

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

الهام زنگنه یوسف‌آبادی<sup>۱\*</sup>، اکبر کریمی<sup>۲</sup>، علی شینی دشتگل<sup>۳</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۴</sup>، شعبان زارعی<sup>۵</sup>

<sup>۱\*</sup> محقق گروه تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران

<sup>۲</sup> محقق گروه تحقیقات به‌زراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران

<sup>۳</sup> مدیر گروه تحقیقات آبیاری و زهکشی مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران

<sup>۴</sup> استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

<sup>۵</sup> مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

### چکیده

یکی از چالش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مناطق خشک و نیمه خشک، تجمع املاح در لایه سطحی خاک است. این پژوهش به منظور بررسی تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در دو مزرعه آزمایشی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای واقع در کشت و صنعت حکیم‌فارابی خوزستان به اجرا درآمد. در این تحقیق، تغییرات شوری خاک در عمق‌های ۳۰-، ۶۰-، ۹۰- و ۶۰ سانتی‌متری و تغییرات نسبت جذب سدیم (SAR) در لایه سطحی (۳۰- سانتی‌متری) خاک در دوره رشد نیشکر (دو (T<sub>1</sub>)، چهار (T<sub>2</sub>)، شش (T<sub>3</sub>)، هشت (T<sub>4</sub>)، ده (T<sub>5</sub>) و دوازده (T<sub>6</sub>) ماه پس از شروع آبیاری) بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد هدایت الکتریکی (EC) خاک در عمق‌های ۳۰- و ۶۰- سانتی‌متری، در همه زمان‌های مورد بررسی به جز T<sub>1</sub> و T<sub>5</sub> (آبیاری سطحی در مزرعه قطره‌ای زیرسطحی)، به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری قرار می‌گیرد. بیشترین اختلاف بین مقدار EC خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با مزرعه آبیاری جویچه‌ای، مربوط به زمان‌های نمونه‌برداری T<sub>3</sub> و T<sub>4</sub> بوده است که در این زمان‌ها میانگین EC خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰- سانتی‌متری به ترتیب ۲/۴۷ و ۱/۹۸ برابر میانگین EC خاک مزرعه آبیاری جویچه‌ای بوده است. غلظت سدیم انحلال‌پذیر و مقدار SAR خاک در عمق ۳۰- سانتی‌متری خاک، در همه زمان‌ها به جز T<sub>5</sub>، در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به طور معنی‌داری بیشتر از مزرعه آبیاری جویچه‌ای و در زمان T<sub>5</sub>، به طور معنی‌داری کمتر از آبیاری جویچه‌ای بود. در زمان نمونه‌برداری T<sub>5</sub>، آبیاری سطحی در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، سبب آبسویی املاح لایه سطحی خاک و کاهش SAR خاک شد. بیشترین مقدار SAR خاک (۱۳/۱) در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مربوط به زمان نمونه‌برداری T<sub>4</sub> بود. بنابراین، در کنار استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط مناطق خشک و نیمه خشک خوزستان، نیاز است امکان آبیاری به روش سطحی نیز به منظور مدیریت شوری خاک فراهم گردد.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم آبیاری، کاتیون‌های انحلال‌پذیر خاک، نسبت جذب سدیم (SAR)

## مقدمه

نواحی خشک در طول دوره رشد در سطح خاک تجمع می‌یابد، مگر اینکه آب‌شویی کافی به واسطه بارندگی یا آبیاری سطحی تکمیلی صورت گیرد. طاهری و همکاران (Taheri *et al.*, 2017) با بررسی الگوی توزیع شوری و سدیم خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغ‌های زیتون گزارش کردند در شرایط آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در خاک، تجمع نمک و سدیم افزایش می‌یابد و انباشت سدیم و شوری در خاک در بالای قطره‌چکان بیشتر از پایین قطره‌چکان بود. شوری خاک، یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاه و از مشکلات عمده کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Shaygan and Baumgartl, 2022). در خاک‌های متأثر از نمک، افزون بر مقدار یون‌ها در فاز محلول و تبادل‌ی خاک، نوع یون نیز بر واکنش گیاه مؤثر خواهد بود. حضور یون‌ها در محلول خاک سبب ایجاد تنش اسمزی و محدود شدن جذب آب توسط گیاه می‌شود (Li *et al.*, 2020). افزون بر این، برخی از یون‌ها مانند سدیم سبب ایجاد سمیت در گیاه خواهد شد و با تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری آن مانع از رشد ریشه و نیز خروج نمک‌های اضافی از محیط ریشه می‌شود (Ibrahim *et al.*, 2020). زیادی یون سدیم اثرهای منفی مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و عملکرد گیاه دارد و جوانه‌زنی، استقرار و رشد گیاه در خاک‌های شور و سدیمی به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bello *et al.*, 2021).

نیشکر (*Saccharum cinarum* L.) گیاهی چند ساله و یکی از گیاهان مهم زراعی و صنعتی است که سطح زیرکشت آن در استان خوزستان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۹۶۴۹۶ هکتار بوده است (Ministry of Agriculture Jihad, 1401). نیشکر به‌دلیل طولانی بودن دوره رشد که طی آن گیاه جوان و حساس است، همزمانی دوره رشد آن با ماه‌های گرم سال و بالای بودن تبخیر به آب فراوانی احتیاج دارد (Zanganeh-Yusefabadi *et al.*, 2021). نیشکر همچنین گیاهی است حساس به شوری و از این رو پایش شوری و سدیمی شدن خاک به‌منظور بهبود کیفیت خاک و رشد نیشکر ضروری است (Djajadi *et al.*, 2020).

استفاده بهینه از منابع آب و مدیریت منابع خاک برای رسیدن به کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک ضروری است. بارندگی کم، تبخیر زیاد، کیفیت نامناسب آب آبیاری و انباشت نمک‌ها در خاک، به‌ویژه در لایه سطحی خاک، به‌دلیل محدودیت منابع آب و آب‌شویی‌نشدن آن‌ها از چالش‌های مهم کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است (Fu *et al.*, 2021). استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، مانند آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، یکی از روش‌های کارآمد آبیاری به‌منظور مدیریت منابع آب در نواحی خشک پیشنهاد شده است (Martínez-Gimeno *et al.*, 2018; Jiawei *et al.*, 2021). در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌دلیل کاربرد مستقیم آب در ناحیه ریشه، تبخیر از سطح خاک در مراحل اولیه رشد گیاه، رواناب و نفوذ عمقی، آب‌شویی عناصر و به‌طور کلی مصرف آب آبیاری کاهش و بهره‌وری مصرف آب در تولید محصول افزایش می‌یابد (Wang *et al.*, 2022). در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، توزیع و انباشتگی نمک‌های انحلال‌پذیر خاک در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمقی‌تر است و با افزایش فاصله از قطره‌چکان‌ها بیشتر می‌شود (Palacios-Diaz *et al.*, 2009; Zanganeh-Yusefabadi *et al.*, 2023). شوری خاک در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نباید نادیده گرفته شود زیرا در این روش آبیاری، حتی در شرایط کیفیت خوب آب، مقداری از نمک‌ها به سطح خاک منتقل می‌شود و غلظت نمک در سطح خاک به‌تدریج افزایش می‌یابد (Yang *et al.*, 2023). بنابراین، پایش و کنترل وضعیت شوری خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی خاک ضروری است (Zaman *et al.*, 2018). نتایج پژوهش تامپسون و همکاران (Thompson *et al.*, 2010) نشان می‌دهد که در نظر گرفتن مقادیر مورد نیاز آب‌شویی متعارف برای مدیریت شوری در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کافی نیست. دلیل این موضوع آن است که بخش بالایی عمق نصب قطره‌چکان‌ها آب‌شویی نمی‌شود و اگر چه شوری ناحیه ریشه در حد قابل قبول است اما نمک به‌ویژه در

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

متر در ابتدا و ۲/۲ متر در انتها) با فاصله ۵۰ متری (عمود بر جهت جویچه‌های آبیاری) به‌منظور خارج کردن آب اضافی مزرعه تعبیه شده‌اند و آب خروجی از طرف لترال‌ها به لوله‌های جمع‌کننده آب (کلکتورها) روباز و در نهایت از طریق ایستگاه‌های پمپاژ به زهکش روباز تخلیه می‌شود.

