

Investigating the accumulation of salts in the soil under sugarcane cultivation in subsurface drip irrigation

Majid Hamoodi¹, AbdAli Naseri², Parvane Tishehzan^{3*}, Feriborz Abbasi⁴, Amir Soltani Mohammadi⁵

¹ Ph.D. student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

² Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³ Assistant professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

⁴ Professor, Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

⁵ Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Extended Abstract

Introduction

When the concentration of salts exceeds the tolerance threshold, it causes irreversible physiological damage to plants. The primary objective of soil salinity control measures is to regulate the movement of water and the downward leaching of salts, thereby preventing their accumulation and upward movement to the soil surface due to evaporation and transpiration. Subsurface drip irrigation enhances irrigation efficiency and mitigates salinity levels. However, precise design and management are crucial for controlling water salinity. Given the necessity for optimal use of irrigation water and the development of subsurface drip irrigation in sugarcane fields in Khuzestan, along with the significant impact of soil salinity, it is essential to study the changes in soil salts and their distribution across various irrigation methods and management practices in arid and semi-arid conditions. Therefore, this study aimed to investigate the effects of fertilization stages in subsurface irrigation on salt accumulation, sodium adsorption ratio, and ammonium and nitrate levels at various soil depths within the root development zone of sugarcane under a subsurface drip irrigation system.

Materials and Methods

The study was conducted at the Farabi Sugarcane Agro-Industry during the agricultural year 2021-2022, located 35 km from the Ahvaz-Abadan Road, east of the Karun River. After preparing the land and creating furrows, sugarcane cuttings of the CP69-1062 variety were planted in two rows, spaced 40 cm apart. A water tube was positioned between the two rows of cuttings. In-line dripper pipes, with a diameter of 20 mm, a dripper spacing of 50 cm, and a flow rate of 2.4 L/h, were installed at a depth of 20 cm below the soil surface. The average electrical conductivity (EC) of the irrigation water during the research period was 3.18 dS/m. Irrigation planning and water requirements for the sugarcane plants were based on a five-year average of evapotranspiration, plant coefficients, and evaporation pan coefficients, while considering the appropriate irrigation intervals. Nitrate fertilization was applied at a rate of 300 kg/ha, with 25 kg/ha administered at each stage. Soil salt accumulation was evaluated through sampling conducted in six stages, one week after each fertilization. The EC, pH, and concentrations of calcium, sodium, magnesium, ammonium, and nitrate dissolved in the saturated extract were measured. To investigate the effects of fertilization, a factorial split-plot experimental design with three replications was employed. The fertilization treatment consisted of six stages (T1, T2, T3, T4, T5, and T6), while the soil depth treatment included five depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, and 80-100 cm).

Results and Discussion

The results indicated that the highest and lowest pH values were recorded in T3 and T4, respectively. The highest EC of 4.55 dS/m was observed in stage T4, while the lowest EC of 3.01 dS/m was noted in stage T1. Additionally, the highest EC at a depth of 20 cm was measured at 5.34 dS/m. The concentration of NH_4^+ was highest in stage T1 across all depths compared to the other fertilization stages. The highest and lowest concentrations of NO_3^- were recorded in T5 and T2, measuring 30.47 mg/kg and 20.11 mg/kg, respectively. At a depth of 20 cm, the concentration of NO_3^- in the soil, equal to 33.54 mg/kg, was higher than at other sampled depths. This trend may

be due to the subsurface drip irrigation system, where the wetting front does not exceed this range. The interaction between fertilization stages and sampling depth revealed that the highest sodium adsorption ratio (SAR) occurred during fertilization stage T4 at a depth of 20 cm from the soil surface (11.31), while the lowest SAR was recorded during fertilization stages T1 and T6 at a depth of 80 cm (4.66 and 4.57, respectively). In this study, the increase in SAR was not influenced by the quality of irrigation water but rather by the type of irrigation method (subsurface drip) and the depth of drip installation.

Conclusion

The results of this study indicated that the application of nitrogen fertilizer had a variable effect on soil pH over the study period. This variability may be attributed to microbial activity, mineralization, and nitrification processes. The highest pH was recorded during the third stage of fertilization, while the lowest pH was observed in the fourth stage. Additionally, the highest soil salinity occurred due to the interaction between fertilization stages and soil depth at the fourth fertilization stage, specifically at a depth of 20 cm, which increased by 54.7 percent compared to the same depth during the first stage. The highest concentration of ammonium was found in the first stage, which was 28.3 percent greater than the lowest concentration measured in the second stage. Furthermore, soil nitrate concentrations revealed that the highest and lowest levels were recorded in the fifth and second stages, respectively, with a difference of 67.15% between them. Overall, the concentrations of ammonium and nitrate in the soil decreased over time. The behavior of the sodium adsorption ratio was similar to that of electrical conductivity, both of which increased during the study. This increase was particularly pronounced at the soil surface due to the depth of soil moisture penetration and the irrigation method employed. Based on the findings of this study, it is recommended to implement surface irrigation in conjunction with subsurface drip irrigation during the hot months with high evaporation rates.

Keywords: Ammonium, Sodium adsorption ratio, Nitrate, Farabi sugarcane.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The financial support of Shahid Chamran University of Ahvaz Research and Technology in the form of a research grant (SCU.WI1402.144), Hakim Farabi Institute of Sugarcane Research and Training, and Agriculture in conducting this research is gratefully acknowledged.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that there are no conflicts of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data availability statement

The data and results used in this research will be available through correspondence with the author.

Authors' contribution

Majid Hamoodi: Conceptualization, Experimental design and implementation, Software/statistical analysis, Writing - original draft, Manuscript editing; **AbdAli Naseri:** Supervision of experimental design and implementation, Software/statistical analysis review, Manuscript editing; **Parvane Tishehzan:** Supervision of experimental design and implementation, Statistical guidance, Conceptualization, Manuscript editing and revision, Results verification, Corresponding author and manuscript submission. **Feriborz Abbasi:** Consultation, Manuscript review, Results verification. **Amir Soltani Mohammadi:** Consultation, Manuscript review, Results verification.

*Corresponding Author, E-mail: Partishehzan@scu.ac.ir

Citation: Hamoodi. M., Naseri, A.A., Tishehzan. P., Abbasi. F., & Soltani Mohammadi. A. (2025). Investigating the accumulation of salts in the soil under sugarcane cultivation in subsurface drip irrigation. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(3), 123-139.

doi: 10.22098/mmws.2025.16746.1558

Received: 07 February 2025., Received in revised form: 30 May 2025, Accepted: 30 May 2025., Published online: 23 September 2025.

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 3, pp. 123-139.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





بررسی میزان تجمع املاح در خاک تحت کشت نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

مجید حمودی^۱، عبدعلی ناصری^۲، پروانه تیشه‌زن^۳، فریبرز عباسی^۴، امیر سلطانی محمدی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۲- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۴- استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۵- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

پژوهش حاضر باهدف بررسی توزیع و تجمع املاح در عمق خاک منطقه توسعه ریشه طی مراحل کوددهی نیتروژن گیاه نیشکر به روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب کرت‌های یک‌بار خرد شده با سه تکرار در کشت و صنعت نیشکر فارابی در جنوب اهواز و سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد تیمار مراحل کوددهی با شش مرحله (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 و T_6) و تیمار اعماق خاک با پنج عمق (۲۰-، ۴۰-، ۶۰-، ۸۰-، ۱۰۰-، ۱۲۰ سانتی‌متر اعمال شد. تحلیل نتایج نشان داد، بالاترین میزان EC ($4/55 \text{ dS/m}$)، SAR ($8/93$)، نیترات (mg/kg) $29/96$ و آمونیوم ($33/52 \text{ mg/kg}$) به ترتیب در مرحله کوددهی T_4, T_5, T_4, T_5 و T_1 بود که نشان‌دهنده افزایش میزان هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بود. بالاترین مقادیر EC ($5/30 \text{ dS/m}$)، SAR ($7/12$)، نیترات ($33/50 \text{ mg/kg}$) و آمونیوم ($18/63 \text{ mg/kg}$) در عمق ۲۰ سانتی‌متر خاک بود. بیش‌ترین EC و SAR خاک ناشی از اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک در کوددهی مرحله T_4 و عمق ۲۰- سانتی‌متر از سطح خاک به ترتیب برابر با $7/62 \text{ dS/m}$ و $11/31$ بود. رفتار SAR در طول پژوهش افزایشی بود که مشابه با EC است. بالاترین میزان نیترات در کوددهی مرحله T_5 و عمق خاک ۲۰- سانتی‌متر برابر با $41/32 \text{ mg/kg}$ است. اما بیش‌ترین میزان آمونیوم در مرحله T_1 کوددهی و عمق ۲۰- سانتی‌متر خاک برابر با $39/82 \text{ mg/kg}$ بود. با توجه به نتایج به‌منظور مدیریت املاح و جلوگیری از تجمع آن‌ها در سطح خاک اراضی تحت کشت نیشکر، پیشنهاد می‌شود برای کاهش تنش و آسیب به گیاه در ماه‌های گرم با تبخیر بالا، آبیاری سطحی نیز همگام با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم، نسبت جذب سدیم، نیترات و نیشکر فارابی.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Partishehzan@scu.ac.ir

استناد: حمودی، مجید، ناصری، عبدعلی، تیشه‌زن، پروانه، عباسی، فریبرز و سلطانی محمدی، امیر (۱۴۰۴). بررسی میزان تجمع املاح در خاک تحت کشت نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۵(۳)، ۱۲۳-۱۳۹.

doi: 10.22098/mmws.2025.16746.1558

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۱۲۳ تا ۱۳۹.

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان



۱- مقدمه

شوری خاک به تجمع املاح محلول در خاک اشاره دارد که یکی از دلایل اصلی تخریب اراضی قابل کشت و تهدیدی قابل توجه برای سلامت خاک است (Butcher et al., 2016; Afsharinia and Panahi, 2021; Yang et al., 2023). تجمع بیش از حد املاح محلول در ناحیه ریشه در صورتی که از آستانه تحمل گیاهان فراتر رود، صدمات فیزیولوژیکی غیرقابل برگشت به گیاه وارد می کند (Yang et al., 2023). بنابراین، کنترل شوری خاک در محدوده تحمل گیاه برای بهبود بهره‌وری از خاک شور مفید است (Butcher et al., 2016; Jahantigh et al., 2023).

