yusefabadi¹, Majid Hamoodi¹, Shaban Zarei¹

(Received: 10 June. 2026 ; Accepted: 8 August. 2026)

How to cite this article:

Sheini-Dashtegol A, Zanganh-Yusefabadi E, Hamoodi M, zarei SH. Investigating the durability and efficiency of the subsurface drip irrigation system in sugarcane fields in southern Ahvaz. Journal of Sugar Beet. 2026; (41)2. 305-318. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2026.373141.1412.

Extended Abstract

Introduction

Since sugarcane has a high-water requirement and is sensitive to waterlogging caused by rising water tables. Therefore, its irrigation requires a properly designed and implemented irrigation and drainage network. Achieving optimal irrigation and drainage conditions is often constrained by limitations in the design and implementation of the system, as well as by the availability and performance of equipment and materials. Consequently, selecting appropriate irrigation methods for sugarcane production is essential for optimizing water and energy use. Given the characteristics of subsurface drip irrigation, this method has the potential to be successful when appropriate conditions are provided, including proper hydraulic design of the irrigation network, adequate filtration of the irrigation water, and correct installation and implementation of the system. Therefore, this study was conducted to investigate dripper clogging, as well as durability and efficiency of a subsurface drip irrigation system, over a five-year period in sugarcane fields in southern Ahvaz.

Materials and Methods

In this study, changes in dripper clogging and sugarcane productivity over different cropping years were investigated in a drip irrigation system at the research station of Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute. The treatments included: (1) subsurface drip irrigation with a dripline installation depth of 20 cm, a dripper spacing of 50 cm, and a discharge rate of 2.4 l.h⁻¹; (2) subsurface drip irrigation with a dripline installation depth of 20 cm, a dripper

spacing of 60 cm, and a discharge rate of 3.6 l.h⁻¹; (3) surface drip irrigation with a dripper spacing of 60 cm and a discharge rate of 3.6 l.h⁻¹; and (4) furrow irrigation as the control treatment. The drip irrigation laterals were installed before planting. Following planting, the first irrigation was performed using the subsurface drip irrigation system, and this irrigation method was continued throughout the growing season. At the end of each cropping season, four 10-meter-long sampling sections were selected from each treatment and manually harvested. Quantitative and qualitative characteristics were then measured to determine sugarcane and sugar yields (t. ha⁻¹). Considering the total volume of water applied during the sugarcane growing period, including irrigation and rainfall, water productivity was calculated as the ratio of yield to the total volume of water consumed.

Results and discussion

The results showed that irrigation water productivity decreased almost linearly over the five-year study period. The highest water productivity was recorded for subsurface drip irrigation with a dripper discharge rate of 2.4 l. ha⁻¹ and a dripper spacing of 50 cm spacing in the first year (6.6 kg. m⁻³). The lowest water productivity was observed under surface drip irrigation with a discharge rate of 3.6 l. ha⁻¹ and a dripper spacing of 60 cm in the fifth year, averaging approximately 1 kg. m⁻³. The results also showed that dripper clogging increased from 8.1% in the first cropping season to 31.3% in the fifth cropping season, while the distribution uniformity of the system decreased from 90% to 45%. The main cause of dripper clogging appeared to be physical clogging by very fine particles of clay, silt, and organic matter that passed through the filtration system. Acid washing and chlorination generally have limited

1. Khuzestan Sugarcane and By-products Development Research and Training Institute, Ahvaz, Iran

* Corresponding author: sheinidasht1971@gmail.com



effectiveness against this type of clogging. These particles accumulated in the narrow flow passages of the drippers, reducing their discharge and consequently decreasing uniformity of water distribution. Considering the quality of the irrigation water, the results suggest that the main problem was associated with inadequate filtration performance and insufficient control of physical clogging.

Conclusion and recommendations

The five-year average results showed that, compared with conventional irrigation, the subsurface drip irrigation system reduced water consumption by approximately 40% while increasing average yield by more than 25%. Consequently, water productivity increased by more than 50% for both sugarcane and sugar production. However, despite periodic acid washing and chlorination, dripper clogging increased to 31% and system distribution uniformity decreased to 45% over the five-year operating period. This deterioration was mainly attributed to the poor quality of the irrigation water and the reduced efficiency of the filtration system. The predominant type of dripper clogging was physical clogging caused by very fine particles of clay, silt, and organic matter passing through the filters and accumulating in the narrow flow passages of the drippers. Acid washing and chlorination generally had limited effectiveness in removing this type of clogging. Therefore, despite the advantages of subsurface drip irrigation in reducing water consumption and increasing yield and water

productivity, the high level of dripper clogging and the substantial decline in system uniformity, together with the high initial and maintenance costs of the system, indicate that the system did not achieve the expected level of durability and operational efficiency under the conditions of this study.

Keywords: Clogging of dripper, Sugarcane yield, Water Productivity

References

- Biabi H, Mehdizadeh SA, Salmi, MS. Design and implementation of a smart system for water management of liliun flower using image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019; 160, 131-143. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.019>
- Li Z, Mo Y, Gao H, Gong S, Zhang Y, Li G, Wu F. The hydraulic performance and clogging characteristics of a subsurface drip irrigation system operating for five years in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2025; 307, 109217. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109217>
- Sheini-Dashtgol A, Kermannezhad J, Ghanbari-Adivi E, Hamoodi M. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Evaluating moisture distribution and salinity dynamics in sugarcane subsurface drip irrigation, *Water Conservation Science and Engineering*. 2022; 7: 227-245. **DOI:** <https://doi.org/10.1007/s41101-022-00139-y>

بررسی کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اراضی نیشکر جنوب اهواز

علی شینی دشتگل^{۱*}، الهام زنگنه یوسف‌آبادی^۲، مجید حمودی^۲، شعبان زارعی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۲۰ لغایت تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۱۷

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2026.373141.1412

ع. شینی دشتگل^۱، زنگنه یوسف‌آبادی، م. حمودی، ش. زارعی، ۱۴۰۵. بررسی کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اراضی نیشکر جنوب اهواز. چغندرند ۴۱(۲): ۳۰۵-۳۱۸