در این پژوهش، دو مزرعه مورد مطالعه در مجاور یکدیگر قرار داشتند، مساحت هر یک از این مزارع معادل ۲۱/۶ هکتار است. این مزارع دارای سابقه کشت یکسانی بودند و آبیاری آن‌ها در گذشته به‌روش آبیاری جویچه‌ای بوده است. پیش از کشت نیشکر، نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب (از ۲۲ نمونه ساده) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت. نمونه‌های خاک جمع‌آوری و پس از هواخشک‌کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد (Carter and Gregorich, 2008). نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک دو مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه نشان می‌دهد تفاوتی میان مقدار ویژگی‌های شیمیایی (pH، EC و کربن آلی) و غلظت نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در دو مزرعه وجود نداشت (جدول ۱). خاک هر دو مزرعه مورد مطالعه دارای بافت لومی رسی، آهکی با مقدار کربنات کلسیم بالا، کربن آلی کم و pH بالا بود (جدول ۱).

با توجه به کاهش منابع آب و ضرورت مصرف بهینه آب آبیاری و توسعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مزارع نیشکر در کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان، بررسی تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در دوره رشد نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و مقایسه آن با شرایط آبیاری جویچه‌ای، می‌تواند در مدیریت شوری خاک و برنامه‌ریزی‌های مربوط به آن در مزارع نیشکر مؤثر باشد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و مقایسه آن با شرایط آبیاری جویچه‌ای انتها بسته در دوره رشد نیشکر است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دو مزرعه با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتها بسته به‌عنوان شاهد، واقع در کشت و صنعت حکیم فارابی اجرا شد. این کشت و صنعت، در ۳۵ کیلومتری جاده اهواز-آبادان در شرق رودخانه کارون در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰° ۵۴' ۱" تا ۳۱° ۳' ۳۴" شمالی و طول جغرافیایی ۴۸° ۳۱' ۱۵" تا ۴۸° ۳۱' ۴۸" 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. مزارع مورد مطالعه دارای سیستم زهکشی زیرزمینی شامل لوله‌های لترال، کلکتور و ایستگاه‌های پمپاژ هستند. لترال‌ها در عمق متوسط ۲ متری از سطح زمین (۱/۸)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه

Table 1- Some physicochemical characteristics of two studied soil

غلظت قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available concentration (mg kg <sup>-1</sup> )		نیتروژن کل (گرم بر کیلوگرم) Total N (g kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی (درصد) (%)	کربنات کلسیم معادل (درصد) CCE (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m <sup>-1</sup> )	pH	کلاس بافت خاک Soil Texture class	مزرعه Field
فسفر P	پتاسیم K							
۹۲/۲	۳/۴۴	۰/۶۴	۰/۳۵	۴۷/۵	۲/۸۱	۷/۸۱	لومی رسی	آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
۸۹/۶	۳/۶۱	۰/۶۱	۰/۳۵	۴۷/۲	۲/۷۸	۷/۸۵	لومی رسی	آبیاری جویچه‌ای

سانتی متری از سطح خاک قرار داده شدند (شکل ۱) و در طرفین لوله های قطره چکان دار قلمه های گیاه نیشکر کشت شد. بر اساس نتایج پژوهش های پیشین و ارزیابی فنی و هیدرولیکی سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی در کشت نیشکر (Zanganeh-Yusefabadi *et al.*, 2021) لوله های آبدی 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 کارگذاری شدند. طول لوله های آبدی 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.

در هر دو مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی و آبیاری جویچه ای پس از آماده سازی مزارع و فاروژنی، قلمه نیشکر واریته CP69-1062 به صورت دوردیفه با فاصله ۴۰ سانتی متری از یکدیگر کشت شد. در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی لوله آبدی در وسط دو ردیف قلمه قرار داده شد. برای اجرای سیستم آبیاری قطره ای 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 گردید. با استفاده از دستگاه لوله گذار، لوله های قطره چکان دار در عمق ۲۰



شکل ۱- لوله گذاری با استفاده از دستگاه لوله گذار در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی  
Figure 1- Pipe laying using a pipe laying device in a subsurface drip irrigation field

تا ۴/۱۲ دسی زیمنس بر متر بود. هدایت الکتریکی و SAR آب آبیاری از آبان ماه (T<sub>1</sub>) تا تیرماه روند نسبتاً کاهشی (T<sub>5</sub>) داشت، و از تیر (T<sub>5</sub>) تا شهریور ماه (T<sub>6</sub>) تا حدی افزایش یافت (جدول ۲). داده های مربوط به مقدار بارندگی در ماه های مختلف در دوره پژوهش حاضر در جدول ۳ آمده است.

منبع آب آبیاری هر دو مزرعه در دوره این پژوهش یکسان و از رودخانه کارون (کانال آبیاری کشت و صنعت حکیم فارابی) بود. نتایج آنالیز ویژگی های کیفی آب آبیاری در ماه های مختلف در دوره مطالعه در جدول ۲ آمده است. هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری در دوره پژوهش در محدوده ۲/۱۶

تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در دو مزرعه مورد مطالعه  
Table 2- Chemical characteristics of irrigation water used in two studied fields