در کشاورزی علاوه بر تأمین رطوبت، غلظت عناصر بر مقدار و کیفیت محصول تولیدی اثرگذار است (Jahantigh et al., 2023). تأمین نیازهای غذایی گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک و به خصوص در ایران استفاده از کودهای شیمیایی متداول است. استفاده مداوم از کودهای شیمیایی موجب ایجاد مشکلات محیط زیستی و آلودگی و تخریب خاک می شود (Moayedinezhad et al., 2019; Pahalvi et al., 2021). استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی موجب افزایش شوری خاک می شود (Dervash et al., 2020; Singh et al., 2020; Mushtaq et al., 2020).

از ماهیت اقدامات کنترل شوری خاک، کنترل حرکت املاح در پروفیل خاک و جلوگیری از تجمع و انتقال آن به سطح است (Guan et al., 2019; Stavi et al., 2021; Gu et al., 2022). روش مرسوم کنترل شوری خاک غرقاب کردن خاک قبل از کشت است. استفاده از آبیاری قطره‌ای در مناطق خشک می تواند علاوه بر صرفه جویی در آب، شوری را کنترل و مصرف کود را به دلیل افزایش کارایی آن کاهش دهد (Guan et al., 2019; Thidar et al., 2020; Li et al., 2024; Gholami Sharafkhan., 2024).

سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) نسبت به سایر روش‌های آبیاری به دلیل کاهش تبخیر سطحی از خاک کارایی بالاتری را در کنترل شوری و سایر املاح موجود در خاک دارد (Amente et al., 2000). طراحی و مدیریت صحیح آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تا حد زیادی خطرات ناشی از شوری آب را کاهش می دهد، با این حال مسئله شوری در این روش آبیاری نباید نادیده گرفته شود. بنابراین، هنگام طراحی آبیاری قطره‌ای برای کاشت محصولات در خاک‌های شور قلیایی، باید میزان و زمان آب آبیاری به دقت مورد بررسی قرار گیرد. Mahgoub et al. (2017) با بررسی توزیع ریشه و عناصر غذایی تحت

سیستم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که بیش تر نیترات در دسترس تحت آبیاری قطره‌ای و بارانی در سطح خاک و در آبیاری سطحی در عمق پایین خاک مشاهده شد (Mahgoub et al., 2017). در بررسی توزیع نیتروژن نیتراتی در پروفیل خاک تحت روش‌های آبیاری سطحی، جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای در خاکی با بافت لوم شنی و تحت کشت پنبه بیان کردند که بیش ترین غلظت نیتروژن نیتراتی در آبیاری بارانی و قطره‌ای در عمق ۳۰ سانتی متر و در آبیاری جویچه‌ای و سطحی در عمق ۹۰ سانتی متر مشاهده شد (Zaman et al., 2001).

در مدیریت کوددهی گیاه کاهو با آبیاری آب فاضلاب با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کاهش زمان کوددهی و فاصله بین دو مرحله کود، باعث افزایش جذب آب و نیترات و کاهش آبشویی می شود (Nayebloie et al., 2022). در پژوهشی Eltarabily et al. (2019) گزارش کردند کاربرد اوره در پایان آبیاری بیش ترین غلظت نیترات شسته شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را در زیر منطقه ریشه تولید می کند و باید از آن اجتناب کرد. (Sheini-Dashtgol et al., 2022). مطالعاتی که در کشت نیشکر با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد، نشان داد که با گذشت زمان شوری خاک در سطح ۳۰-۰ سانتی متر روند افزایشی داشته است در حالی که در عمق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متر این روند کاهشی بوده است. با این حال جدا از توزیع رطوبت خاک، توزیع شوری و نیترات در محل رشد ریشه تحت تأثیر عمق کارگذاری قطره‌چکان‌ها است (Namdarian et al., 2024). مقایسه پراکنش املاح خاک در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کشت زیتون نشان داد که تجمع املاح در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به روش سطحی بیش تر بوده و همچنین، تجمع سدیم و شوری در قسمت بالایی قطره‌چکان‌ها بیش تر از پایین قطره‌چکان‌ها بوده است (Taheri et al., 2017). تجمع املاح در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد اهمیت است. زیرا در شرایط آبیاری با آب با شوری پایین مقداری املاح در سطح خاک انتقال و مقدار آن افزایش پیدا می کند (Yang et al., 2023). با توجه به ضرورت مصرف بهینه آب آبیاری و توسعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مزارع نیشکر خوزستان و نقش مهم میزان شوری خاک، مطالعه تغییرات املاح خاک و نحوه توزیع آن‌ها در روش‌های مختلف آبیاری و مدیریت‌های آبیاری در شرایط خشک و نیمه خشک اهمیت زیادی دارد. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر مراحل کوددهی در آبیاری

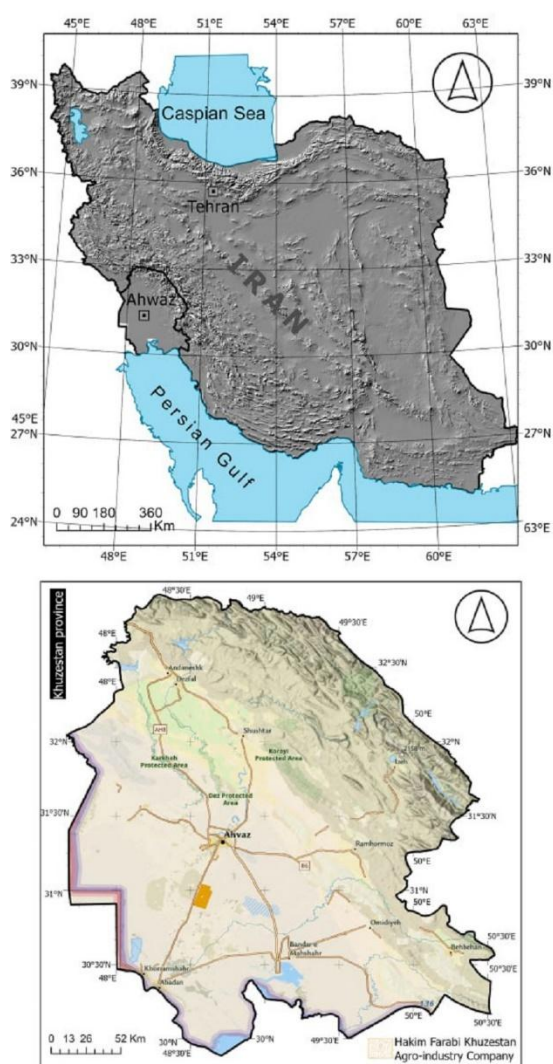
درکشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی اجرا شد. این کشت و صنعت، در ۳۵ کیلومتری جاده اهواز-آبادان در شرق رودخانه کارون در محدوده عرض جغرافیایی ۵۴° ۳۰' شمالی تا ۳۱° ۳' شمالی و طول جغرافیایی ۴۸° ۳۱' ۱۵" شرقی تا ۴۸° ۳۹' شرقی واقع شده است. حداکثر ارتفاع آن از سطح آزاد دریا حدود ۱۲ متر و شیب اراضی این واحد بین ۰/۱ تا ۰/۲ در هزار است (شکل ۱).

زیرسطحی بر تجمع املاح، نسبت جذب سدیم، میزان آمونیوم و نیترات در عمق‌های مختلف خاک از منطقه توسعه ریشه گیاه نیشکر تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با مساحت ۲۱/۶ هکتار



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area



۲-۲- مشخصات مزرعه مورد مطالعه

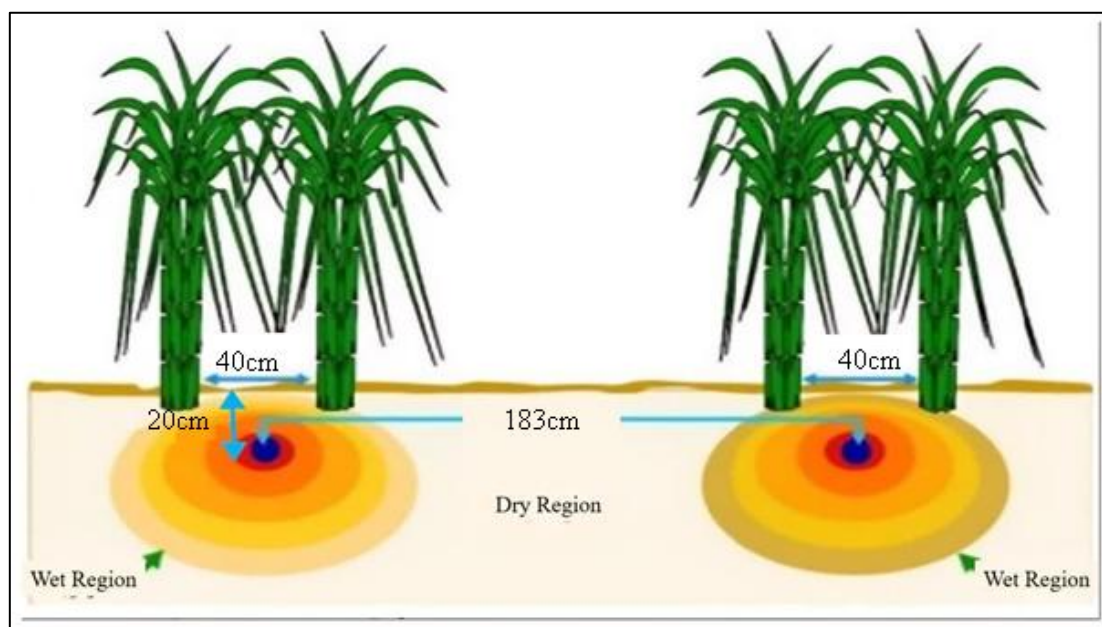
مزرعه مورد مطالعه دارای سیستم زهکشی زیرزمینی شامل لوله‌های لترال، کلکتور و ایستگاه‌های پمپاژ است. لترال‌ها در عمق متوسط دو متری از سطح زمین (۱/۸ متر در ابتدا و ۲/۲ متر در انتها) با فاصله ۵۰ متری (عمود برجهت جویچه‌های

آبیاری) به منظور خارج کردن آب اضافی مزرعه تعبیه شدند و آب خروجی از طرف لترال‌ها به لوله‌های جمع‌کننده آب (کلکتورها) روباز و در نهایت از طریق ایستگاه‌های پمپاژ به زهکش روباز تخلیه می‌شود.