چکیده

این پژوهش، با هدف بررسی کارایی و دوام سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تغییرات گرفتگی قطره‌چکان‌ها و تغییرات بهره‌وری گیاه نیشکر در سال‌های مختلف در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در ایستگاه تحقیقات مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، در پنج سال زراعی و از ۹۸-۱۳۹۷ لغایت ۲۰۱۱-۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای این پژوهش شامل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متر فواصل قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر و دبی قطره‌چکان ۲/۴ لیتر در ساعت)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متر، فواصل قطره‌چکان‌ها ۶۰ سانتی‌متر و دبی قطره‌چکان ۳/۶ لیتر در ساعت)، آبیاری قطره‌ای سطحی (فواصل قطره‌چکان‌ها ۶۰ سانتی‌متر و دبی قطره‌چکان‌ها ۳/۶ لیتر در ساعت) و تیمار آبیاری جویچه‌ای انتهاپیسته (شاهد) بودند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری تقریباً به‌صورت خطی کاهش یافته است که در یک دوره پنج ساله، بیشترین آن، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دبی ۲/۴ لیتر در ساعت و فاصله ۵۰ سانتی-متری قطره‌چکان‌ها و در بازروی اول معادل ۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن، در آبیاری قطره‌ای سطحی با دبی خروجی قطره‌چکان‌ها ۳/۶ لیتر در ساعت و فاصله ۶۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، در سال پنجم (بازروی چهارم) و معادل یک کیلوگرم بر مترمکعب اتفاق افتاده است. نتایج همچنین نشان داد که گرفتگی قطره‌چکان‌ها و راندمان یکنواختی پخش سامانه به‌ترتیب از ۸/۱ و ۹۰ درصد در پایان فصل زراعی اول بهره‌برداری، به ۳۱/۳ و ۴۵ درصد در پایان فصل پنجم بهره‌برداری تغییر یافته‌اند. عمده‌ترین دلیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها، از گرفتگی فیزیکی ناشی از ذرات بسیار ریز رس، سیلت یا مواد آلی است که از فیلترها عبور می‌کنند و این ذرات در مسیرهای باریک قطره‌چکان‌ها تجمع یافته و در نتیجه با توجه به کیفیت آب آبیاری، به‌نظر می‌رسد که اشکال اصلی در فیلتراسیون بوده که پاسخگوی مهار و کنترل ذرات معلق فیزیکی نبوده است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، عملکرد نیشکر، گرفتگی قطره‌چکان.

^۱. استادیار مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران.

*- نویسنده مسئول: sheinidasht1971@gmail.com

^۲. محقق مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران.

مقدمه

تولید نیشکر (*Saccharum officinarum*)، علاوه بر تولید شکر، به‌عنوان یک کالای اساسی در اقتصاد کشور، دارای کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی، دارویی و شیمیایی است و تولید فرآورده‌های جانبی مانند خوراک دام، خمیر مایه و الکل، چوب و کاغذ، نشان از اهمیت این گیاه و صنایع وابسته به آن دارد. نیشکر در طول دوره‌ی رشد خود، به آب فراوان احتیاج دارد و نسبت به کم‌آبی حساس و در عین حال به غرقاب شدن دراز مدت ریشه سازگاری ندارد و در شرایطی که سطح آب زیرزمینی بالا بیاید و منطقه توسعه ریشه را در بر بگیرد، به‌علت خفگی تدریجی ریشه، افت محصول رخ خواهد داد (Sheini *et al.* 2009). از آنجایی که نیاز آبی نیشکر بالا بوده و به شرایط ماندابی طولانی‌مدت ناشی از بالا آمدن سطح ایستابی نیز حساس است، آبیاری آن نیازمند وجود یک شبکه آبیاری و زهکشی مناسب و دقیق از نظر طراحی و اجراست و رسیدن به چنین شرایطی همواره تحت تأثیر محدودیت‌های انسانی (در بخش طراحی و اجرا) و لوازم و تجهیزات است، لذا انتخاب روش‌های مناسب آبیاری نیشکر جهت مصرف بهینه آب و انرژی، حائز اهمیت است (Abbasi and Sheini 2017).

Dashtegol (2017) به‌طور کلی، مهم‌ترین ویژگی هر قطره‌چکان، رابطه بین تغییرات دبی و فشار در آن است. برتری قطره‌چکان‌های تنظیم‌شونده‌ی فشار به قطره‌چکان‌های غیرتنظیم‌شونده فشار، این است که هنگامی که فشار قطره‌چکان به فشار مؤثر برسد، تنظیم فشار اتفاق می‌افتد و مقدار دبی برای تمام فشارهای بالاتر تا حد دبی در فشار مؤثر باقی می‌ماند (Bush *et al.* 2016). در قطره‌چکان‌های مورد مطالعه، فشار مؤثر ۰/۵ بار است که فشارهای بالاتر از آن تا پنج بار نباید تأثیری روی روند تغییرات دبی داشته باشند. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، یکی از اثر بخش‌ترین سامانه‌های آبیاری موجود برای آبیاری نیشکر می‌باشد (Barbosa *et al.* 2017). در سال‌های اخیر، استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در دنیا برای درختان دائمی افزایش یافته و به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای مقابله با کمبود آب در اراضی فاریاب در مناطق خشک جهان پیشنهاد شده است

(Consoli *et al.* 2014). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌عنوان یک تکنولوژی آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب در سراسر جهان شناخته شده است و به‌صورت گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این روش آبیاری، در آزمایش‌های کوتاه‌مدت نه تنها می‌تواند عملکرد و کیفیت محصول را بهبود بخشد، بلکه بهره‌وری آب و کود را نیز افزایش می‌دهد (Wang *et al.* 2021). شینی‌دشتگل و همکاران (Sheini dashtegol *et al.* 2022)، پژوهشی کوتاه‌مدت (یک فصل زراعی کشت)، در اراضی نیشکر جنوب اهواز روی توزیع رطوبت و دینامیک شوری در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، انجام دادند. نتایج نشان داد که شوری خاک در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر افزایش و در اعماق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر کاهش یافت و با توجه به گسترش توزیع رطوبت و شوری در خاک، بهترین عمق نصب لوله آبرسانی و فاصله قطره‌چکان‌ها به‌ترتیب ۲۰ و ۵۰ سانتی‌متر تعیین شد.

شینی‌دشتگل و همکاران (Sheini dashtegol *et al.* 2019)، اثر اعماق کارگذاری ۱۵، ۲۰ و ۳۰ و فواصل ۵۰، ۶۰ و ۷۵ سانتی-متری قطره‌چکان‌ها، بر بهره‌وری آب و عملکرد نیشکر کشت جدید (پلنت)، را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی شاخص بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی، نشان داد که بیشترین عملکردهای کمی در فاصله ۵۰ و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و بیشترین عملکردهای کیفی در فواصل ۶۰ و ۵۰ و عمق کارگذاری ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها مشاهده شد. در فاصله ۶۰ سانتی‌متری و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، بیشترین بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی به‌دست آمد.