نسبت جذب سدیم SAR	غلظت آنیون (میلی گرم بر لیتر) Anion concentration (mg L <sup>-1</sup> )			غلظت کاتیون (میلی گرم بر لیتر) Cation concentration (mg L <sup>-1</sup> )			هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m <sup>-1</sup> )	pH	ماه Month
	کلر Cl <sup>-</sup>	سولفات SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	بیکربنات HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	منیزیم Mg <sup>2+</sup>	کلسیم Ca <sup>2+</sup>	سدیم Na <sup>+</sup>			
۶/۴۷	۲۰۲/۱	۶۹۶/۸	۷۷۱/۰	۴۷۳/۴	۱۰۱/۳	۲۳۳/۷	۳/۶۷	۸/۰۴	Oct
۶/۸۹	۲۱۸/۹	۸۳۳/۰	۸۶۴/۱	۵۳۰/۸	۱۱۲/۱	۲۶۴/۸	۴/۱۲	۸/۰۷	Nov
۶/۰۹	۲۲۳/۹	۵۸۲/۲	۷۰۳/۷	۴۲۹/۷	۹۷/۸	۲۱۴/۸	۳/۱۳	۷/۹۲	Dec
۶/۶۵	۲۲۱/۲	۶۶۳/۲	۷۸۴/۳	۴۸۴/۵	۹۹/۹	۲۳۴/۵	۳/۵۰	۸/۱۱	Jan
۶/۱۵	۲۱۱/۳	۵۸۴/۲	۷۲۴/۵	۴۳۰/۶	۸۸/۸	۲۲۳/۹	۳/۲۱	۷/۹۲	Feb
۵/۹۱	۲۱۶/۶	۶۰۹/۰	۶۷۳/۶	۴۱۳/۲	۸۶/۱	۲۲۷/۷	۳/۰۷	۷/۸۶	Mar
۵/۶۲	۲۲۳/۳	۶۰۵/۷	۶۵۵/۸	۳۹۹/۵	۸۸/۹	۲۳۵/۵	۳/۰۳	۷/۹۲	Apr
۵/۲۱	۲۳۱/۱	۵۷۴/۹	۶۱۵/۹	۳۶۵/۶	۸۸/۵	۲۲۵/۵	۲/۸۹	۷/۹۲	May
۴/۷۲	۲۱۳/۶	۴۵۱/۲	۵۰۸/۷	۳۰۲/۹	۷۲/۴	۱۸۸/۴	۲/۴۱	۷/۸۵	Jun
۴/۷۷	۲۰۸/۲	۳۸۵/۴	۴۶۷/۵	۲۸۳/۶	۶۰/۴	۱۶۸/۱	۲/۱۶	۷/۸۰	Jul
۵/۱۷	۲۱۴/۲	۵۲۳/۵	۵۶۹/۰	۳۴۱/۴	۸۱/۴	۱۹۵/۰	۲/۶۹	۷/۸۲	Aug
۶/۰۸	۲۱۶/۶	۶۳۱/۸	۶۹۵/۷	۴۳۱/۹	۹۲/۵	۲۲۷/۷	۳/۲۵	۷/۸۹	Sep

جدول ۳- بارش در ماه‌های مختلف در دوره اجرای پژوهش  
Table 3- Precipitation in different months during the study period

مجموع بارش	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	Dec	Nov	Oct	ماه Month
۱۰۴/۶	۰/۰	۰/۴	۰/۰	۰/۰	۶/۱	۰/۰	۸/۷	۱۴/۷	۴۳/۱	۲۸/۸	۲/۸	۰/۰	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)

روزه و در بازه زمانی (T6) هشت روزه بود (جدول ۴). نیاز آبی گیاه در هر دو روش بر اساس ضرایب گیاهی نیشکر واریته CP69-1062 بدست آمده از داده‌های لایسیمتری (جدول ۴) و تبخیر روزانه از تشت محاسبه گردید.

دور آبیاری در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در بازه‌های زمانی (T1) تا (T3) سه روزه، در بازه زمانی T4 دو روزه، در بازه زمانی T5 یک روزه و در بازه زمانی T6 دو روزه بود. در آبیاری جویچه‌ای دور آبیاری در بازه زمانی (T1) تا (T3) پانزده روزه، در بازه زمانی (T4) ده روزه، در بازه زمانی (T5) پنج

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

Table 4- Crop coefficient of sugarcane, evaporation pan coefficient Irrigation frequency and Volume of irrigation water (Sheini-Dashtgol, 2019)

Month	مزرعه	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
ضریب گیاهی ( $K_c$ )	-	۰/۷۸	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۸۸	۱/۱۴	۱/۲۳	۱/۱۴	۱/۰۴
ضریب تشت ( $K_p$ )	-	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۵
دور آبیاری (روز) Irrigation frequency (Day)	FI	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۵	۵	۸	۸
	SDI	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۲
حجم آب آبیاری Volume of irrigation water ( $m^3 ha^{-1}$ )	FI	۳۵۶۴	۲۸۵۱	۱۵۸۸	۱۸۱۰	۴۵۴۵	۲۱۴۹	۲۱۹۹	۵۹۸۳	۵۲۱۴	۶۹۵۲	۷۸۲۱	۶۰۲۴
	SDI	۳۹۷۳	۱۸۴۷	۷۳۳	۰	۵۸۴	۵۷۷	۸۳۱	۱۵۰۰	۳۰۶۷	۶۲۷۷	۴۸۳۲	۳۳۳۷

FI: آبیاری جویچه‌ای؛ SDI: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

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

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

تجزیه آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از آزمون t و با نرم‌افزار SPSS 25 برای هر یک از زمان‌های نمونه‌برداری به صورت جداگانه اجرا شد. میانگین داده‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

## نتایج و بحث

### حجم آب آبیاری مصرفی

حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)، در هر ماه، در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. در دوره بررسی مهر ماه ۱۴۰۰ تا شهریور ماه ۱۴۰۱، حجم آب مصرفی در مزرعه آبیاری شده به روش قطره‌ای زیرسطحی به طور چشم‌گیری کمتر از مزرعه آبیاری جویچه‌ای بود. با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک خوزستان، به دلیل افزایش چشمگیر شدت بادهای گرم و جهت جلوگیری از شیوع آفات (آفت سوسک طوقه‌خوار نیشکر) در

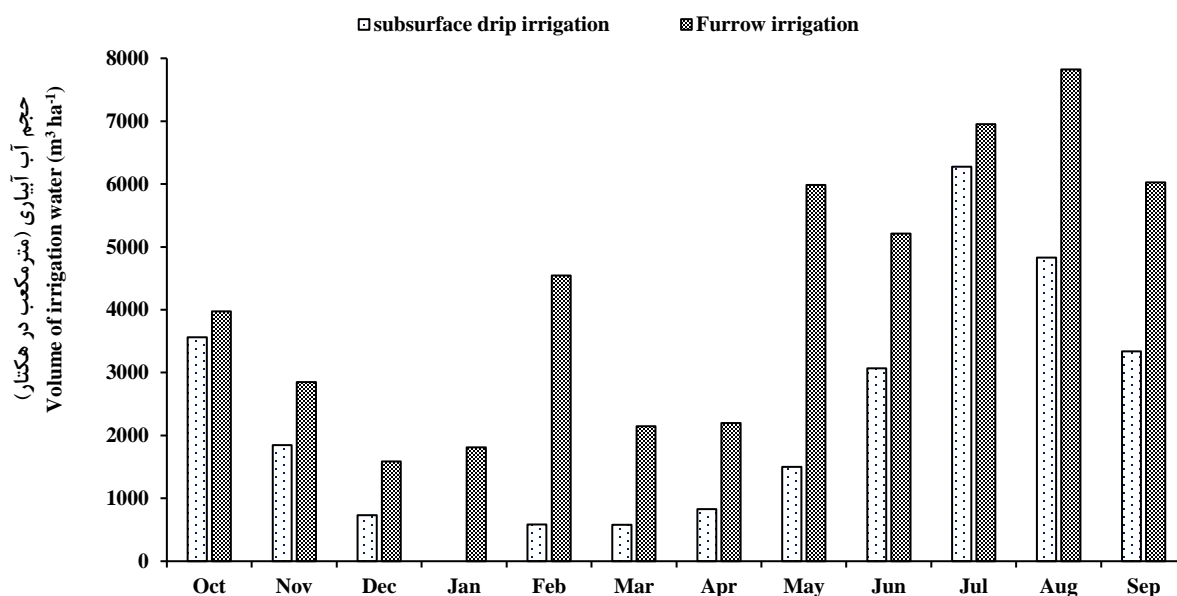
در این پژوهش، جهت ارزیابی تغییرات شوری خاک در هر دو مزرعه آزمایشی، در طی شش مرحله با فاصله‌های زمانی دو ماه از خاک نمونه‌برداری شد. اولین مرحله نمونه‌برداری خاک در آبان ۱۴۰۰ ( $T_1$ ) و پس از آن در دی‌ماه ۱۴۰۰ ( $T_2$ )، اسفند ۱۴۰۰ ( $T_3$ )، اردیبهشت ۱۴۰۱ ( $T_4$ )، تیرماه ۱۴۰۱ ( $T_5$ ) و شهریور ماه ۱۴۰۱ ( $T_6$ ) نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. با توجه به اینکه مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شامل نه قطعه آبیاری بود (هر قطعه با مساحتی معادل ۲/۴ هکتار)، در هر یک از قطعه‌های آبیاری‌های فرد مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (قطعه‌های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹)، در یک خط لترال و در جویچه‌های متناظر با آن‌ها در مزرعه شاهد، از چهار نقطه (۶۰ متر ابتدایی، ۱۲۰-۶۰ متر از ابتدا، ۱۸۰-۱۲۰ متر از ابتدا و ۲۴۰-۱۸۰ متر از ابتدا) نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری خاک از عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری صورت گرفت. هدایت الکتریکی عصاره اشباع در تمامی عمق‌ها و غلظت کلسیم، سدیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع، در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 2020). نسبت جذب سدیم (SAR) و سدیم تبادلی (ESP) خاک با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