۱۴۰۰ طی سه روز، کشت شد. لوله آبدۀ در وسط دو ردیف قلمه قرار داده شد. برای اجرای سیستم پس از عملیات آماده سازی زمین، روی سطح خاک با فاصله های ۱۸۳ سانتی متر شیارهای کم عمقی ایجاد شد و محل قرارگیری لوله های قطره چکان دار (لترال ها) مشخص شد. بر اساس نتایج پژوهش های پیشین و ارزیابی فنی و هیدرولیکی آبیاری قطره ای زیرسطحی در کشت نیشکر Zanganeh Yusef Abadi et al. (2021) قطره چکان دار داخل خط (in-Line) با قطر ۲۰ میلی متر، فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی متر و دبی قطره چکان ۲/۴ لیتر در ساعت، در عمق ۲۰ سانتی متری سطح خاک نصب شدند. طول لوله های آبدۀ با توجه به ابعاد مزارع مورد مطالعه، ۲۵۰ متر و فاصله آن ها از یکدیگر، با توجه به شرایط کشت نیشکر، ۱۸۳ سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۲).

قبل از کشت گیاه نیشکر، نمونه برداری از خاک مزرعه انجام و خواص فیزیکی و شیمیایی آن ها تعیین شد. pH و EC در عصاره اشباع خاک و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه گیری شدند (Carter and Gregorich, 2007). غلظت نیتروژن کل به روش کج دلال، غلظت فسفر قابل دسترس به روش اولسن و غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک به روش عصاره گیری با استات آمونیوم اندازه گیری شد (Carter and Gregorich, 2007). خاک مزرعه مورد مطالعه دارای بافت رسی لومی، آهکی با مقدار کربنات کلسیم بالا (۴۷/۵ درصد)، کربن آلی کم (۰/۳۵ درصد) و pH بالا (۷/۸۱) بود (جدول ۱).

در مزرعه مورد نظر پس از آماده سازی و ایجاد جوی و پشته قبل از کشت، قلمه نیشکر واریته CP69- 1062 به صورت دو ردیفه با فاصله ۴۰ سانتی متری از یکدیگر از ۱۶ تا ۱۹ مهر



شکل ۲- شماتیک عمق کارگذاری لوله های قطره چکان دار بین ردیف های قلمه نیشکر در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی (Sheini Dashtegol et al., 2019)

(b)

Figure 2- Schematic of the installation depth of drip pipes between rows of sugarcane cuttings in a subsurface drip irrigation farm (Sheini Dashtegol et al., 2019b)

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied farm soil

Soil texture class	pH	EC (dS/m)	Calcium carbonate equivalent (%)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (g/kg)	Available concentration (mg/kg)	
						P ⁺	K ⁺
Clay loam	7.81	2.81	47.5	0.35	0.64	3.44	92.22

(Ue) استفاده شد (Smajstrla, et al., 1990). اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه Ue از رابطه ۱ استفاده شد. یکنواختی خروج آب از قطره چکان ها در مزرعه اندازه گیری و مقدار آن ها

منبع تأمین آب آبیاری از رودخانه کارون از طریق کانال اصلی کشت و صنعت حکیم فارابی بوده که توسط ایستگاه پمپاژ به محل مزرعه منتقل می شود. به منظور اطمینان از یکنواختی پخش آب در مزرعه از شاخص ضریب یکنواختی پخش آب

کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در طول دوره پژوهش به منظور تعیین کل املاح محلول در آب pH, EC, TDS, کلسیم، سدیم، منیزیم بررسی شد که میانگین آن‌ها در جدول ۲ آمده است. هدایت الکتریکی و SAR آب آبیاری براساس روش ویلکاکس در محدوده C4S1 و جزو آب با شوری خیلی زیاد و نسبت جذب سدیم کم قرار دارد (جدول ۲). داده‌های مربوط به مقدار بارندگی در ماه‌های مختلف در دوره پژوهش حاضر در جدول ۳ آمده است.

۸۴ درصد به دست آمد که طبق (Merriam and Keller, 1978) در گروه خوب درجه بندی می‌شوند.

$$U_e = 100 \times (1 - 1.27 C_v / \sqrt{n}) (q_{\min} / q_{\text{ave}}) \quad (1)$$

q_{ave} : میانگین دبی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)

$q_{\min}$: حداقل دبی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)

U_e : ضریب یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها (درصد)

n : تعداد قطره‌چکان‌ها

C_v : ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان‌ها

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

Table 2. Chemical and qualitative characteristics of irrigation water

Parameters	pH	EC (dS/m)	Cation concentration (mg/L)			Anion concentration (mg/L)			SAR	Water class classification
			Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		
Average	7.93	3.18	220.03	89.21	407.30	669.52	592.64	216.81	5.81	C ₄ S ₁

جدول ۳- بارش در ماه‌های مختلف در دوره اجرای پژوهش

Table 3. Rainfall in different months during the research period

month	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Total rainfall
(mm) Rainfall	0	2.8	28.8	43.1	14.7	8.7	0	6.1	0	0	0.4	0	104.6

نیاز آبی گیاه بر اساس ضرایب گیاهی نیشکر واریته 1062-CP69 به دست آمده از داده‌های لایسیمتری (جدول ۴) و تبخیر روزانه تشت محاسبه شد.

کوددهی در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر اساس نیاز گیاه نیشکر و آزمایشات قبلی انجام شده در مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر در زمینه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، اعمال شد (Sheini-Dashtgol, 2019 b). در مزرعه مورد نظر، نیتروژن مورد نیاز از منبع کود اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و با استفاده از کودآبیاری قطره‌ای زیرسطحی در دوازده نوبت و در هر نوبت ۲۵ کیلوگرم در هکتار در اختیار گیاه قرار گرفت. کوددهی در بازه زمانی ۲۷ فروردین‌ماه ۱۴۰۱ الی ۱ مردادماه ۱۴۰۱ و با فواصل بین ۷ تا ۱۰ روز انجام شد.

برنامه‌ریزی آبیاری و نیاز آبی گیاه نیشکر در مزرعه مورد نظر، بر اساس میانگین پنج ساله تبخیر-تعرق، ضرایب گیاهی، ضریب تشت تبخیر و در نظر گرفتن دور آبیاری مناسب، صورت گرفت. تبخیر-تعرق گیاه نیشکر از رابطه‌های (۲) و (۳) به دست آمد (Sheini-Dashtgol, 2019a):

$$ET_0 = E_{\text{pan}} \times K_{\text{pan}} \quad (2)$$

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (3)$$

E_{pan} : تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (میلی‌متر در روز)

K_{pan} : ضریب تشت (جدول ۴)

ET_0 : تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)

ET_c : تبخیر-تعرق گیاه نیشکر (میلی‌متر در روز)

K_c : ضریب گیاهی نیشکر برای رقم CP69-1062 (جدول ۴).

جدول ۴- ضریب گیاهی (K_c) نیشکر (واریته 1062-CP69)، ضریب تشت، دور آبیاری و حجم آب آبیاری در دوره اجرای پژوهش

Table 4. Plant coefficient (K_c) of sugarcane (variety CP69-1062), basin coefficient, irrigation interval and irrigation water volume during the research period

month	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Vegetation coefficient (K_c)	0.78	0.58	0.47	0.47	0.5	0.73	0.8	0.88	1.14	1.23	1.14	1.04
Pan coefficient (K_p)	0.73	0.69	0.63	0.58	0.62	0.72	0.77	0.77	0.78	0.78	0.77	0.75
Irrigation period (days)	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1	2	2
Irrigation water volume (m ³ /ha)	3973	1847	733	0	584	577	831	1500	3067	6277	4832	3337

چهار اردیبهشت ماه (T2)، چهار خرداد ماه (T3)، سی خرداد ماه (T4)، پانزدهم تیر ماه (T5) و نه مرداد ماه (T6) از خاک صورت گرفت. با توجه به اینکه مزرعه مورد نظر شامل نه قطعه آبیاری بود (هر قطعه با مساحتی معادل ۲/۴۰ هکتار)، در هر یک از

در این پژوهش، برای ارزیابی تجمع املاح خاک در مزرعه مورد آزمایش، در شش مرحله، هر نوبت یک هفته پس از کوددهی با کود نیتروژن نمونه‌برداری خاک انجام شد. به این منظور نمونه‌برداری در تاریخ‌های چهار اردیبهشت ماه (T1)، بیست و

به صورت کرت های یک بار خرد شده در سه تکرار استفاده شد، به طوری که مراحل کوددهی بعد از اعمال آنها به عنوان کرت اصلی در شش مرحله نمونه برداری (T1، T2، T3، T4، T5 و T6) و عمق خاک به عنوان فاکتور فرعی در پنج عمق (۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰، ۸۰-۱۰۰) سانتی متر در نظر گرفته شدند. به منظور تحلیل نتایج از نرم افزار SAS استفاده شد و همچنین، مقایسه میانگین های اثرات اصلی و نیز اثرات متقابل با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- هدایت الکتریکی و pH خاک

یافته های تجزیه واریانس جدول ۵ نشان می دهد که اثرات اصلی تیمارها به جز مراحل کوددهی بر مقدار pH در سطح ($P < 0.01$) معنادار نبوده است. همچنین، اثر دوگانه (مراحل کوددهی و عمق خاک) بر مقدار هدایت الکتریکی خاک در سطح ($P < 0.01$) معنادار است.