لی و همکاران (Li *et al.* 2025)، در پژوهشی عملکرد هیدرولیکی و وضعیت گرفتگی یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را پس از پنج سال بهره‌برداری در دشت شمال چین بررسی کردند و هدف اصلی، ارزیابی میزان کاهش دبی قطره‌چکان‌ها، یکنواختی توزیع آب و شناسایی عوامل ایجاد گرفتگی بود. نتایج نشان داد که پس از پنج سال بهره‌برداری، اگرچه بخشی از قطره‌چکان‌ها دچار کاهش دبی شدند، اما سامانه

سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی گیاه نیشکر انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مصرف آب کمتر و عملکرد محصول بالاتری (۱۱۳ تن در هکتار) را ثبت کرد و به‌عنوان سیستم برتر نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی انتخاب شد.

با توجه به ویژگی‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، پیش‌بینی می‌شود که این روش بتواند با اعمال برخی شرایط از جمله طراحی خوب شبکه از نظر هیدرولیکی، فیلتراسیون با کیفیت آب و اجرای مناسب شبکه موفق عمل نماید. لذا این پژوهش به منظور بررسی گرفتگی قطره‌چکان‌ها و دوام و کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک دوره پنج‌ساله در اراضی نیشکر جنوب اهواز انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سطح حدود نیم هکتار، در مزرعه W3-5 ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات نیشکر واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب اهواز با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۷/۶ متر، مورد بررسی قرار گرفت. میانگین پنج‌ساله زراعی ویژگی‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱)، و میانگین برخی ویژگی‌های شیمیایی آب رودخانه کارون، در جدول (۲)، آمده است.

همچنان از نظر عملکرد آبیاری قابل قبول بود. بررسی قطره‌چکان‌های باز شده نشان داد که گرفتگی عمدتاً در مسیر جریان داخلی قطره‌چکان رخ داده و از تجمع رسوبات تشکیل شده است. برخلاف انتظار، نفوذ ریشه عامل اصلی گرفتگی نبود. همچنین نوع مدیریت کوددهی، به‌ویژه مصرف کودهای نیتروژنی، بر میزان تشکیل رسوبات و شدت گرفتگی اثر معنی‌داری داشت. پژوهش‌گران نتیجه گرفتند که مدیریت مناسب کیفیت آب، کودآبیاری و برنامه‌های نگهداری سامانه برای کاهش گرفتگی و افزایش عمر سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ضروری است.

از جدی‌ترین راه‌کارهای پیشنهادی در مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری در بخش پرمصرف کشاورزی، تغییر روش‌های آبیاری سنتی و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری است (Marzi et al. 2019; Molavi et al. 2016). لذا با توجه به شرایط تلفات بیشتر آب و کم‌بودن راندمان در اکثر سامانه‌های آبیاری سطحی (سنتی)، سامانه‌های آبیاری موضعی به‌خصوص آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با داشتن مزایایی که دارد، می‌تواند راه‌حل مناسبی جهت جایگزینی باشد و برای بسیاری از گیاهان زراعی به کار گرفته شود (Bazrafshan et al. 2019; Biabi et al. 2019). ثیاگاراچان و مانیکاندان (Thiyagarajan and Manikandan 2020)، پژوهشی با هدف ارزیابی توسعه برنامه آبیاری و کودآبیاری بهینه تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

جدول ۱ میانگین پارامترهای هواشناسی در ماه‌های مختلف در طول دوره آزمایش (مهر ماه ۱۳۹۷ تا شهریورماه ۱۴۰۲)

Table 1 Mean meteorological parameters in different months during the study period (October 2018- September 2023)

ماه Month	حداکثر رطوبت Maximum humidity (%)	حداقل رطوبت Minimum humidity (%)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	حداقل دما Minimum temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)
مهر (Oct)	73.5	23.4	38.6	18.8	2.1
آبان (Nov)	85.9	41.1	29.3	14	37.8
آذر (Des)	91.7	57.6	22.8	10.5	61.7
دی (Jan)	93.6	56.9	18.5	6	37.7
بهمن (Feb)	83.6	43.6	20.4	6.5	19.6
اسفند (Mar)	82.5	33.2	25.1	10.5	16.1
فروردین (Apr)	71.3	24.1	30.6	15.1	12.8
اردیبهشت (May)	62.9	19.8	37.2	20.2	1.5
خرداد (Jun)	47.9	14.3	43.8	24	0
تیر (Jul)	54.6	18.1	45.3	25.9	0
مرداد (Aug)	64.0	23.8	45	26.4	0
شهریور (Sep)	71.3	22.9	43.2	23.6	0

آزمایش با تیمارهای با شرایط زیر انجام شد:

- ۱- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (با عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متر، دبی ۲/۴ لیتر بر ساعت و فاصله ۵۰ سانتی‌متر ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{50}$)).
- ۲- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (با عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متر، دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت و فاصله ۶۰ سانتی‌متر ($Q_{3.6}, D_{20}, L_{60}$)).
- ۳- تیمار سوم، آبیاری قطره‌ای سطحی (دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت و فاصله ۶۰ سانتی‌متر ($Q_{3.6}, D_0, L_{60}$)).
- ۴- تیمار چهارم، آبیاری جویچه‌ای انتهایی به‌عنوان آبیاری مرسوم (شاهد).

نیشکر، مهرماه سال ۱۳۹۷ کشت شد و در دوره داشت پنج‌ساله (پلنت و بازرویی اول تا چهارم)، حجم آب آبیاری در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکسان بوده و با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. حجم آب آبیاری در تیمار شاهد به روش حجمی و استفاده از فلوم WSC در هر دور آبیاری اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، آبیاری با آب رودخانه کارون انجام شد. ویژگی‌های آب آبیاری در جدول (۲)، نشان داده شده است.