هکتار) و اردیبهشت ۱۴۰۱ (۵۹۸۳ مترمکعب در هکتار) به ترتیب ۷/۷۸ و ۳/۹۹ برابر حجم آب مصرفی در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود. از میان ماه‌های مختلف سال، کمترین اختلاف حجم آب مصرفی در دو مزرعه مربوط به تیرماه ۱۴۰۱ بود که در این ماه، به دلیل آبیاری سطحی با هیدروفلوم در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، حجم آب مصرفی در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تنها ۹/۷ درصد کمتر از حجم آب مصرفی در مزرعه آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۲).

اثر خشک شدن سطح خاک، در زمان ده ماه پس از کشت (در تیرماه ۱۴۰۱) در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دو نوبت آبیاری سطحی متوالی با استفاده از هیدروفلوم صورت گرفت که متوسط آب مصرفی در هر نوبت آبیاری سطحی ۱۷۵۰ مترمکعب در هکتار بود.

بیشترین اختلاف حجم آب مصرفی در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مربوط به ماه‌های دی و بهمن ۱۴۰۰ و اردیبهشت ۱۴۰۱ بود، به طوری که در مزرعه آبیاری جویچه‌ای حجم آب مصرفی در بهمن ۱۴۰۰ (۴۵۴۵ مترمکعب در



شکل ۲- حجم آب آبیاری در هر ماه، در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهایی

Figure 2- Volume of irrigation water at different month in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields

نشان داد که اثر روش آبیاری مزرعه بر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری در زمان‌های  $T_4$ ،  $T_2$  و  $T_6$  معنی‌دار بود، در حالی که اثر آن بر هدایت الکتریکی خاک در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری در همه زمان‌های بررسی شده معنی‌دار نبود (جدول ۵).

## هدایت الکتریکی خاک

نتایج آنالیز آماری داده‌ها بر اساس آزمون  $t$  نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر تغییرات هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری در همه زمان‌های نمونه‌برداری به جز  $T_1$  و  $T_5$  معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه آماری داده‌ها



جدول ۵- مقایسه آماری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، در زمان و عمق های مختلف نمونه برداری در دو مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی و جویچه ای انتهایی بر اساس آزمون t

Table 5- Statistical comparison of soil electrical conductivity, at different sampling times and depths in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields based on t test

t			درجه آزادی df	زمان نمونه برداری Sampling time
عمق ۹۰-۶۰ سانتی متری 60-90 cm depth	عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری 30-60 cm depth	عمق ۳۰-۰ سانتی متری 0-30 cm depth		
-۱/۵۴ <sup>ns</sup>	-۲/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۳ <sup>ns</sup>	۸	T <sub>1</sub>
-۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۲/۵۲*	۶/۱۸**	۸	T <sub>2</sub>
-۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۱/۸۴ <sup>ns</sup>	۵/۳۲**	۸	T <sub>3</sub>
-۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۲/۲۳*	۴/۲۱**	۸	T <sub>4</sub>
-۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۱/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۹۴ <sup>ns</sup>	۸	T <sub>5</sub>
-۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۳/۳۶*	۴/۴۳**	۸	T <sub>6</sub>

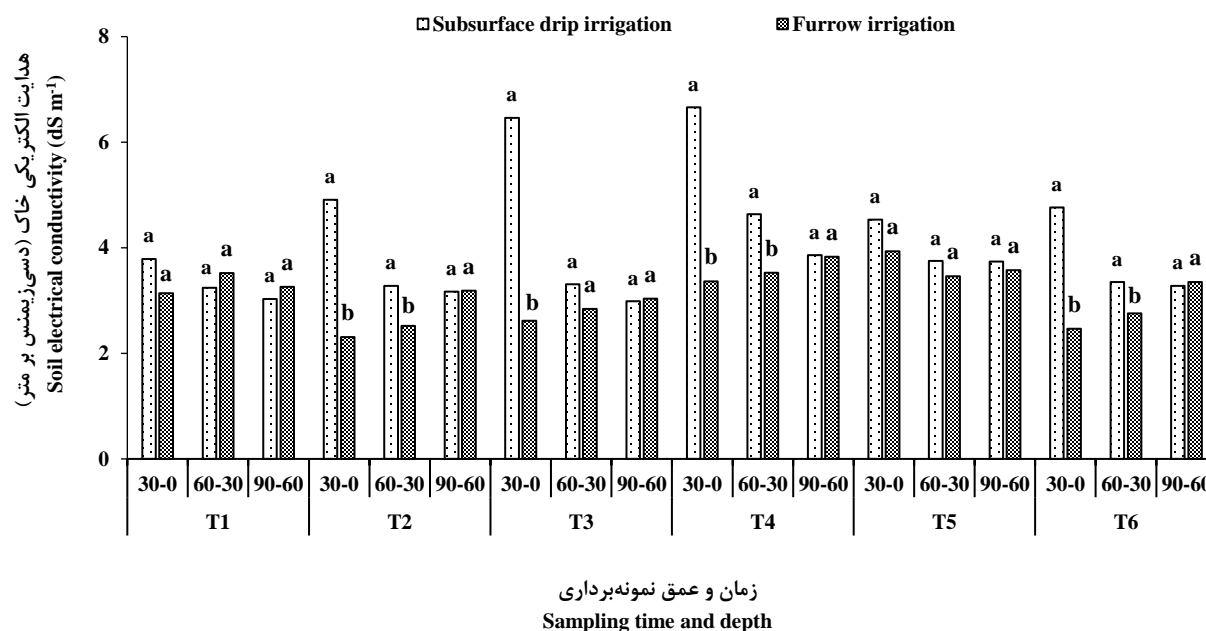
<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد  
T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub>، T<sub>3</sub>، T<sub>4</sub>، T<sub>5</sub> و T<sub>6</sub>: به ترتیب زمان نمونه برداری دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده ماه پس از کشت