قطعه های آبیاری های زوج مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی (قطعه های ۲، ۴، ۶ و ۸) در یک خط لترال، از سه نقطه (۵۰ متر ابتدایی، ۱۲۰-۵۰ متر از ابتدا، ۱۹۰-۱۲۰ متر از ابتدا و ۲۴۰-۱۸۰ متر از ابتدای جویچه) نمونه برداری شد. نمونه برداری خاک از عمق های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ سانتی متری صورت گرفت. هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، غلظت کلسیم، سدیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع و نیترات با دستگاه اسپکتروفتومتری و آمونیوم به روش تیتراسیون اندازه گیری شد.

نسبت جذب سدیم (SAR) خاک با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad (5)$$

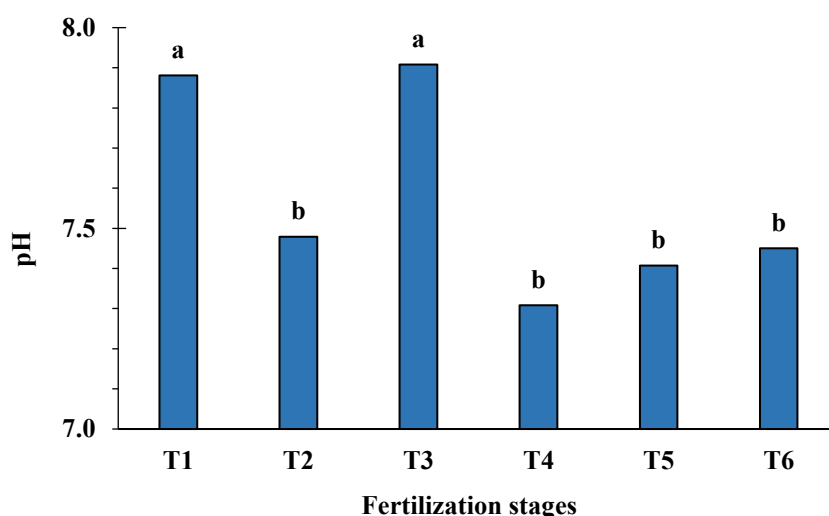
که در آن Na، Ca و Mg غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک (میلی اکی والان بر لیتر) است.

به منظور بررسی اثر کوددهی مراحل مختلف در اعماق خاک در طول دوره رشد گیاه نیشکر، از طرح آزمایشی فاکتوریل

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس EC، pH، NH_4^+ ، NO_3^- و SAR خاک، در مراحل های مختلف کوددهی

Table 5. Analysis of variance of EC, pH, NH_4^+ , NO_3^- , and SAR of soil at different fertilization stages.

Source of changes	Df	pH	EC	NH_4^+	NO_3^-	SAR
Repetition	2	0.01 ^{ns}	1.05 ^{**}	0.65 ^{ns}	13.63 ^{ns}	1.28 ^{ns}
Fertilization stages	5	0.1 ^{**}	3.74 ^{**}	124.97 ^{**}	212.92 ^{**}	29.02 ^{**}
Soil depth	4	0.03 ^{ns}	16.07 ^{**}	94.37 ^{**}	635.50 ^{**}	5.91 ^{**}
Time * Soil depth	20	0.01 ^{ns}	1.294 ^{**}	17.51 ^{**}	42.99 ^{**}	1.64 ^{**}
Total error	48	0.01	0.23	2.33	13.05	0.38
C.V		1.61	12.74	10	14.35	9.91

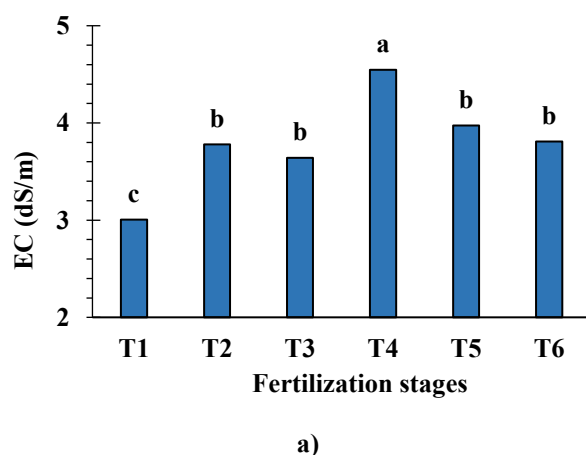


شکل ۳- اثر مراحل کوددهی بر pH خاک

Figure 3. Effect of fertilization stages on soil pH

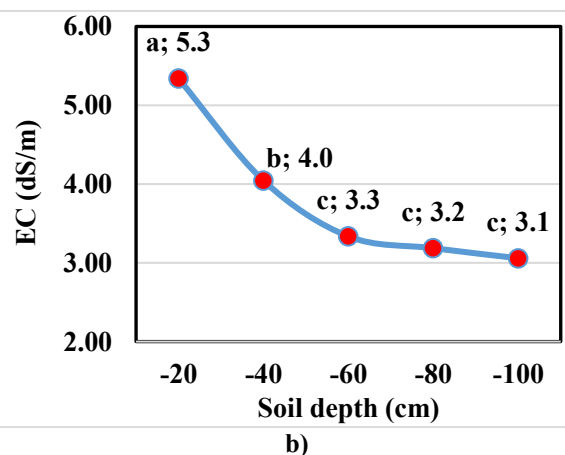
(Bouman et al., 1995). میکروارگانیسم‌ها نیز در زمان کوددهی می‌توانند بر روند pH خاک اثرگذار باشند. این فرآیند در زمان کوددهی منجر به تجزیه سریع مواد آلی و آزاد شدن ترکیبات قلیایی می‌شود که این امر می‌تواند منجر به کاهش اسیدیته خاک شود (Han et al., 2015).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان هدایت الکتریکی خاک (EC) در مراحل کوددهی روند افزایشی داشت. بررسی اثرات مستقل مراحل کوددهی و عمق خاک بر میزان هدایت الکتریکی خاک (EC) نشان داد، در بین مراحل کوددهی نیتروژن، بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی برابر با ۴/۵۵ dS/m در زمان کوددهی مرحله چهارم و کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۳/۰۱ dS/m در زمان کوددهی مرحله اول مشاهده شد (شکل ۴-۱). بررسی مقدار شوری در اعماق مختلف نشان داد که بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی خاک (EC) با ۵/۳۴ dS/m در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری است (شکل ۴-۲). افزایش هدایت الکتریکی در سطح خاک تحت تأثیر روش آبیاری و عمق نصب لوله قطره‌چکان‌دار است (Namdarian et al., 2024).



کاربرد کود نیتروژن در طول دوره آزمایش اثر متغیری بر pH خاک داشته است که این امر می‌تواند به دلیل فعالیت میکروبی و فرآیند معدنی شدن نیتروژن باشد. بیش‌ترین pH اندازه‌گیری شده در مرحله سوم کوددهی با مقدار ۷/۹ بوده است (شکل ۳). این افزایش می‌تواند به دلیل تجمع املاح در سطح خاک به دلیل شرایط موئینگی باشد و کم‌ترین مقدار در مرحله چهارم کوددهی نیتروژن صورت گرفته است. دلیل افزایش می‌تواند مقدار و نوبت کوددهی باشد که موجب کاهش pH خاک شده است.

میزان و نوع کود نیتروژن می‌تواند تأثیر مختلفی بر pH خاک داشته باشد (Zhou et al., 2014). کودهایی مانند نیترات و آمونیوم می‌تواند موجب کاهش pH خاک شود. در فرآیند تبدیل آمونیوم به نیترات، H^+ آزاد شده که منجر به افزایش اسیدیته و کاهش pH خاک می‌شود. همچنین، تبدیل آمونیوم به نیترات که می‌تواند تأثیر موقتی بر pH داشته باشد ممکن است با آزاد کردن مقداری از هیدروژن باعث اسیدی شدن خاک گردد.



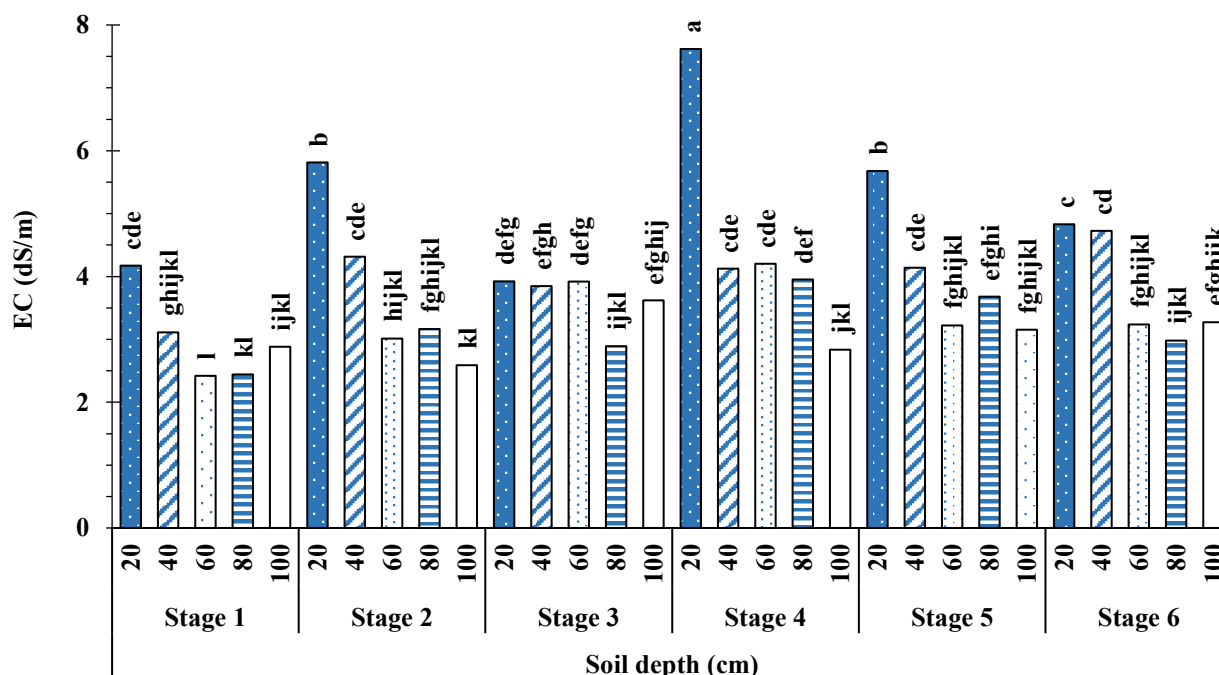
شکل ۴- تأثیر مراحل کوددهی (a) و عمق خاک (b) بر هدایت الکتریکی خاک
Figure 4. Effect of fertilization stages (a) and soil depth (b) on soil electrical conductivity