جدول ۲ میانگین پنج ساله برخی ویژگی‌های شیمیایی آب رودخانه کارون

Table 2 Five-year mean values of selected chemical characteristics of Karun River water

ماه (Month)	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مجموع مواد محلول	نسبت جذب سدیم	سدیم	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	کربنات	بیکربنات	کلراید	سولفات
	Acidity (pH)	Electrical conductivity (EC)	Total dissolved solids (TDS)	Sodium adsorption ratio (SAR)	Sodium (Na)	Potassium (K)	Magnesium (Mg)	Calcium (Ca)	Carbonate (CO ₃ ²⁻)	Bicarbonate (HCO ₃ ²⁻)	Chloride (Cl ⁻)	Sulfate (SO ₄ ²⁻)
	-	(dS. m ⁻¹)	(mg. l ⁻¹)	-	(mg. l ⁻¹)							
مهر (Oct)	7.89	3.14	2052	8.11	474	3.5	81	155	0.00	238	707	378.4
آبان (Nov)	7.8	3.1	2031	5.9	357	4.6	84	169	0.0	2293	633	415.2
آذر (Des)	7.8	2.7	1690	5.4	298	4.6	70	146	0.0	207	624	268.0
دی (Jan)	7.8	2.5	1598	5.2	291	4.6	76	146	0.0	217	514	364.0
بهمن (Feb)	8.0	2.6	1688	5.0	331	3.6	78	168	0.0	197	579	335.2
اسفند (Mar)	8.1	2.2	1306	4.9	282	3.3	72	125	0.0	215	456	229.8
فروردین (Apr)	7.9	2.1	1233	4.8	279	3.3	63	131	0.0	197	465	247.4
اردیبهشت (May)	8.1	2.4	1546	5.3	313	3.5	80	125	0.0	191	501	211.9
خرداد (Jun)	7.9	2.0	1084	4.3	246	4.6	62	126	0.0	200	419	178.6
تیر (Jul)	8.0	2.1	1338	4.9	281	3.8	55	130	0.0	193	454	121.7
مرداد (Aug)	7.8	2.4	1556	5.6	334	4.3	71	140	0.0	187	529	226.6
شهریور (Sep)	7.9	2.5	1748	6.4	351	3.5	66	127	0.0	195	577	297.4

محلول خاک شامل کلسیم، منیزیم و سدیم اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد و بافت خاک نیز به روش هیدرومتری تعیین گردید (جدول ۴).

قبل از کشت، ویژگی‌های شیمیایی خاک، در پنج نقطه از مزرعه تعیین شد (جدول ۳). به این منظور، از عمق‌های ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک انجام و مقادیر EC_e و pH خاک اندازه‌گیری گردید. همچنین غلظت یون‌های کاتیون

جدول ۳ برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 3 Selected chemical properties of the soil in the studied field

عمق خاک Soil depth (cm)	pH	شوری عصاره اشباع Electrical conductivity of the saturated soil extract (EC _e) dS m ⁻¹	کلسیم محلول Soluble calcium (Ca ²⁺) (meq. l ⁻¹)	منیزیم محلول Soluble magnesium (Mg ²⁺) (meq. l ⁻¹)	سدیم محلول Soluble sodium (Na ⁺) (meq. l ⁻¹)	پتاسیم محلول Soluble potassium (K ⁺) (meq. l ⁻¹)
0-30	7.4	4.8	20	13.8	52	0.18
30-60	7.5	4.2	18.5	12	36.8	0.17

جدول ۴ برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 4 Selected physical properties of the soil in the studied field

عمق خاک	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	رطوبت ظرفیت زراعی	رطوبت نقطه پژمردگی دائم
Soil depth(cm)	Soil texture	Bulk density (g.cm ⁻³)	Field Capacity (%)	Permanent Wilting Point (%)
0-30	Silty clay loam سیلتی کلی لوم	1.5	22	11.5

جهت جلوگیری از گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها، به صورت دوره‌ای هر سه ماه یک بار، اسیدشویی با اسیدسولفوریک ۹۶ درصد تجاری، انجام شد. به این ترتیب که به استخر ذخیره آب طی چند مرحله اسید اضافه شد و تا زمانی که اسیدیته به حدود سه رسید این کار ادامه یافت. ابتدا از خط لوله اصلی آبرسان مزرعه آبیاری انجام شد و سپس با استفاده از استخر ذخیره آب، آبیاری با آب با اسیدیته حدود سه انجام گرفت و به مدت دو ساعت سیستم غیرفعال گردید. در ادامه شستشوی سامانه و در نهایت ادامه آبیاری انجام شد. به صورت مشابه، جهت جلوگیری از گرفتگی بیولوژیکی در فیلترهای شنی در دوره‌های مختلف، هر سه ماه یک بار کلرزی از منبع هیپوکلریت کلسیم، انجام شد. جهت کنترل و کاهش گرفتگی‌های فیزیکی، به صورت ماهیانه لوله‌های قطره‌چکان‌دار به کمک شیرهای تعبیه شده در انتهای لترال‌ها شسته شد. همچنین در طول فصل زراعی و حداقل در هر ماه، فیلترهای دیسکی به صورت دستی با فشار آب شسته شدند.

برای بررسی یکنواختی توزیع آب در خاک، براساس توصیه‌ی مریام و کلر (Meriam and Keller 1978) روی لوله اصلی چهار لترال (ابتدایی، یک‌سوم، دوسوم و انتهایی)، را انتخاب نموده و روی هر لترال چهار قسمت (ابتدایی، یک‌سوم، دوسوم و انتهایی) تعیین شد. خاک اطراف هر قسمت تا حدی که امکان اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان فراهم شود، تخلیه و سپس به مدت سه دقیقه، حجم آب خروجی تمام قطره‌چکان‌های آن قسمت اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس به منظور تعیین ضریب یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها از رابطه (۱)، استفاده شد (Capra and Tamburino 1995) سپس به منظور ارزیابی یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها از طبقه‌بندی که در جدول (۵)، آمده است، استفاده شد.