نتایج روند تغییرات هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در زمان های مختلف نمونه برداری نشان داد که در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی از زمان نمونه برداری T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub> در هر سه عمق نمونه برداری شده، به ویژه عمق ۰-۳۰ سانتی متری، روند افزایشی داشت و بیشترین مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی مربوط به زمان T<sub>4</sub> (هشت ماه پس از کشت در اردیبهشت ماه) بود. در زمان T<sub>5</sub> در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی، در مقایسه با زمان T<sub>4</sub>، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری روند کاهشی داشته است. این نتیجه می تواند به دلیل آبیاری به روش سطحی در این مزرعه در تیرماه (پیش از زمان نمونه برداری T<sub>5</sub>) و به دنبال آن آبشویی نمک ها (کاهش چشم گیر غلظت کاتیون های محلول خاک نسبت به زمان T<sub>4</sub>) و در نتیجه کاهش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک باشد (شکل ۳). پس از آن نیز در زمان های نمونه برداری T<sub>6</sub> مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق های بررسی شده تقریباً ثابت و برابر با T<sub>5</sub> بود و تغییرات چندانی مشاهده نشد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی آب آبیاری در زمان های T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub> روند نسبتاً کاهشی داشت (جدول ۲)، بنابراین می توان گفت افزایش هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی متری) در این زمان های اندازه گیری تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار نگرفته و تحت تأثیر روش آبیاری است. بر اساس نتایج به دست آمده، می توان گفت هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متری تحت تأثیر بارندگی روند کاهشی پیدا نکرده است. البته با توجه به توزیع و مقدار بارندگی در زمان های T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub> (جدول ۳) این نتیجه قابل انتظار بود. نتایج پژوهش های پیشین نیز نشان داده است که در شرایط آبیاری قطره ای زیرسطحی، حتی در شرایط کیفیت خوب آب، مقداری املاح به خاک منتقل و سبب افزایش تدریجی غلظت نمک در سطح خاک و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک می شود (Zaman et al., 2018). البراعی و رفیع (Rafie, 2017) و El-Boraie & نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده اند. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد در همه زمان های نمونه برداری به جز T<sub>1</sub> و T<sub>5</sub>، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متری در مزرعه آبیاری قطره ای زیرسطحی به طور معنی داری بیش تر از مزرعه آبیاری جویچه ای بود (شکل ۳). این نتایج نشان می دهد که در دو ماه ابتدایی آبیاری مزرعه به روش قطره ای زیرسطحی (T<sub>1</sub>)، تجمع



### تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

املاح در لایه سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متری) چندان قابل توجه نبود. در پژوهش حاضر، بیشترین اختلاف بین مقدار هدایت الکتریکی در مزرعه آبیاری شده به روش قطره‌ای زیرسطحی با مزرعه آبیاری شده به روش جویچه‌ای انتهابسته، مربوط به زمان‌های نمونه‌برداری T<sub>3</sub> (شش ماه پس از کشت) و T<sub>4</sub> (هشت ماه پس از کشت) است. بدین ترتیب که میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، زمان‌های T<sub>3</sub> و T<sub>4</sub> به ترتیب ۲/۴۷ و ۱/۹۸ برابر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در مزرعه آبیاری جویچه‌ای انتهابسته است (شکل ۳). این نتیجه را می‌توان به انباشت املاح انحلال‌پذیر از جمله سدیم، کلسیم و منیزیم و افزایش غلظت آن‌ها در لایه سطحی خاک (شکل‌های ۴ و ۵) به دلیل افزایش مقدار آب آبیاری مصرفی (شکل ۲)، گرم شدن هوا و افزایش تبخیر نسبت داد.



شکل ۳- مقایسه میانگین هدایت الکتریکی (EC) خاک در زمان‌های مختلف در سه عمق نمونه‌برداری در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهابسته

Figure 3- Mean comparison of the soil electrical conductivity (EC) at different times at three sampling depths in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان و در هر عمق نمونه‌برداری بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری (P<0.05) دارند. T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub>، T<sub>3</sub>، T<sub>4</sub>، T<sub>5</sub> و T<sub>6</sub>: به ترتیب زمان نمونه‌برداری دو، چهار، شش، ده و دوازده ماه پس از کشت

### سدیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک

نتایج آنالیز آماری داده‌ها بر اساس آزمون t نشان می‌دهد اثر روش آبیاری مزرعه بر غلظت سدیم محلول خاک در همه زمان‌های نمونه‌برداری، معنی‌دار است (جدول ۶). نتایج همچنین نشان می‌دهد اثر روش آبیاری مزرعه بر غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در همه زمان‌های نمونه‌برداری به جز T<sub>1</sub> و T<sub>5</sub> و اثر آن بر نسبت جذب سدیم (SAR) در همه زمان‌های نمونه‌برداری به جز T<sub>1</sub> معنی‌دار بود (جدول ۶).

نتایج تحقیق نشان می‌دهد روند تغییرات غلظت سدیم محلول خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مشابه با روند تغییرات هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است (شکل ۴). بدین ترتیب که از زمان نمونه‌برداری T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub> غلظت سدیم محلول خاک روند افزایشی داشته است و در زمان T<sub>5</sub>، در مقایسه با زمان T<sub>4</sub>، غلظت سدیم محلول خاک کاهش یافته است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد در همه زمان‌های نمونه‌برداری به جز T<sub>5</sub>، غلظت سدیم محلول خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده است تا در مزرعه آبیاری جویچه‌ای، در حالی که در زمان T<sub>5</sub> میانگین غلظت سدیم محلول خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری کمتر از

میانگین غلظت سدیم محلول خاک در مزرعه آبیاری جویچه‌ای است (شکل ۳). این نتیجه را می‌توان به آبیاری سطحی مزرعه با هیدروفلوم در تیرماه (شکل ۲) (پیش از زمان نمونه‌برداری T<sub>5</sub>) و به‌دنبال آن آبشویی سدیم و خارج شدن آن از خاک نسبت داد. این نتایج نشان‌دهنده اثر چشمگیر آبیاری سطحی با هیدروفلوم، در آبشویی یون سدیم و سهولت خارج شدن آن از خاک سطحی در اثر آبشویی است. به‌طور مشابه با هدایت الکتریکی خاک، بیشترین اختلاف غلظت سدیم محلول خاک در دو مزرعه مورد مطالعه مربوط به زمان T<sub>4</sub> (هشت ماه پس از کشت) است. در این زمان نمونه‌برداری، میانگین غلظت سدیم محلول خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۲/۱ برابر غلظت سدیم محلول خاک در مزرعه آبیاری جویچه‌ای انتهابسته است (شکل ۴). نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد آبیاری سطحی پیش از زمان نمونه‌برداری T<sub>5</sub> در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، غلظت سدیم را بیشتر از کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلسیم و منیزیم) تحت تاثیر قرار داده است و کاهش غلظت سدیم ۷۷/۲ درصد) محلول خاک در زمان T<sub>5</sub> نسبت به زمان T<sub>4</sub>، در اثر آبیاری سطحی، در مقایسه با کاهش غلظت کلسیم ۳۹/۲ درصد) و منیزیم (۲۰/۲ درصد) محلول خاک در این بازه زمانی بسیار چشم‌گیرتر است (شکل‌های ۴ و ۵).