است که از نفوذ و تجمع املاح در اعماق پایین جلوگیری می‌کند (شکل ۴). همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در همه مراحل کوددهی بوده است. کاهش میزان هدایت الکتریکی در مرحله پنجم کوددهی نیتروژن به دلیل آبیاری به روش سطحی در مزرعه بوده است. انجام آبیاری سطحی مزرعه، با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک خوزستان، به دلیل افزایش چشمگیر شدت بادهای گرم و برای جلوگیری از شیوع آفات (آفت سوسک طوقه‌خوار نیشکر) در اثر خشک شدن سطح خاک،

آنالیز آماری نشان داد که اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک بر میزان هدایت الکتریکی اختلاف معنادار است. بیش‌ترین هدایت الکتریکی در زمان کوددهی مرحله چهارم و عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک برابر با ۷/۶۲ dS/m اندازه‌گیری شد که دلیل آن می‌تواند تجمع املاح پس از چندین مرحله کوددهی نیتروژن باشد (شکل ۴). کم‌ترین مقدار آن در کوددهی مرحله اول و عمق خاک ۴۰-۶۰ سانتی‌متر از سطح خاک برابر با dS/m بود که اختلاف معناداری بین عمق‌های ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متر در مرحله اول مشاهده نشده است که دلیل این امر روش آبیاری

به مرحله قبلی کوددهی (مرحله چهارم) است. پس از آن نیز در زمان کوددهی مرحله ششم نسبتاً روند افزایشی پیدا کرده است.

آبیاری سطحی با استفاده از هیدروفلوم صورت گرفت و موجب آبشویی نمک‌ها و کاهش غلظت املاح محلول در خاک نسبت



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک بر هدایت الکتریکی خاک

Figure 5. Comparison of the average interaction effect of fertilization stages and soil depth on soil electrical conductivity

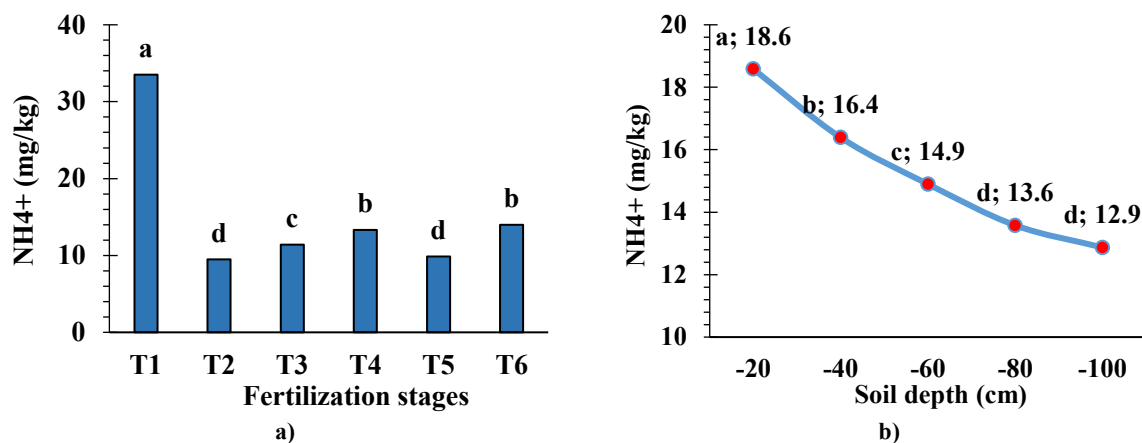
نتایج پژوهش‌های گذشته نیز نشان داده است که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، حتی در شرایط کیفیت خوب، مقداری املاح به سطح خاک منتقل و سبب افزایش تدریجی غلظت نمک در سطح خاک و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک می‌شود (Namdarian et al., 2024). همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات هدایت الکتریکی خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک اتفاق افتاده است و این تغییرات تحت تأثیر روش آبیاری یعنی عمق نصب و دبی قطره‌چکان است.

۳-۲- غلظت آمونیوم و نیترات

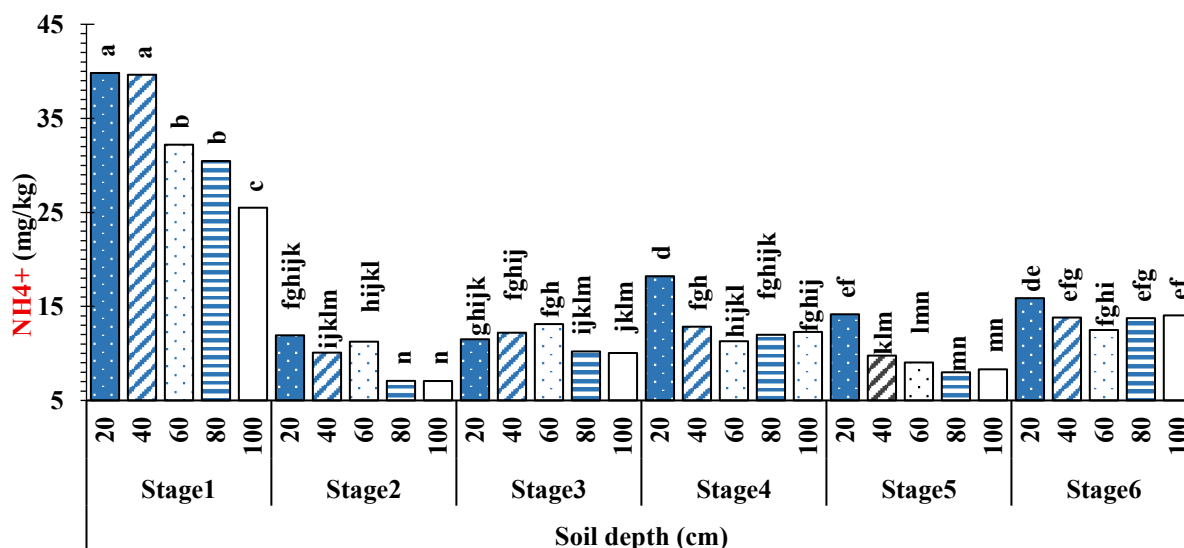
بررسی غلظت آمونیوم و نیترات خاک نشان داد که اثرات اصلی و متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک در سطح ($P < 0.01$) معنادار است. بیش‌ترین مقدار آمونیوم خاک در کوددهی نیتروژن مرحله اول است که برابر با ۳۳/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن در کوددهی مرحله دوم برابر با ۹/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است که اختلاف معناداری با مرحله پنجم کوددهی وجود ندارد (شکل ۶-ا).

در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که خاک به‌طور کامل اشباع نمی‌شود، این نتیجه دارای اهمیت است. این عامل می‌تواند در اثر کوددهی و نوع روش آبیاری باشد. نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داد که جزء اصلی کودهای شیمیایی نمک‌هایی هستند که برای خاک و گیاه زیان‌آور است و در دراز مدت موجب افزایش شوری خاک می‌شود (Singh et al., 2020; Mushtaq et al., 2020; Dervash et al., 2020).

Naderi and Tabatabaian (2024) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند آن‌ها گزارش کردند که مقدار شوری عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نسبت به اعماق پایین‌تر بیش‌تر است. در واقع صعود رطوبت به‌صورت موئینگی و تبخیر آن از سطح خاک باعث افزایش شوری در این قسمت از خاک شده است. علت این امر را می‌توان به این صورت بیان نمود که جریان آب از سمت قطره‌چکان در جهات مختلف به‌طور عرضی و عمودی وجود دارد که حرکت عرضی جریان موجب گسترش رطوبت خاک در فواصل افقی تا ۶۰ سانتی‌متر می‌شود. در حرکت عمودی، بخشی دیگر به‌صورت موئینگی به‌سمت سطح حرکت کرده که پس از تبخیر در سطح موجب افزایش شوری در لایه‌های سطحی می‌شود.



شکل ۶- تأثیر مراحل کوددهی (a) و عمق خاک (b) بر غلظت آمونیوم خاک
Figure 6. Effect of fertilization stages (a) and soil depth (b) on soil ammonium concentration



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک بر غلظت آمونیوم خاک
Figure 7. Comparison of the average interaction effect of fertilization stages and soil depth on soil ammonium concentration

کوددهی است. معدنی شدن خالص در دوره قبل از شروع کوددهی که شرایط رطوبتی و دمای مناسبی دارد، حتی در خاک‌های با محتوای پایین مواد آلی، می‌تواند با سرعت بالایی اتفاق بیافتد که این خود باعث افزایش غلظت آمونیوم در خاک می‌شود (Diez et al., 2006). دلیل کاهش غلظت آمونیوم در مراحل بعدی نسبت به مرحله اول کوددهی می‌تواند به دلیل شرایطی مانند نیترات زدایی، جذب توسط گیاه و آبشویی باشد (Hanson et al., 2006).