قبل از کشت، لوله‌های قطره‌چکان‌دار کارگذاری شده و پس از انجام عملیات کشت، آبیاری اول (خاک‌آب)، نیز به روش قطره‌ای زیرسطحی انجام شده و تا پایان مرحله داشت، از این روش آبیاری استفاده شد. در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، محاسبات برنامه‌ریزی کلی آبیاری و نیاز آبی گیاه نیشکر، بر اساس میانگین پنج‌ساله تبخیر و تعرق و ضرایب گیاهی نیشکر و ضرایب تشت تبخیر و در نظر گرفتن دور آبیاری مناسب صورت (Sheini dashtegol et al. 2019)، بر اساس محاسبات طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری، دور آبیاری در ماه‌های پیک آبیاری (خرداد، تیر و مرداد) به صورت روزانه (۱۲ ساعت آبیاری در روز) و در سایر ماه‌ها دو تا سه روز متغیر بود و در هر آبیاری، با توجه به شوری اولیه خاک، هشت تا ۱۲ درصد آب اضافه جهت نیاز آبخویی و ایجاد تعادل در بیلان نمک خاک، در نظر گرفته شد. همچنین در پایان هر مرحله داشت و پس از برداشت نیشکر در هر فصل زراعی، جهت نیاز آبخویی و شستشوی نمک‌های تجمع یافته در خاک، یک مرحله آبخویی با آبیاری سطحی صورت گرفت. با توجه به متفاوت بودن دبی خروجی قطره‌چکان‌ها در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، حجم آب مورد نیاز و مصرف شده در هر مرحله آبیاری، با کم و زیاد شدن زمان آبیاری تیمارها، کنترل شد و در نهایت، مدیریت برنامه ریزی آبیاری بر مبنای مصرف یکسان آب بود و لذا تنها تفاوت تیمارها در دبی خروجی و فاصله قطره‌چکان‌ها بود. آبیاری در تیمار آبیاری جویچه‌ای انتهایی با استفاده از لوله‌های دریچه‌دار هیدروفوم و بر اساس ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی و در نظر گرفتن ۲۵ درصد آب اضافه جهت نیاز آبخویی و ایجاد تعادل در بیلان نمک خاک بر اساس طراحی اولیه شبکه، انجام شد.

شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری دبی و فشار قطره‌چکان‌ها در شکل (۱)، نشان داده شده است.

$$E_U = \left(\frac{q_n}{q_a} \right) \times 100$$

رابطه ۱

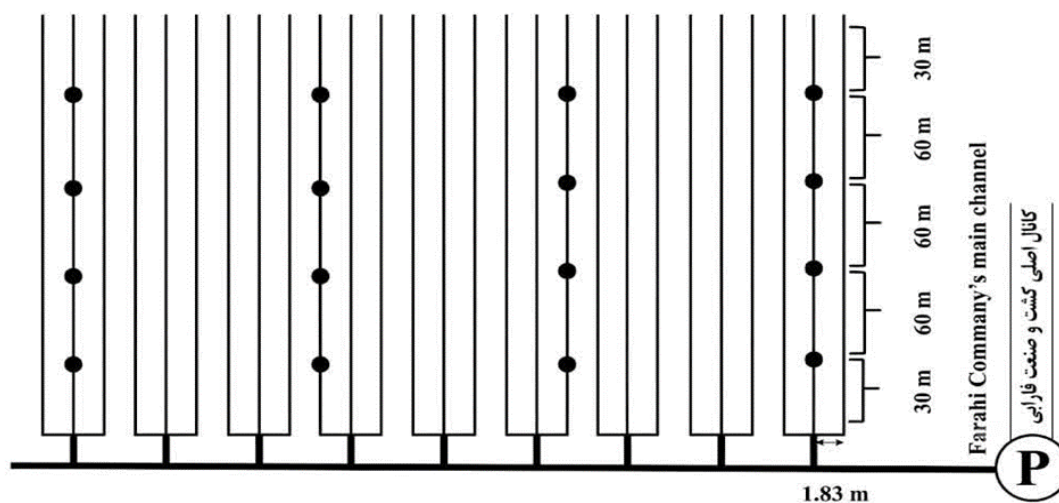
q_a : متوسط دبی اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)

q_n : متوسط دبی اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌ها در چارک پایین (لیتر در ساعت)

جدول ۵ طبقه‌بندی یکنواختی پخش در سیستم آبیاری قطره‌ای (Merriam and Keller 1978)

Table 5 Classification of distribution uniformity in drip irrigation systems (Merriam and Keller 1978)

طبقه‌بندی (Classification)	یکنواختی پخش آب (درصد) (Distribution (%) Uniformity)
عالی (Excellent)	>90
خوب (Good)	80-90
نسبتاً خوب (Relatively good)	70-80
ضعیف (Poor)	<70



شکل ۱ شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری دبی و فشار قطره‌چکان‌ها

Fig 1 Schematic diagram showing the locations of dripper flow rate and pressure measurement points

آب مصرفی در طول دوره رشد نیشکر (آبیاری و بارندگی)، بهره‌وری آب (نسبت عملکرد به حجم آب مصرفی)، محاسبه گردید. در شکل (۲)، مزرعه آزمایشی از زمان کشت تا مراحل رشد نشان داده شده است.

در پایان هر فصل زراعی، چهار ایستگاه ۱۰ متری از هر تیمار آزمایشی انتخاب و به صورت دستی برداشت گردید. سپس ویژگی‌های کمی و کیفی جهت اندازه‌گیری و محاسبه عملکرد نیشکر و شکر (تن در هکتار)، اندازه‌گیری شد. با توجه به حجم



شکل ۲ اولین آبیاری پس از کشت و رشد نیشکر
Fig2 First irrigation after sugarcane planting and emergence

نتایج و بحث

از آن به داخل خاک بوده باشد. با توجه به آبشویی خاک بعد از برداشت محصول در هر فصل زراعی و با اعمال دور آبیاری در پیک مصرف به صورت روزانه و نگهداشتن رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، میانگین شوری عصاره اشباع خاک در محدوده فوق، تأثیر معنی‌داری در کاهش رشد نداشته است، ولی شوری خاک به صورت نقطه‌ای و در برخی نقاط مزرعه، به بالای ۱۰ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌رسید که کاهش رشد نقطه‌ای و غیریکنواختی رشد ناشی از غیریکنواختی دبی خروجی قطره‌چکان‌ها را باعث شد.