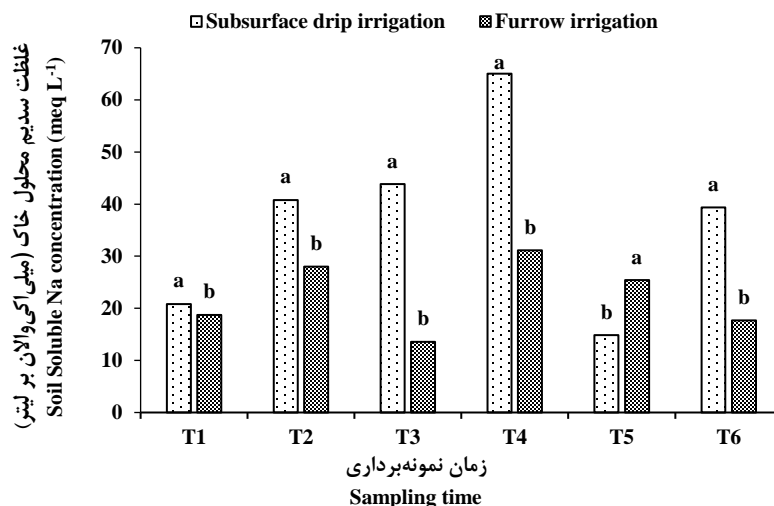
جدول ۶- مقایسه آماری کاتیون‌های انحلال‌پذیر و نسبت جذب سدیم (SAR) خاک، در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهابسته بر اساس آزمون t

Table 6- Statistical comparison of soluble cations and sodium adsorption ratio (SAR) of the soil, at different sampling times in two subsurface drip irrigation and furrows irrigation fields with based on t test

t				درجه	زمان
نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio (SAR)	منیزیم محلول Soluble Na	کلسیم محلول Soluble Na	سدیم محلول Soluble Na	آزادی df	نمونه‌برداری Sampling time
۱/۳۴ <sup>NS</sup>	۰/۴۱ <sup>NS</sup>	۱/۴۹ <sup>NS</sup>	۳/۸۹ <sup>**</sup>	۸	T <sub>1</sub>
۴/۰۵ <sup>**</sup>	۳/۴۹ <sup>*</sup>	۲/۲۹ <sup>*</sup>	۸/۸۸ <sup>**</sup>	۸	T <sub>2</sub>
۱۰/۶۵ <sup>**</sup>	۲/۹۳ <sup>*</sup>	۲/۰۸ <sup>*</sup>	۶/۲۹ <sup>**</sup>	۸	T <sub>3</sub>
۲/۹۰ <sup>*</sup>	۴/۴۳ <sup>**</sup>	۵/۲۲ <sup>**</sup>	۶/۳۵ <sup>**</sup>	۸	T <sub>4</sub>
-۵/۰۲ <sup>**</sup>	۰/۴۳ <sup>NS</sup>	۰/۹۹ <sup>NS</sup>	-۲/۶۸ <sup>*</sup>	۸	T <sub>5</sub>
۱۹/۴۴ <sup>**</sup>	۹/۵۴ <sup>**</sup>	۱۰/۵۳ <sup>**</sup>	۱۶/۵۹ <sup>**</sup>	۸	T <sub>6</sub>

<sup>NS</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد  
T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub>، T<sub>3</sub>، T<sub>4</sub>، T<sub>5</sub>، T<sub>6</sub>: به ترتیب زمان نمونه‌برداری دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده ماه پس از کشت

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر



شکل ۴- مقایسه میانگین غلظت سدیم محلول خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهابسته

Figure 4- Mean comparison of the Na concentration in the soil solution at different sampling times, in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) دارند.  $T_6$  و  $T_5$ ،  $T_4$ ،  $T_3$ ،  $T_2$ ،  $T_1$  به ترتیب زمان نمونه‌برداری دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده ماه پس از کشت

خاک (۱۳/۱) مربوط به زمان نمونه‌برداری  $T_4$  بود. با توجه به اینکه SAR آب آبیاری در زمان‌های  $T_1$  تا  $T_4$  تا حدی کاهش یافت (جدول ۲)، بنابراین می‌توان گفت افزایش SAR خاک در این زمان‌های اندازه‌گیری، تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار نگرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در این زمان‌های اندازه‌گیری، SAR خاک تحت تأثیر بارندگی کاهش پیدا نکرده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در همه زمان‌های نمونه‌برداری، به جز  $T_5$ ، مقدار SAR خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مزرعه آبیاری جویچه‌ای انتهابسته بود، در حالی که در زمان  $T_5$  میانگین SAR خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری کمتر از مزرعه آبیاری جویچه‌ای انتهابسته بود، دلیل آن دو نوبت آبیاری به‌روش سطحی (به‌منظور مبارزه با آفت سوسک طوقه‌خوار نیشکر) در تیرماه ۱۴۰۱ بود. آبیاری سطحی در این مزرعه سبب شسته‌شدن املاح تجمع‌یافته در لایه سطحی خاک و کاهش چشمگیر SAR خاک شده است (شکل ۶). بر اساس نتایج به‌دست آمده و با توجه به

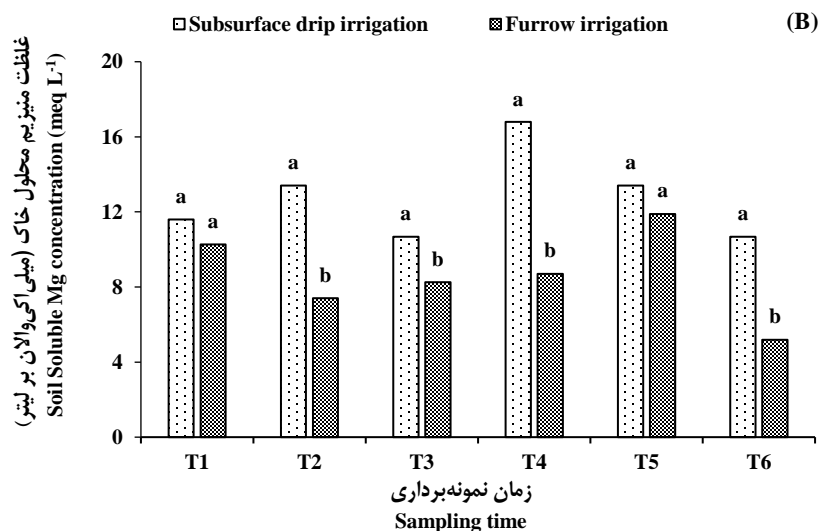
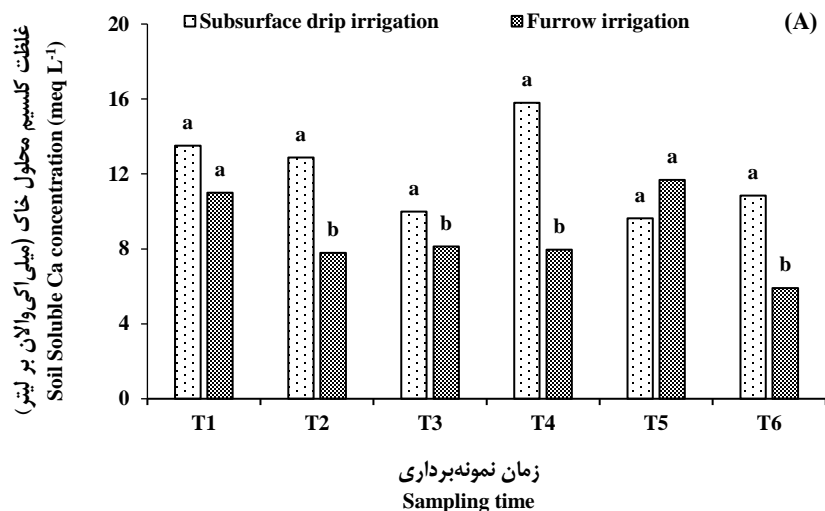
بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، در همه زمان‌های نمونه‌برداری غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از مزرعه آبیاری جویچه‌ای بود، اگر چه این اختلاف در زمان‌های نمونه‌برداری  $T_1$  و  $T_5$  از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۵). به‌طور مشابه با غلظت سدیم محلول خاک، بیشترین اختلاف غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در دو مزرعه مورد مطالعه، مربوط به زمان  $T_4$  (هشت‌ماه پس از کشت) بود. در این زمان نمونه‌برداری، میانگین غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۱/۹۵ و ۱/۹۳ برابر مقادیر آن‌ها در مزرعه آبیاری جویچه‌ای انتهابسته بود (شکل ۵).