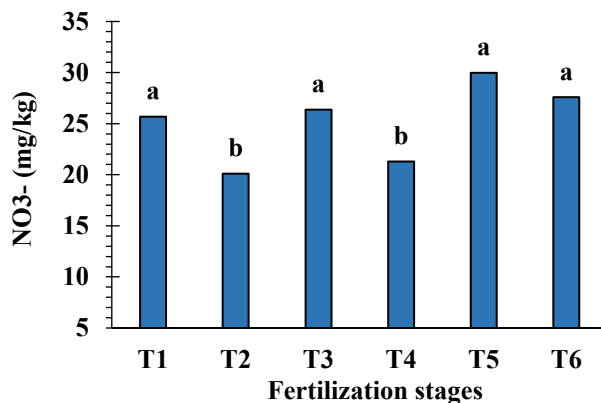
همچنین، توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به گونه‌ای بوده که رطوبت فقط در سطح دسترسی ریشه باشد که این امر موجب می‌شود تجمع کود و رطوبت فقط در عمق خاصی از خاک رخ دهد (Thomas et al., 2024). چون آمونیوم یک یون با تحرک نسبتاً کم است لذا اکثر آن در لایه‌های بالایی خاک می‌ماند. به همین دلیل در همه مراحل قبل و بعد از

بررسی غلظت آمونیوم در عمق خاک نشان داد که بیشترین غلظت آمونیوم در ۲۰-۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک برابر با ۱۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین آن در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری برابر با ۱۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است (شکل ۶- b).

بررسی اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک نشان داد بیشترین مقدار آمونیوم در مرحله اول در همه اعماق نسبت به دیگر مراحل کوددهی بیش‌تر است. زمان کوددهی مرحله اول عمق ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ سانتی‌متری بیش‌ترین مقدار آمونیوم برابر با ۳۹/۸۲ و ۳۹/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن در مرحله دوم کوددهی نیتروژن و عمق ۸۰-۶۰ و ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری برابر با ۷/۰۸ و ۷/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم از سطح خاک مشاهده شد (شکل ۷). افزایش میزان آمونیوم در مرحله اول کوددهی به این دلیل است که این مرحله، اولین مرحله

خاک تجمع آمونیوم در سطح خاک مشاهده شد (Eltarabily et al., 2019).

بیشترین مقدار نیترات در کوددهی نیتروژن مرحله پنجم برابر با ۳۰/۴۷ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن در مرحله کوددهی دوم برابر با ۲۰/۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم است (شکل ۸-ا). تغییرات نیترات طی مراحل کوددهی و اعماق مختلف خاک، احتمالاً ناشی از نیترات سازی است.

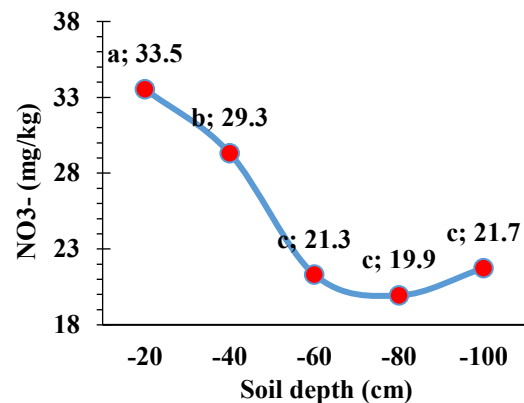


a)

شکل ۸- تأثیر مراحل کوددهی (a) و عمق خاک (b) بر غلظت نیترات خاک

Figure 8. Effect of fertilization stages (a) and soil depth (b) on soil nitrate concentration

کوددهی، غلظت آمونیوم در عمق ۲۰-۰ سانتی متری بیش تر از عمق های ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی متر است، بنابراین انتقال آمونیوم به اعماق بیش تر با سرعت کم اتفاق می افتد (Nieder et al., 2011; Abbasi, 2021). در پژوهشی Eltarabily et al. (2019) گزارش کردند که آمونیوم همیشه در مجاورت خط قطره چکان متمرکز است زیرا جذب ریشه می شود از طرفی به دلیل جذب توسط کلونیدهای خاک و عمق تأثیرپذیری رطوبت

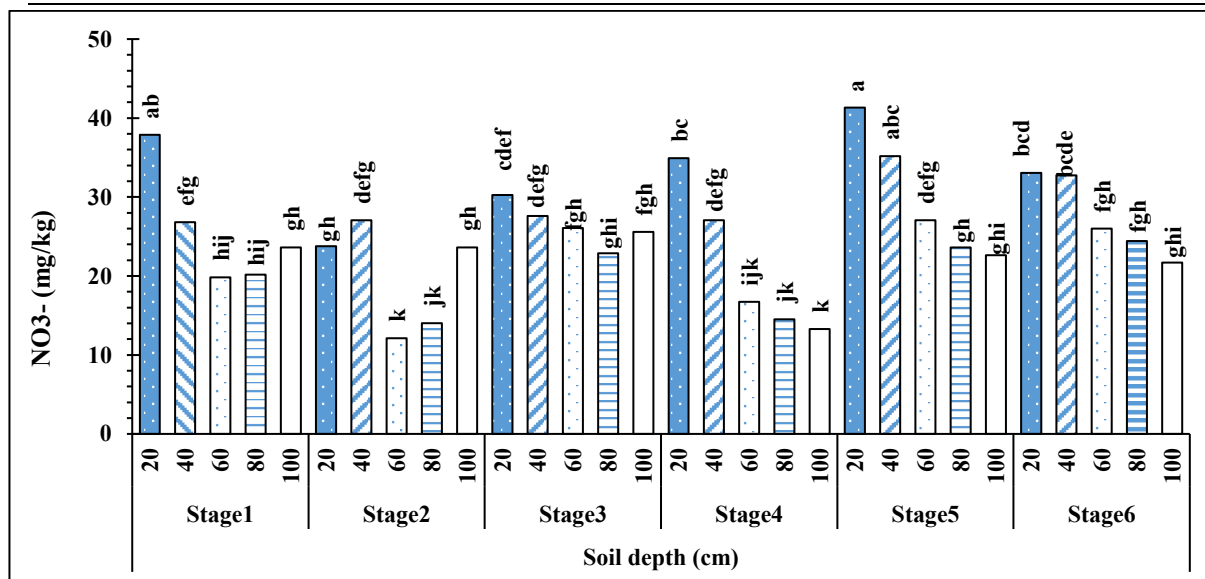


b)

بیشترین تأثیر شعاع پياز رطوبتی آبیاری قطره ای زیرسطحی در عمق ۰-۴۰ سانتی متری است. این امر موجب می شود در عمق پایین تر مقدار نفوذ آب و کود نسبت به سطح خاک کم تر باشد و موجب پایین بودن غلظت نیترات نسبت به سطح خاک باشد. این نتایج مطابق با بررسی غلظت آمونیوم بوده است.

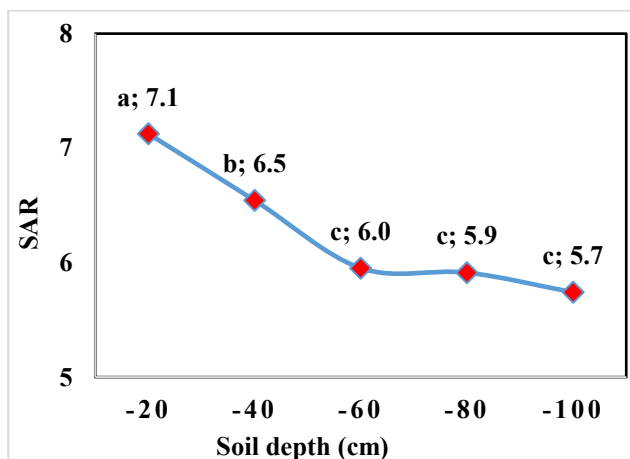
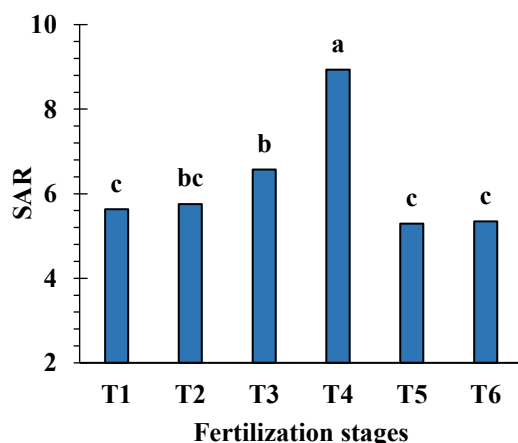
اختلاف معناداری در غلظت نیترات تحت تأثیر مراحل کوددهی و عمق خاک مشاهده شد (جدول ۳). بالاترین غلظت نیترات در کوددهی مرحله پنجم و عمق خاک ۰-۲۰ سانتی متری (۴۱/۳۲ میلی گرم در کیلوگرم) و کمترین آن در کوددهی مرحله دوم و چهارم به ترتیب با عمق خاک ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی متری اندازه گیری شد که بیانگر تلفات کم نیترات در آبیاری قطره ای زیرسطحی در اعماق پایین است (شکل ۹).

یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی، به راحتی همراه با رطوبت خاک به صورت جریان توده ای منتقل می شود. استفاده کود بیش تر از نیاز گیاه می تواند موجب افزایش غلظت نیترات محلول در خاک شود. حرکت نیترات می تواند تحت تأثیر پتانسیل ثقلی (جریان قائم) و پتانسیل ماتریک ناشی از تبخیر و تعرق (جریان جانبی) باشد (Shukla and Saxena, 2020). بیشترین تجمع نیترات خاک ۳۳/۵۴ میلی گرم در کیلوگرم در عمق بین ۰-۲۰ سانتی متری اندازه گیری شد، که مقدار آن با دیگر اعماق اختلاف معناداری داشت. سپس بیشترین غلظت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی متری (۲۹/۳۲ میلی گرم در کیلوگرم) است، بین اعماق ۶۰-۴۰ تا ۸۰-۱۰۰ سانتی متری اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل ۸-ب).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک بر غلظت نیترات خاک

Figure 9. Comparison of the average interaction effect of fertilization stages and soil depth on soil nitrate concentration



شکل ۱۰- ۱- تاثیر مراحل کوددهی (a) و عمق خاک (b) بر نسبت جذب سدیم خاک

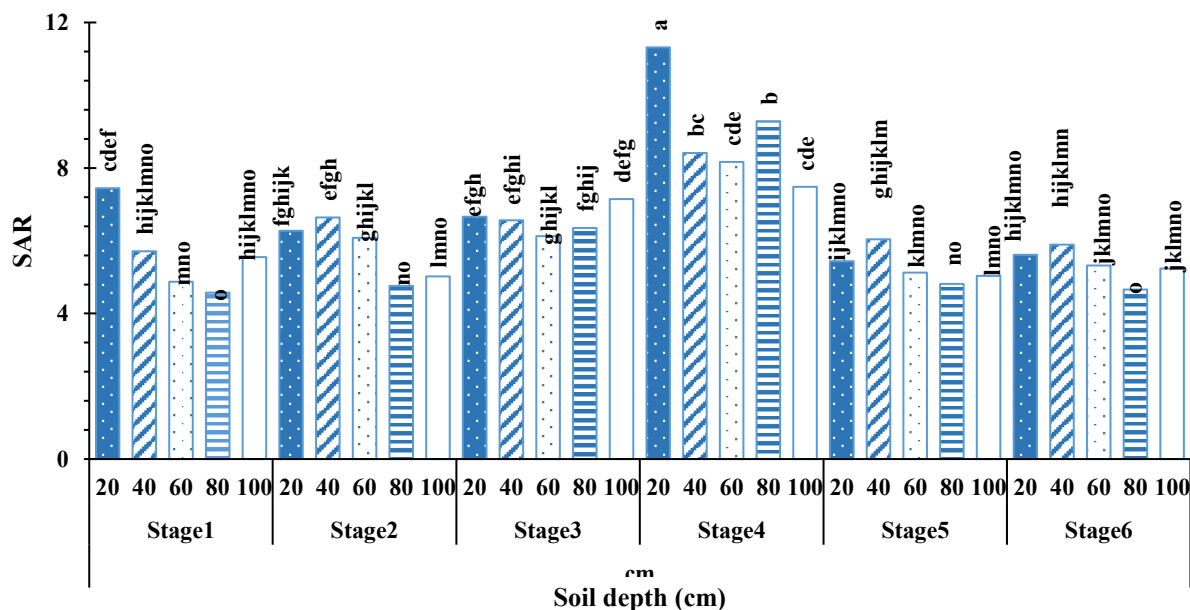
Figure 10. Effect of fertilization stages (a) and soil depth (b) on soil sodium adsorption ratio

۳-۳- نسبت جذب سدیم (SAR)

بررسی نتایج تجزیه واریانس جدول ۵ نشان داد که نسبت جذب سدیم تبدیلی در مراحل کوددهی اختلاف معناداری داشت. به طوری که بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم تبدیلی در کوددهی نیتروژن مرحله چهارم به میزان ۸/۹۳ است (شکل ۱۰-۱۰). در بین عمق خاک همانند هدایت الکتریکی، بیشترین مقدار نیترات و آمونیوم در عمق ۲۰-۰ سانتی متری از سطح خاک است (شکل ۱۰-۱۰).

اثرات متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک نشان داد که مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) اختلاف معناداری داشت (جدول ۳).

بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) در کوددهی مرحله چهارم و عمق ۲۰-۰ سانتی متری از سطح خاک که برابر با ۱۱/۳۱ و کمترین مقدار آن در کوددهی مرحله اول و ششم و عمق ۸۰-۶۰ سانتی متری که برابر با ۴/۶۶ و ۴/۵۷ شد (شکل ۱۱). بیشترین میزان نسبت جذب سدیم (SAR) در مرحله چهارم زمان کوددهی اتفاق افتاده است که این افزایش متأثر از کیفیت آب آبیاری نبوده، بلکه بیش تر تحت تأثیر نوع روش آبیاری (قطره ای زیرسطحی) و عمق نصب قطره چکان است.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق خاک بر نسبت جذب سدیم

Figure 11. Comparison of the average interaction effect of fertilization stages and soil depth on sodium adsorption ratio

بیشتر از پایین‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده در مرحله دوم داشته است. غلظت نیترات خاک نیز نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت به‌ترتیب در مرحله پنجم و دوم است که اختلاف ۶۷/۱۵ درصدی بین آن‌ها وجود دارد. همچنین، به‌طور کلی غلظت آمونیوم و نیترات در عمق خاک روند کاهشی داشته است. رفتار نسبت جذب سدیم تبادلی مشابه با هدایت الکتریکی است و در طول پژوهش روند افزایشی داشت که در سطح خاک به‌دلیل عمق نفوذ رطوبت خاک و روش آبیاری تشدید شده است. با توجه به نتایج این پژوهش، به‌منظور مدیریت کنترل تجمع املاح در سطح خاک اراضی تحت کشت نیشکر و جلوگیری از ایجاد تنش و آسیب به گیاه توصیه می‌شود در ماه‌های گرم با تبخیر زیاد که نیاز آبی نیشکر بالا است همراه با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آبیاری سطحی نیز به کار برده شود.

سپاسگزاری

به این وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.WI1402.144)، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر و کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

عمق کارگذاری قطره‌چکان اثر مستقیمی بر تجمع املاح و مقدار SAR خاک دارد. با توجه به عمق کارگذاری قطره‌چکان در این پژوهش (۲۰ سانتی‌متر) به‌دلیل تبخیر پس از آبیاری املاح در سطح خاک تجمع پیدا می‌کند و موجب افزایش SAR در سطح خاک می‌شود. (Moradi Kashkooli et al. (2016). بیش‌ترین تجمع املاح را در عمق نصب ۲۵ سانتی‌متری قطره‌چکان از سطح خاک گزارش کردند. کاهش معنادار نسبت جذب سدیم (SAR) خاک در کوددهی در مراحل پنجم و ششم به‌دلیل آبیاری به روش سطحی (به‌منظور مبارزه با آفت سوسک طوقه‌خوار نیشکر) بود. آبیاری سطحی موجب کاهش چشم‌گیر نسبت جذب سدیم (SAR) و آبشویی املاح تجمع یافته در سطح خاک و در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری و هدایت املاح به اعماق پایین‌تر از محدوده توسعه ریشه گیاه نیشکر شده است. برای جلوگیری از خطر سدیمی شدن خاک در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و با توجه به حساس بودن نیشکر به شوری، در مدیریت شوری چنین مزارعی در اقلیم گرم و خشک خوزستان افزایش ضریب آبشویی باید مورد توجه قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد بیش‌ترین شوری خاک ناشی از اثر متقابل مراحل کوددهی و عمق نمونه‌برداری خاک در مرحله چهارم کوددهی نیترژن و عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر است که نسبت به‌همین عمق در مرحله اول افزایش ۵۴/۷۳ درصد داشته است. بالاترین غلظت آمونیوم در مرحله اول است که ۲۸/۳۴ درصد

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این تحقیق از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

مجید حمودی: انجام طرح و آزمایشات، انجام و بررسی تجزیه نرم افزاری/آمار، نگارش نسخه اولیه مقاله، ویرایش مقاله؛
عبدعلی ناصری: راهنمایی انجام طرح و آزمایشات، بررسی تجزیه نرم افزاری/آمار، ویرایش مقاله؛ **پروانه تیشه‌زن:** راهنمایی انجام طرح و آزمایشات، بررسی تجزیه نرم افزاری/آمار و راهنمایی طرح آماری، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج و ارسال مقاله و مکاتبات؛ **فریبرز عباسی:** مشاوره، و بازبینی متن مقاله، کنترل نتایج؛ **امیر سلطانی محمدی:** مشاوره، بازبینی متن مقاله و کنترل نتایج.

منابع

- افشاری‌نیا، مهدیه، و پناهی، فاطمه (۱۴۰۰). تاثیر خشک‌سالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۲)۱، ۴۶-۳۶. doi: 10.22098/mmws.2021.8982.1018
- جهان‌تیغ، منصور، جهان‌تیغ، معین، دهمرده، خداداد، و بیات، رضا (۱۴۰۲). تاثیر تغییرات شوری و روش آبیاری بر رشد محصولات گل محمدی و چای‌ترش در دشت سیستان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۴)۳، ۱۹۱-۱۸۱. doi: 10.22098/mmws.2023.12061.1199
- زنگنه یوسف آبادی، الهام، هوشمند، عبدالرحیم، ناصری، عبدعلی، برومند نسب، سعید و پرویزی، مسعود (۱۴۰۰). تأثیر مدیریت‌های Bouman, O.T., Curtin, D., Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., & Ukrainetz, H. (1995). Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5), 1488-1494. doi: 10.2136/sssaj2000.6461931x
- Butcher, K., Wick, A.F., DeSutter, T., Chatterjee, A., & Harmon, J. (2016). Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal*, 108(6), 2189-2200. doi:10.2134/agronj2016.06.0368
- Carter, M.R., & Gregorich, E.G. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press. doi: 10.1201/9781420005271

- مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر بهره‌وری آب آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر رقم CP69-1062. *علوم و مهندسی آبیاری*، (۱)۴۴، ۱۵-۱. doi: 10.22055/jise.2018.25258.1747
- شینی‌دشتگل، علی (۱۳۹۸). اصول مدیریت کاربردی آب در نیشکر. چاپ دوم، انتشارات مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، ۱۶۸ صفحه.
- شینی‌دشتگل، علی (۱۳۹۹). اثر فواصل و اعماق مختلف کارگذاری قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی توزیع رطوبت، بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی نیشکر در شرایط اقلیمی جنوب خوزستان. رساله دکتری. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- طاهری، مهدی، طاهری، میثم، عباسی، محمد، مصطفوی، کریم و واحدی، سمیرا (۱۳۹۵). بررسی الگوی توزیع شوری و سدیم خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغات زیتون. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، (۲)۷، ۱۴۱-۱۲۷.
- عباسی، فریبرز (۱۴۰۰). فیزیک خاک پیشرفته. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۴ صفحه.
- مرادی کشکولی، شهلا، هاشمی، رضا، خاشعی سیوکی، عباس، و شهیدی. علی (۱۳۹۵). شبیه‌سازی حرکت آب و انتقال املاح در خاک با استفاده از مدل هایدروس جهت تعیین عمق بهینه کارگذاری قطره‌چکان. *آبیاری و زهکشی ایران*، (۱۰)۱، ۱۰۳-۹۴. <https://civilica.com/doc/1208797>
- نادری، نادر، و طباطبائی‌ان، محسن (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد فنی و تغییرات شوری خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ‌های پسته استان سمنان. *پژوهش آب در کشاورزی*، (۲)۳۸، ۱۴۸-۱۳۹. doi: 10.22092/jwra.2024.364909.1031
- غلامی شرفخانه، مهدی، ضیائی، علی‌نقی، ناقدی‌فر، سید محمد رضا، و اکبری، امیر (۱۴۰۳). بهبود برنامه‌ریزی سیستم آبیاری قطره‌ای با اندازه‌گیری میدانی و مدل‌سازی گیاهی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۱)۴، ۳۱۳-۲۹۹. doi:10.22098/mmws.2023.12389.1236