نتایج هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH)، عصاره اشباع خاک در عمق متوسط ۶۰-۰ سانتی متری از سطح خاک، در پایان هر فصل زراعی در جدول (۶)، نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، شوری عصاره اشباع خاک در فصل زراعی ۰۲-۱۴۰۱، حدود ۲۹ درصد نسبت به شوری فصل زراعی اول، افزایش داشته، ولی در PH عصاره اشباع خاک، افزایش معنی‌داری ایجاد نشده است که ممکن است ناشی از اثرات اسیدشویی سامانه و لوله‌های قطره‌چکان‌دار و ورود قسمتی

جدول ۶ نتایج EC و PH عصاره اشباع خاک در پایان هر فصل زراعی

فاکتور اندازه‌گیری شده	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۹-۰۰	۱۴۰۰-۰۱	۱۴۰۱-۰۲
Measured parameter	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
EC (dS.m ⁻¹)	4.8	5.4	5.7	5.9	6.2
pH	7.4	8	7.8	7.6	7.6

ریز رس، سیلت یا مواد آلی است که از فیلترها عبور می‌کنند و این ذرات در مسیرهای باریک قطره‌چکان‌ها تجمع یافته و اسیدشویی و کلرنزی، معمولاً تأثیر چندانی بر این نوع گرفتگی ندارند که یافته‌های این پژوهش، با نتایج پژوهش‌های لی و همکاران (Li et al. 2025)، همخوانی دارد. نتایج آنها نشان داد

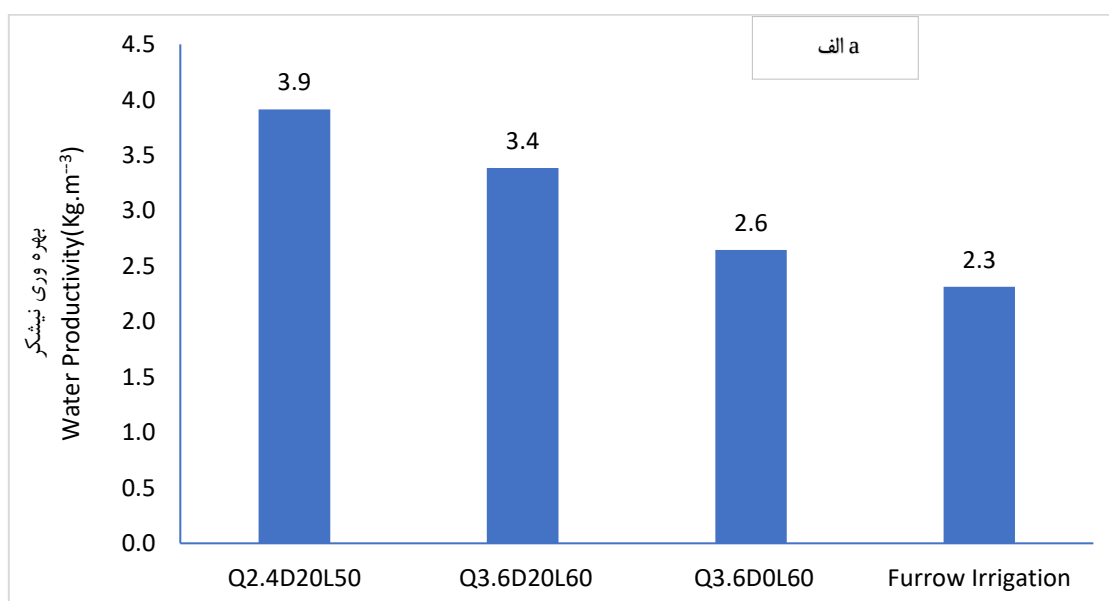
نتایج ارزیابی دبی قطره‌چکان‌ها نشان داد که گرفتگی قطره‌چکان‌ها در فصل زراعی اول تا پنجم به ترتیب ۸/۱، ۱۰/۵، ۱۸، ۲۵/۲ و ۳۱/۳ درصد و راندمان یکنواختی سیستم نیز به ترتیب به ۹۰، ۸۶، ۷۲، ۶۰ و ۴۵ درصد رسید. عمده‌ترین دلیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها، از گرفتگی فیزیکی است که ناشی از ذرات بسیار

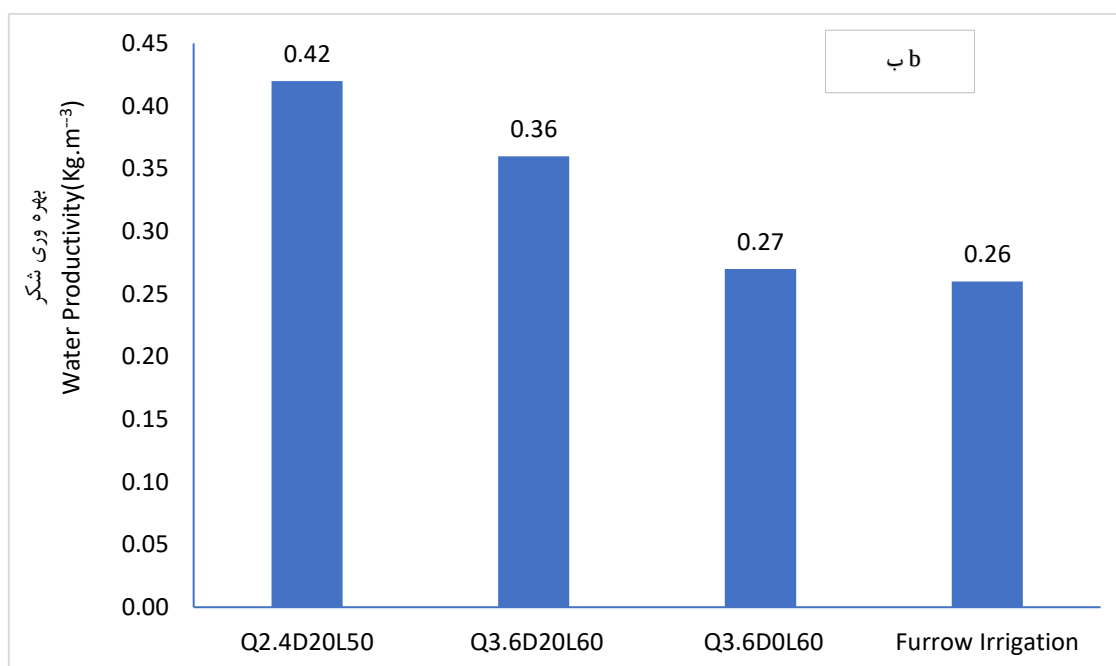
کوددهی، به‌ویژه مصرف کودهای نیتروژنی، بر میزان تشکیل رسوبات و شدت گرفتگی اثر معنی‌داری داشت.