### نسبت جذب سدیم (SAR)

نتایج تحقیق نشان داد که روند تغییرات نسبت جذب سدیم (SAR)، در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مشابه روند تغییرات غلظت سدیم محلول خاک بود (شکل‌های ۴ و ۶). بیش‌ترین مقدار SAR

در بازه زمانی خرداد تا شهریور ماه است، بنابراین نیاز خواهد بود در مدیریت شوری خاک در مزارع نیشکر دارای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به این موضوع توجه شود.

خاک (۱۳/۱) در اردیبهشت ماه، می‌توان گفت که خطر سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و با شرایط پژوهش حاضر وجود دارد. از این رو با توجه به اینکه نیشکر گیاهی حساس به شوری است و دوره رشد سریع نیشکر



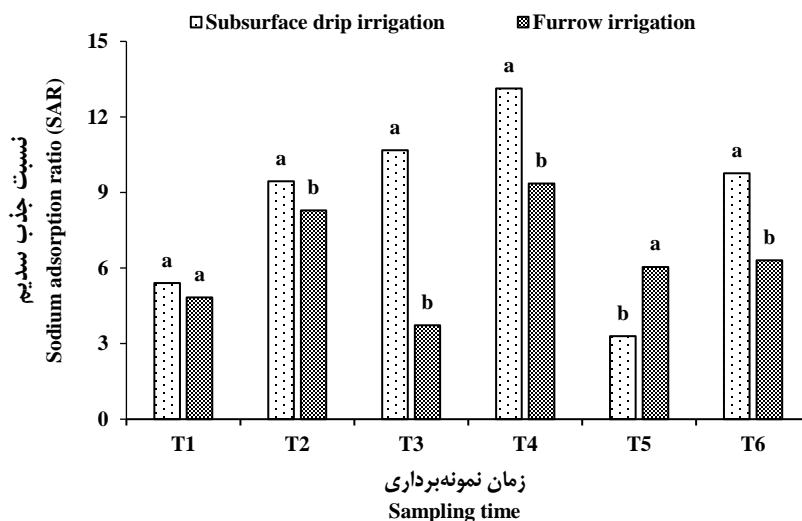
شکل ۵- مقایسه میانگین غلظت کلسیم (A) و منیزیم (B) محلول خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهابسته

Figure 5- Mean comparison of the Ca (A) Mg (B) concentration in the soil solution at different sampling times, in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری (P<0.05) دارند.

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> و T<sub>6</sub>: به ترتیب زمان نمونه‌برداری دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده ماه پس از کشت

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر



شکل ۶- مقایسه میانگین نسبت جذب سدیم (SAR) خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای انتهابسته

Figure 6- Mean comparison of the sodium adsorption ratio (SAR) at different sampling times, in two subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) دارند.  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  و  $T_6$ : به ترتیب زمان نمونه‌برداری دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده ماه پس از کشت

زمان هشت ماه پس از کشت در محدوده SAR خاک‌های شور و سدیمی قرار دارد که در اثر آبیاری سطحی مقدار آن به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته است. با توجه به نتایج این پژوهش، نیاز است در کنار استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط مناطق خشک و نیمه خشک، امکان آبیاری به‌روش سطحی نیز به‌منظور مدیریت شوری و سدیمی شدن خاک فراهم گردد. همچنین، با توجه به اینکه نیشکر گیاهی چندساله است، ضروری است در مدیریت مزارع بازرویی نیشکر، آبشویی نمک‌های خاک برای کنترل شوری مورد توجه قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد در همه زمان‌های نمونه‌برداری، هدایت الکتریکی و غلظت کاتیون‌های محلول (کلسیم، منیزیم و سدیم) و SAR خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشتر مزرعه آبیاری جویچه‌ای بود. تغییرات غلظت شوری و سدیم خاک در این پژوهش نشان‌دهنده افزایش هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم (SAR) خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در لایه سطحی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)، با گذشت زمان است. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که SAR خاک تنها در

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت توسعه نیشکر، کشت و صنعت حکیم فارابی و مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر برای حمایت مالی و مساعدت در مراحل مختلف این تحقیق قدردانی می‌کنند.

## منابع

- Bello, S. K., Alayafi, A. H., Al-Solaimani, S. G. & Abo-Elyousr, K. A. (2021). Mitigating soil salinity stress with gypsum and bio-organic amendments: A review. *Agronomy*, 11(9), pp. 1735.
- Carter, M. R. & Gregorich, E. G. (2008). Soil sampling and methods of analysis, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Djajadi, D., Syaputra, R., Hidayati, S. N., & Khairiyah, Y. (2020). Effect of vermicompost and nitrogen on N, K, Na uptakes and growth of sugarcane in saline soil. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 42(1), pp. 110-119.
- Fu, B., Li, Z., Gao, X., Wu, L., Lan, J. & Peng, W. (2021). Effects of subsurface drip irrigation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and semi-arid areas of northern China. *Applied Soil Ecology*, 159, pp. 103859.
- Ibrahim, M., Mahmoud, E. & Ibrahim, D. (2020). Assessing the impact of water treatment residuals and rice straw compost on soil physical properties and wheat yield in saline sodic Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(18), pp. 2388-2397.
- Jiawei, Y. A. O., Yongqing, Q. I., Huaihui, L. I. & Yanjun, S. H. E. N. (2021). Water saving potential and mechanisms of subsurface drip irrigation: A review. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29(6): pp. 1076-1084.
- Martínez-Gimeno, M. A., Bonet, L., Provenzano, G., Badal, E., Intrigliolo, D. S. & Ballester, C. (2018). Assessment of yield and water productivity of clementine trees under surface and subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 206, pp. 209-216.
- Ministry of Agriculture Jihad (1401). Agriculture Statistics, Planning and Economic Deputy, Statistics and Information Office, Isfahan. (In Persian).
- Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemical Acta*, 27, pp. 31-36.
- Palacios-Díaz, M. P., Mendoza-Grimón, V., Fernández-Vera, J. R., Rodríguez-Rodríguez, F., Tejedor-Junco, M. T., & Hernández-Moreno, J. M. (2009). Subsurface drip irrigation and reclaimed water quality effects on phosphorus and salinity distribution and forage production. *Agricultural Water Management*, 96(11), pp. 1659-1666.
- Rafie, R. M. & El-Boraie, F. M., (2017). Effect of drip irrigation system on moisture and salt distribution patterns under north Sinai conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 57(3), pp. 247-260.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In *Methods of Soil Analysis (Part 3)*. Edited by Sparks, D. L. Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.
- Shaygan, M. & Baumgartl, T. (2022). Reclamation of salt-affected land: A review. *Soil Systems*, 6(3), pp. 61.
- 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), pp. 227-245.
- Sheini-Dashtgol, A. (2019). *Principles of applied water management in sugarcane*, Sugarcane Research and Training Institute, 144 pp.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (Eds.). (2020). *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- 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), pp. 127-141. (In Persian).
- Thompson, T. L., Roberts, T., Lazarovitch, N., (2010, August). Managing soil surface salinity with subsurface drip irrigation. In *19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. Brisbane, Australia
- Wang, H., Wang, N., Quan, H., Zhang, F., Fan, J., Feng, H., Cheng, M., Liao, Z., Wang, X. & Xiang, Y. (2022). Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 269, pp. 107645.

## تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای نیشکر

- 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, pp. 112181.
- Zaman, M., Shahid, S. A. & Heng, L. (2018). Irrigation systems and zones of salinity development. In *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 91-111). Springer, Cham.
- Zanganeh Yusefabadi, E., Hooshmand, A., Naseri, A., Boroomand-Nasab, S., & Parvizi, M. (2021). The effect of different management of sub-surface irrigation on water productivity, yield and yield component of sugarcane (var. CP69-1062). *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(1), pp. 1-15. (in Persian).
- Zanganeh-Yusefabadi, E., Naseri, A., Hooshmand, A., & BoroomandNasab, S. (2023). The Effect of installation depth and discharge of dripper on soil salinity distribution in subsurface drip irrigation of sugarcane. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(8), pp. 1159-1177. (in Persian).



**Original Research**

## **Changes in soil salinity and sodicity under subsurface drip irrigation and furrow irrigation of sugarcane**

**Elham Zanganeh-Yusefabadi<sup>1\*</sup>, Akbar Karimi<sup>2</sup>, Ali Sheini-Dashtegol<sup>3</sup>, Abdali Naseri<sup>4</sup>, Shaban Zarei<sup>5</sup>**

**\* Corresponding Author:** Researcher, Department of Irrigation and Drainage, Khuzestan sugarcane research and training institute, Ahvaz, Iran

**Received:** 5 April 2024, **Accepted:** 30 June 2024

**Email:** ez1357h@yahoo.com

**[https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.365371.1577](https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.365371.1577)**

### **Extended Abstract**

#### **Abstract**

Accumulation of solutes in the surface layer of soil is one of the challenges of subsurface drip irrigation, especially in arid and semi-arid regions. This study was carried out in order to investigate soil salinity and sodicity in two experimental fields of subsurface drip irrigation (with a drip irrigation depth of 20 cm) and furrow irrigation located in the Khuzestan Hakim-Farabi Agro-Industry. In this study, the changes in soil salinity at the depths of 0-30, 30-60, and 60-90 cm and sodium absorption ratio (SAR) in the surface layer (0-30 cm) were investigated during the growth period of sugarcane (2 (T<sub>1</sub>), 4 (T<sub>2</sub>), 6 (T<sub>3</sub>), 8 (T<sub>4</sub>), 10 (T<sub>5</sub>) and 12 (T<sub>6</sub>) months after the start of irrigation). The average data were compared using the t-test at the 5% probability level. The results indicated that the soil electrical conductivity (EC) at both the depths of 0-30 and 30-60 cm, in all the times, except for 2 (T<sub>1</sub>) and 10 (T<sub>5</sub>) months after the start of irrigation (surface irrigation + subsurface drip field), was significantly affected by the irrigation method. The highest difference between the soil EC in the subsurface drip irrigation field and the furrow irrigation field was recorded at the T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> sampling times. In these sampling times the average soil EC in the subsurface drip irrigation field at a depth of 0-30 cm was 1.47 and 1.98 times greater than that of furrow irrigation field. In all the sampling times, except for T<sub>5</sub>, the soil SAR at depth of the 0-30 cm, in the subsurface drip irrigation field, was significantly higher than that in the furrow irrigation field; and in the T<sub>5</sub> sampling time, it was significantly lower than that in the furrow irrigation. At the T<sub>5</sub> sampling time, surface irrigation in the sub-surface drip irrigation field led to leaching of accumulated salts in the surface layer of the soil and reduced the soil SAR. The highest of soil SAR (13.1) value in subsurface drip irrigation field was related to T<sub>4</sub> sampling time. Therefore, it seems that besides using a subsurface drip irrigation system in arid and semi-arid regions, it is necessary to provide the possibility of surface irrigation in order to manage soil salinity and sodicity.

## **Introduction**

In arid and semi-arid regions, optimal use of water resources and management of soil resources is necessary to achieve sustainable agriculture. Accumulation of solutes in the surface layer of the soil is one of the challenges of subsurface drip irrigation, especially in arid and semi-arid regions. In the drip irrigation system, the distribution and accumulation of soluble soil salts in the surface layer of the soil is more than that in the deeper layers and it increases with increasing distance from the drippers. Soil salinity in the subsurface drip irrigation method should not be ignored, because in this irrigation method, even in good water quality conditions, some amount of water is transferred to the soil and the salt concentration on the soil surface gradually increases. Therefore, it is necessary to monitor and control the soil salinity in subsurface drip irrigation conditions. This study was carried out in order to investigate the soil salinity and sodicity status under subsurface drip irrigation and furrow irrigation during sugarcane growth period.

## **Methodology**

This study was carried out in two experimental fields of subsurface drip irrigation (with a drip irrigation depth of 20 cm) and furrow irrigation located in the Khuzestan Hakim-Farabi Agro-Industry. In this study, the changes in soil salinity at the depths of 0-30, 30-60, and 60-90 cm and sodium absorption ratio (SAR) in the surface layer (0-30 cm) were investigated during the growth period of sugarcane (2 (T1), 4 (T2), 6 (T3), 8 (T4), 10 (T5) and 12 (T6) months after the start of irrigation). The average data were compared using the t-test at the 5% probability level.

## **Results and Discussion**

The results showed that at all sampling times, electrical conductivity (EC), concentration of soluble cations (Na, Ca and Mg) and SAR of the soil in the subsurface drip irrigation field were more than the furrow irrigation field. The results indicated that the soil electrical conductivity (EC) at both the depths of 0-30 and 30-60 cm, in all investigated times except 2 and 10 months after the start of irrigation (surface irrigation in subsurface drip field), was significantly affected by the irrigation method. The results of this research showed that in all sampling times of salinity, the concentration of soluble cations (Na, Ca and Mg) and SAR of the soil in the subsurface drip irrigation field was higher than that in the furrow irrigation field. The greatest difference in the soluble concentration of Na, Ca and Mg in the soil in the two studied fields was related to the T<sub>4</sub> (8 months after cultivation). At this sampling time, the average soil soluble concentration of Na, Ca and Mg in the subsurface drip irrigation field was 2.1, 1.95 and 1.93 times their values in the furrow irrigation field, respectively. In all sampling times except T<sub>5</sub>, the soil SAR at the 0-30 cm depth, in the subsurface drip irrigation field, was significantly higher than in the furrow irrigation field, and in T<sub>5</sub> sampling time, it was significantly lower than furrow irrigation. At the T<sub>5</sub> sampling time, surface irrigation in the sub-surface drip irrigation field led to leaching of accumulated salts especially Na in the surface layer of the soil and reduced the soil SAR.

## **Conclusions**

According to the results of this study, it seems that besides using a subsurface drip irrigation systems in arid and semi-arid regions (like Khuzestan Province), it is necessary to provide the possibility of surface irrigation in order to manage soil salinity and sodicity. Moreover, considering that sugarcane is a perennial plant, it is necessary to pay attention to soil solute leaching in order to control salinity in the management of sugarcane fields.

## **Acknowledgement**

The authors of the article thank and appreciate the Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute for their financial support and assistance in the various stages of this research.

**Keywords:** Irrigation system, Soil soluble cations, Sodium absorption ratio (SAR)