References

- Abbasi, F. (2020). *Advanced Soil Physics*. 6th Edition: Tehran University Press, 334 pages. [in Persian]
- Afsharinia, M., & Panahi, F. (2021). Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 36-46. doi: 10.22098/mmws.2021.8982.1018. [in Persian]
- Amente, G., Baker, J M., & Reece, C.F. (2000). Estimation of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 1931-1939. doi: 10.2136/sssaj2000.6461931x

- Eltarabily, M.G., Bali, K.M., Negm, A.M., & Yoshimura, C. (2019). Evaluation of root water uptake and urea fertigation distribution under subsurface drip irrigation. *Water*, 11(7), 1487. doi:10.3390/w11071487
- Diez, J.A., Tarquis, A., Catagena, M.C., & Vallejo, A. (2006). Optimisation of N application for a maize crop grow in a shallow, irrigated soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4), 373-380. doi: 10.5424/sjar/2006044-214
- Dervash, M.A., Bhat, R.A., Shafiq, S., Singh, D.V., & Mushtaq, N. (2020). Biotechnological intervention as an aquatic clean up tool. *Fresh water pollution dynamics and remediation*, 183-196. doi:10.1007/978-981-13-8277-2_11.
- Gu, Y. Y., Zhang, H. Y., Liang, X. Y., Fu, R., Li, M., & Chen, C.J. (2022). Effect of different biochar particle sizes together with bio-organic fertilizer on rhizosphere soil microecological environment on saline-alkali land. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 949190. doi: 10.3389/fenvs.2022.949190.
- Gholami Sharafkhane, M., Ziaei, A.N., Naghedifar, S.M., & Akbari, A. (2024). Improving the scheduling of drip irrigation system using field measurements and crop modeling. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(1), 299-313. doi: 10.22098/mmws.2023.12389.1236. [in Persian]
- Guan, Z., Jia, Z., Zhao, Z., & You, Q. (2019). Dynamics and distribution of soil salinity under long-term mulched drip irrigation in an arid area of northwestern China. *Water*, 11(6), 1225. doi: 10.3390/w11061225
- Hanson, B.R., Šimůnek, J., & Hopmans, J.W. (2006). Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural Water Management*, 86(1-2), 102-113. doi: 10.1016/j.agwat.2006.06.013
- Han, J., Shi, J., Zeng, L., Xu, J., & Wu, L. (2015). Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 2976-2986. doi: 10.1007/s11356-014-3542-z.
- Li, D., Yang, Y., Zhao, Y., Zhou, X., Han, Q., Liu, H., & Li, M. (2024). Optimizing cotton yield and soil salinity management: Integrating brackish water leaching and freshwater drip irrigation with subsurface drainage. *Field Crops Research*, 314, 109454. doi: 10.1016/j.fcr.2024.109454.
- Jahantigh, M., Jahantigh, M., Dhemardhe, D., & Bayat, R. (2023). The effect of changes in salinity and irrigation method on the growth of Rose and Hibiscus sabdariffa crops in the Sistan plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 181-191. doi:10.22098/mmws.2023.12061.1199. [in Persian]
- Mahgoub, N.A., Mohamed, A.I., El Sayed, M., & Ali, O.M. (2017). Roots and nutrient distribution under drip irrigation and yield of faba bean and onion. *Open Journal of Soil Science*, 7(2), 52-67. doi: 10.4236/ojss.2017.72004.
- Merriam, J.L., & Keller, J. (1978). *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management*. Utah State University, Logan, Utah. doi: 10.5555/19811964769
- Moayedinezhad, A., Hosseini Salekdeh, G., Nejatian, M.A., & Mohsenifard, E. (2019). Effect of drought stress on some physiological and biochemical characteristics of two grapevine cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32), 377-389. doi: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.20.8
- Moradi Kashkooli, Sh., Hashemi, S.R., Khashei suiki, A., & Shahidi, A. (2016). Simulation of movement of water and solutes in soil by HYDRUS model to determine the suitable depth of dripper. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(10), 94-103. [in Persian]
- Mushtaq, N., Singh, D.V., Bhat, R.A., Dervash, M. A., & Hameed, O.B. (2020). Freshwater contamination: sources and hazards to aquatic biota. *Freshwater Pollution Dynamics and Remediation*, 27-50. doi:27-50. 10.1007/978-981-13-8277-2_3
- Naderi, N., & Tabatabaian, S.M. (2024). Investigating the Technical Performance and Soil Salinity Variations for Subsurface Drip Irrigation System of Pistachio Orchards in Semnan Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 38(2).139-148. doi: 10.22092/jwra.2024.364909.1031. [in Persian]
- Namdarian, D., Boroomand-Nasab, S., Gorooei, A., Gaiser, T., Solymani, A., Naseri, A., & dos Santos Vianna, M. (2024). Determination of the optimum depth for subsurface dripping irrigation of sugarcane under crop residue management. *Agricultural Water Management*, 303, 109026. doi: 10.1016/j.agwat.2024.109026.
- Nayebloie, F., Kouchakzadeh, M., Ebrahimi, K., Homaei, M., & Abbasi, F. (2022). Improving fertigation efficiency by numerical modelling in a lettuce subsurface drip irrigation farm. *Agricultural Water Management*, 270, 107721. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107721
- Nieder, R., Benbi, D.K., & Scherer, H.W. (2011). Fixation and defixation of ammonium in soils: a review. *Biology and fertility of Soils*, 47, 1-14. doi: 10.1007/s00374-010-0506-4
- Pahalvi, H.N., Rafiyya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A.N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs, 1-20. doi: 10.1007/978-3-030-61010-4_1.
- Sheini-Dashtgol, A. (2019a). Principles of applied water management in sugarcane. 2th Edition: *Sugarcane Research and Training In Institute*, 168 pages. [in Persian]

- Sheini-Dashtgol, A. (2019b). The effect of different distances and depths of pressure regulating drippers in subsurface drip irrigation on moisture distribution, water productivity, and quantitative and qualitative yield of sugarcane in the climatic conditions of southern Khuzestan. PhD thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. [in Persian]
- Sheini-Dashtgol, A., Kermannezhad, J., Ghanbari-Adivi, E., & Hamoodi, M. (2022). Evaluating moisture distribution and salinity dynamics in sugarcane subsurface drip irrigation. *Water Conservation Science and Engineering*, 7(3), 227-245. doi: 10.1007/s41101-022-00139-y.
- Shukla, S., & Saxena, A. (2020). Sources and leaching of nitrate contamination in groundwater. *Current Science*, 118(6), 883-891. doi: 10.18520/cs/v118/i6/883-891.
- Singh, D.V., Bhat, R.A., Dervash, M.A., Qadri, H., Mehmood, M.A., Dar, G.H., Hameed, M., & Rashid, N. (2020). Wonders of nanotechnology for remediation of polluted aquatic environs. *Fresh water pollution dynamics and remediation*, 319-339. doi: 10.1007/978-981-13-8277-2_17.
- Smajstrla, A.G., Boman, B.J., Haman, D.Z., Pitts, D. J., & Zazueta, F.S. (1990). Field evaluation of micro irrigation water application uniformity. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. doi: 10.32473/edis-ae094-1997
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 712831. doi: 10.3389/fenvs.2021.712831.
- Taheri, M., Taheri, M., Abbasi, M., Mostafavi, K., & Vahedi, S. (2017). Patterns of soil salinity and sodium under surface and subsurface drip irrigation in olive trees. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 127- 141. [in Persian]
- Thidar, M., Gong, D., Mei, X., Gao, L., Li, H., Hao, W., & Gu, F. (2020). Mulching improved soil water, root distribution and yield of maize in the Loess Plateau of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 241, 106340. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106340
- Thomas, S.L., Bindhu, J.S., Pillai, S.P., Beena, R., Biju, J., & Sarada, S. (2024). Nutrient Dynamics and Moisture Distribution under Drip Irrigation System. *Journal of Experimental Agriculture International*. 46(10), 485-493. doi: 10.9734/jeai/2024/v46i102972.
- Yang, F., Wu, P., Zhang, L., Liu, Q., Zhou, W., & Liu, X. (2023). Subsurface irrigation with ceramic emitters improves the yield of wolfberry in saline soils by maintaining a stable low-salt environment in root zone. *Scientia Horticulturae*, 319, 112181. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112181.
- Zaman, W.U., Arshad, M., & Saleem, A. (2001). Distribution of nitrate-nitrogen in the soil profile under different irrigation methods. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2, 208-209.
- Zanganeh Yusef Abadi, E., Hooshmand, A., Naseri, A., Boroomand-Nasab, S., & Parvizi, M. (2021). The effect of different management of subsurface irrigation on water productivity, yield and yield component of sugarcane (var. CP69-1062). *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(1), 1-15. doi: 10.22055/jise.2018.25258.1747 . [in Persian]
- Zhou, J., Xia, F., Liu, X., He, Y., Xu, J., & Brookes, P.C. (2014). Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China. *Journal of soils and sediments*, 14, 415-422. doi: 10.1007/s11368-013-0695-1.