آبشویی و آب مصرفی جهت شستشوی سامانه، منجر به کاهش حدود ۴۰ درصدی مصرف آب، افزایش بیش از ۲۵ درصدی میانگین عملکرد تولیدی و در نتیجه افزایش بیش از ۵۰ درصدی بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولید شده شده است. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری تقریباً به‌صورت خطی کاهش یافته است که در یک دوره پنج ساله، بیشترین آن، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دبی ۲/۴ لیتر بر ساعت و فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و در بازروی اول معادل ۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن، در آبیاری قطره‌ای روسطحی با دبی خروجی قطره‌چکان‌ها ۳/۶ لیتر بر ساعت و فاصله ۶۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و در سال پنجم (بازروی چهارم) و معادل یک کیلوگرم بر مترمکعب اتفاق افتاده است. در سال پنجم به‌دلیل گرفتگی بالای قطره‌چکان‌ها ناشی از کیفیت نامناسب آب آبیاری و کاهش راندمان سیستم فیلتراسیون، سامانه کارایی لازم را نداشته و با توجه به عدم تأمین نیاز آبی گیاه و غیریکنواختی پخش آب در مزرعه، عملکرد و بهره‌وری گیاه نیشکر کاهش محسوسی پیدا کرد (جدول ۷).

که گرفتگی عمدتاً در مسیر جریان داخلی قطره‌چکان رخ داده و از تجمع رسوبات تشکیل شده است. همچنین نوع مدیریت با در نظر گرفتن میانگین پنج‌ساله این پژوهش، بهره‌وری آب به ازای نیشکر تولیدی در تیمار ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{50}$)، نسبت به سه تیمار دیگر یعنی تیمارهای ($Q_{3.6}, D_{20}, L_{60}$)، ($Q_{3.6}, D_0, L_{50}$) و ($Q_{3.6}, D_0, L_{60}$) و شاهد ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{50}$)، نسبت به سه تیمار دیگر یعنی تیمارهای ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{60}$)، ($Q_{3.6}, D_0, L_{50}$) و شاهد (آبیاری جویچه‌ای انتهایی)، به‌ترتیب ۱۳، ۳۳ و ۴۱ درصد افزایش داشته است. همچنین میانگین پنج‌ساله بهره‌وری آب به ازای شکر تولیدی در تیمار ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{50}$)، نسبت به سه تیمار دیگر یعنی تیمارهای ($Q_{2.4}, D_{20}, L_{60}$)، ($Q_{3.6}, D_0, L_{50}$) و شاهد (آبیاری جویچه‌ای انتهایی)، به‌ترتیب ۱۴، ۳۶ و ۳۹ درصد افزایش داشت (شکل ۳، الف و ب). این نتایج، با نتایج کانسویل و همکاران (et Consoli al. 2014) و ونگ و همکاران (Wang et al. 2021) همخوانی دارد. به‌دلیل افزایش گرفتگی قطره‌چکان‌ها و کاهش یکنواختی توزیع آب در مزرعه، عملکرد و بهره‌وری گیاه نیشکر با گذشت زمان کاهش محسوسی پیدا کرد. نتایج بهره‌وری آب آبیاری به ازای نیشکر تولیدی در همه تیمارهای آزمایشی (پلنت و چهار بازروی) به استثنای سال اول (به‌دلیل حمله آفت سوسک ریشه‌خوار نیشکر، عملکرد و بهره‌وری پایین بود)، دارای روند کاهشی بود (شکل ۴).

میانگین نتایج در پنج سال آزمایش نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری مرسوم، با احتساب نیاز





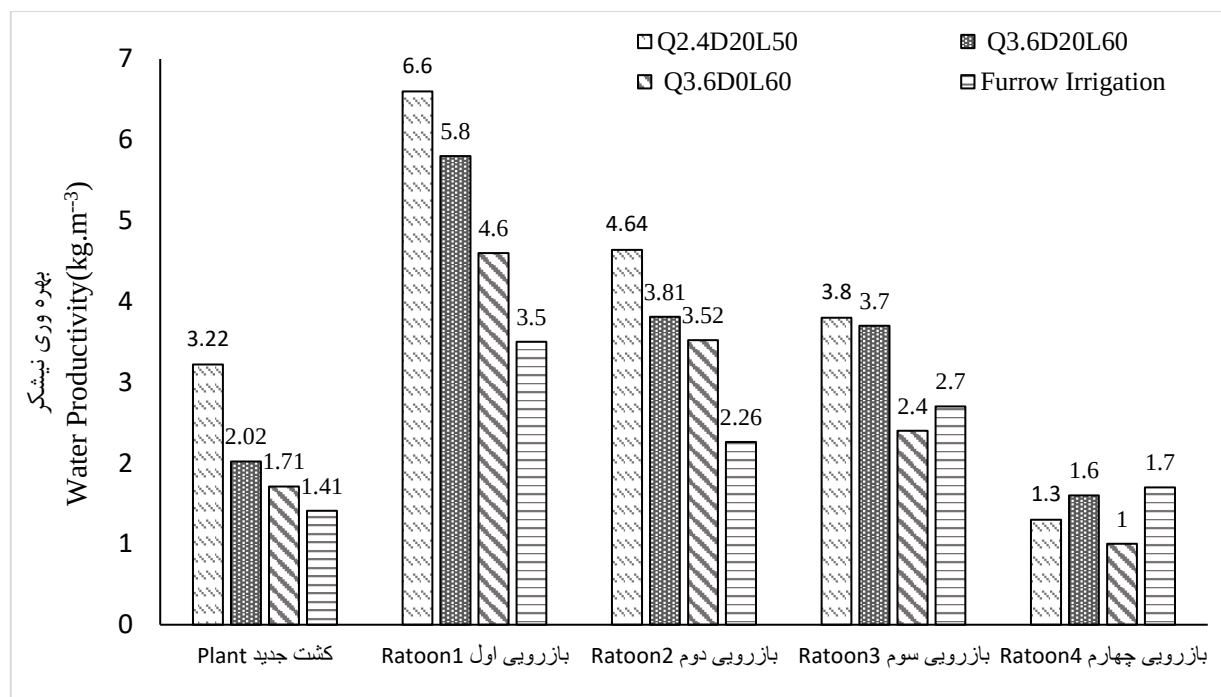
شکل ۳ میانگین نتایج پنج‌ساله بهره‌وری آب آبیاری به‌ازای نیشکر (الف) و شکر (ب) در کشت جدید و چهار بازرویی

Fig3 Five-year average irrigation water productivity for sugarcane (A) and sugar (B) in plant cane and four ratoon cultivation

جدول ۷ نتایج حجم آب مصرفی، عملکرد و بهره‌وری آب به‌ازای نیشکر تولیدی

Table 7 Water consumption, yield and water productivity per unit of sugarcane produced

بازرویی چهارم Ratoon4			بازرویی سوم Ratoon3			بازرویی دوم Ratoon2			
بهره‌وری Water productivity	عملکرد Yield	آب مصرفی Water consumption	بهره‌وری Water productivity	عملکرد Yield	آب مصرفی Water consumption	بهره‌وری Water productivity	عملکرد Yield	آب مصرفی Water consumption	بهره‌وری Water productivity
(kg. m ⁻³)	(t. ha ⁻¹)	(m ³ . ha ⁻¹)	(kg.m ⁻³)	(t. ha ⁻¹)	(m ³ . ha ⁻¹)	(kg. m ⁻³)	(t. ha ⁻¹)	(m ³ . ha ⁻¹)	(kg. m ⁻³)
1.3	23	18598	3.8	70.7	18451	4.64	88	18958	6.6
1.6	29.3	18598	3.7	68.8	18451	3.81	72	18958	5.8
1	18	18598	2.3	45.4	18451	3.52	67	18958	4.6
1.7	48.5	28800	2.7	71.7	26108	2.26	53	18958	3.5



شکل ۴ بهره‌وری آب آبیاری به ازای نیشکر تولیدی در تیمارهای آزمایشی در کشت جدید و چهار بازرویی

Fig4 Irrigation water productivity per unit of sugarcane produced under the experimental treatments in plant cane and four ratoon crops

نتیجه گیری

ذرات در مسیرهای باریک قطره‌چکان‌ها تجمع می‌یابد. در نتیجه با توجه به کیفیت آب آبیاری، به نظر می‌رسد که اشکال اصلی در سیستم فیلتراسیون بوده و پاسخگوی مهار و کنترل ذرات معلق فیزیکی در سامانه نبوده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله، از مدیریت‌های عامل وقت مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان در مدت زمان اجرای طرح پژوهشی، آقایان: مهندس امیر درخشان‌زاده، دکتر کورش طاهرخانی، دکتر جعفر آل‌کثیر و دکتر آقاجان بهادری، به خاطر حمایت‌های مادی و معنوی کمال تشکر و سپاسگزاری را می‌نمایند.

میانگین نتایج در پنج سال آزمایش، نشان داد که سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری مرسوم، کاهش حدود ۴۰ درصدی میانگین آب مصرفی، افزایش بیش از ۲۵ درصدی میانگین محصول تولیدی و در نتیجه، افزایش بیش از ۵۰ درصدی بهره‌وری آب به‌ازای نیشکر و شکر تولیدی را به‌دنبال داشت.

علیرغم اسیدشویی و کلرزی به‌صورت متناوب، در پایان پنج سال بهره‌برداری، به‌دلیل کیفیت نامناسب آب آبیاری و کاهش راندمان سیستم فیلتراسیون، گرفتگی قطره‌چکان‌ها به ۳۱ درصد و یکنواختی سامانه به ۴۵ درصد رسید، لذا با توجه به هزینه‌های بالای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، این سامانه دوام و کارایی مورد انتظار را نداشت. عمده‌ترین دلیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها، از گرفتگی فیزیکی ناشی از ذرات بسیار ریز رس، سیلت یا مواد آلی است که از فیلترها عبور می‌کنند و اسیدشویی و کلرزی، معمولاً تأثیر چندانی بر این نوع گرفتگی ندارند و این

References

منابع مورد استفاده

- Abbasi F, Sheini-Dashtgol A. Evaluation and improvement of furrow irrigation management in sugarcane fields of Khuzestan. *Journal of Water and Soil Science*. 2017; 26(4.2), 109-121.
- Barbosa EAA, Matsura EE, Santos LNSD, Gonçalves IZ, Nazário, AA, Feitosa, DRC. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2017; (153), 448-456. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.167>
- Bazrafshan A, Shorafa M, Mohammadi MH, Zolfaghari AA. Maize response to salinity stress using water uptake models in different seasons. *Journal of Iran's Soil and Water Research*. 2019; (50), 2171-2182. (In persian).
- Bernardo S, Mantovani EC, Silva DD, Soares AA. Manual de Irrigação. 9. ed. UFV, Viçosa. 2019; p545.
- Biabi H, Mehdizadeh SA, Salmi, MS. Design and implementation of a smart system for water management of lilium flower using image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019; 160, 131-143. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.019>
- Bush A, Mohamed Elamin AB, Ali A, Hong L. Effect of different operating pressures on the hydraulic performance of drip irrigation system in Khartoum State conditions. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. 2016; 6(1), (64-68).
- Capra, A., & Tamburino, V. 1995. Evaluation and control of distribution uniformity in farm irrigation systems. *Proceedings of the 46th International Executive Council Meeting of ICID*, Special Technical Session on the Role of Advanced Technologies in Irrigation and Drainage Systems in Making Effective Use of Scarce Water Resources, Rome, Italy, 15.1–15.8
- Consoli S, Stagno F, Roccuzzo G, Cirelli GL, Intrigliolo F. Sustainable management of limited water resources in a young orange orchard. *Agricultural water management*. 2014; 132: 60-68. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.10.006>
- Li Z, Mo Y, Gao H, Gong S, Zhang Y, Li G, Wu F. The hydraulic performance and clogging characteristics of a subsurface drip irrigation system operating for five years in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2025; 307, 109217. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109217>
- Merriam J.L, Keler J. Farm irrigation system evaluation: A guide for management, department of Agriculture Engineering, California, Polytechnic, State University, 1978; Vol.1.
- Sheini-Dashtgol A. Principles of applied water management in sugarcane. Khuzestan Sugarcane and By-products Development Research and Training Institute Publications. 2nd revised edition. 2019; ISBN 978-600-99663-3-2, P167. (In persian).
- Sheini-Dashtgol A, Boroumand-Nasab S, Naseri A.A. Effect of subsurface drip irrigation on salinity dynamics, water productivity, and yield of ratoon sugarcane. *Journal of Water and Soil*. 2020; 34(4), 797-811. (In persian)
- Sheini-Dashtgol A, Kermannezhad J, Ghanbari-Adivi E, Hamoodi M. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Evaluating moisture distribution and salinity dynamics in sugarcane subsurface drip irrigation, *Water Conservation Science and Engineering*. 2022; 7: 227-245. **DOI:** <https://doi.org/10.1007/s41101-022-00139-y>
- Thiyagarajan G, Manikandan M. Evaluation of drip irrigation system and fertigation of nitrogen in sugarcane. *Research Biotica*, 2020; 2 (3): 117-120. **DOI:** <https://doi.org/10.54083/ResBio/2.3.2020.117-120>
- Wang H, Wang N, Quan H, Zhang F, Fan J, Feng H, Cheng M, Liao Z, Wang X, XiangY. Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 2022; 269: Volume 269, 107645. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107645>