مقایسه فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای

اکبر کریمی[1*]، الهام زنگنه یوسف‌آبادی[2] و سعید صفیرزاده[3]

۱*- نویسنده مسئول، محقق شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه تحقیقات به‌زراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران (a.karimi@iscrti.ir)

۲- محقق آبیاری و زهکشی، گروه تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران

۳- دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی خوزستان، اهواز، ایران

دریافت: بازنگری: پذیرش:

چکیده

هدف از این پژوهش مقایسه فراهمی فسفر و پتاسیم خاک و جذب آن‌ها در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای بود. این پژوهش در دو مزرعه نیشکر (آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای)، واقع در کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان انجام شد. در این مطالعه نمونه‌برداری خاک و گیاه در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت انجام شد و غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، وزن خشک گیاه و غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت بررسی شد. همچنین مقدار جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر محاسبه شد. آنالیز آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون t انجام شد. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در زمان دو ماه پس از کشت، غلظت فسفر قابل دسترس خاک (٥٦/٤ درصد)، غلظت و جذب فسفر (به‌ترتیب ١٣/٦ و ١٩/٢ درصد) و پتاسیم (به‌ترتیب ١٧/٢ و ٢٢/٩ درصد) در اندام هوایی نیشکر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. همچنین در زمان چهار ماه پس از کشت، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، غلظت و جذب فسفر (١٤/٨ درصد) و پتاسیم (٨/٧ درصد) در اندام هوایی نیشکر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در زمان‌های ابتدایی رشد گیاه (دو و چهار ماه پس از کشت)، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر، فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه نیشکر بهبود پیدا می‌کند.

کلید واژه‌ها: تغذیه نیشکر، روش آبیاری، فراهمی عناصر غذایی.

مقدمه

یکی از چالش‌های مهم کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود منابع آب می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک مورد توجه قرار گرفته است (Grecco et al., 2019). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد مستقیم آب و عناصر غذایی در ناحیه توسعه ریشه، کاهش آبشویی و هدررفت عناصر غذایی و بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌تواند در بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مؤثر باشد (Mahesh et al., 2015; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

نیشکر (Saccharum cinarum L.) گیاهی چند ساله و یکی از گیاهان مهم زراعی و صنعتی در استان خوزستان و کشور می‌باشد، که به‌دلیل زیست توده بسیار بالای آن نیاز زیادی به عناصر غذایی دارد. فسفر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه نیشکر است که نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاه به‌ویژه در توسعه ریشه، پنجه‌زنی و راتون‌پذیری نیشکر دارد (Zambrosi et al., 2017; Boschiero et al., 2019; Zambrosi, 2021). فسفر همچنین برای تقسیم سلولی، تشکیل تارهای کشنده، رشد و توسعه ریشه نیشکر ضروری است. افزون بر این ساخت شکر در فرآیند فتوسنتز، تشکیل ساکارز از گلوکز و فروکتوز و انتقال آن‌ها، توسط ترکیبات فسفاته تسهیل می‌شود (Zhu et al., 2018). پتاسیم یکی دیگر از عناصر غذایی پرمصرف ضروری در رشد و متابولیسم نیشکر است. پتاسیم در فعالیت آنزیمی، جذب آب و باز شدن روزنه‌های برگ و حفظ تورژسانس سلولی و همچنین برای سنتز و انتقال پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و انباشت ساکارز در نیشکر ضروری است (Sardans, and Peñuelas, 2021). بنابراین آگاهی از وضعیت فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند به مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه نیشکر، کمک کند (Flores et al. 2020).

الگوی توزیع رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سیستم آبیاری جویچه‌ای متفاوت می‌باشد. بنابراین

توزیع ریشه گیاه و همچنین توزیع عناصر غذایی در خاک در این دو روش آبیاری متفاوت می‌باشد (Wu et al., 2019; Quach et al., 2022). جذب عناصر غذایی توسط گیاه و آب قابل دسترس خاک، رابطه نزدیکی باهم دارند. روابط آبی با فرآیندهای مؤثر در حلالیت و قابل دسترس بودن عناصرغذایی در خاک را تحت تأثیر قرار می دهد. خشک بودن خاک از طریق کاهش سیستم انتقال فعال، نفوذ پذیری غشاء و توانایی جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه و سرعت انتشار عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه را کاهش می‌دهد (Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

Wang و Zhang (2012) توزیع فسفر در عمق‌های مختلف خاک و فراهمی فسفر را تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری بررسی نمودند و گزارش کردند توزیع فسفر در خاک تحت تأثیر نحوه آبیاری قرار دارد و در شرایط دفعات بیش‌تر و حجم کم‌تر آب در هر نوبت آبیاری، فسفر قابل دسترس در خاک افزایش می‌یابد.

فراهمی عناصر غذایی مختلف در خاک برای جذب توسط گیاه به غلظت عناصر در فاز محلول خاک بستگی دارد که عمدتاً به رطوبت خاک وابسته است. همچنین افزایش جذب و انتقال آب، سبب بهبود جذب عناصر غذایی، توسط گیاه می‌شود. (Gonçalves et al., 2019). غلظت عناصر غذایی در فاز محلول خاک شاخصی از تحرک آن‌ها در خاک و حرکت به‌سمت ریشه گیاه است. تغییرات مربوط به آب قابل دسترس برای گیاه می‌تواند فراهمی عناصر غذایی در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بهبود شرایط رطوبت خاک به‌دلیل تأمین مداوم آب، فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند افزایش یابد. افزون بر این یکی دیگر از مزایای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی این است که عناصر غذایی به مرکز سیستم ریشه ارائه می‌شوند و در این شرایط گیاه کم‌تر دچار تنش تغذیه‌ای می‌شود (Jayakumar et al., 2014; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

یکی از مشکلات اغلب خاک‌های مزارع نیشکر خوزستان، بافت سنگین و تراکم بالای آن‌ها می‌باشد که سبب افزایش مقاومت فروروی خاک، کاهش تخلخل تهویه‌ای و به‌دنبال آن محدود شدن رشد و توسعه ریشه می‌شود (Veisitabar et al., 2015). در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با روش جویچه‌ای تخلخل تهویه‌ای خاک بهبود می‌یابد. بهبود تهویه خاک می‌تواند سبب بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مؤثر در چرخه نیتروژن و حل کننده فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک شده و در نتیجه می‌تواند در افزایش فراهمی آن‌ها در خاک و جذب آن توسط گیاه مؤثر باشد (Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

مدیریت آبیاری و تغذیه گیاه دو فاکتور مهم در رسیدن به حداکثر پتانسیل رشد و عملکرد در گیاه نیشکر می‌باشند (Gunarathna et al., 2018). با توجه به کاهش منابع آب و احتمال توسعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مزارع کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان در سال‌های آینده، بررسی وضعیت عناصر غذایی خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر و آبیاری جویچه‌ای، می‌تواند در ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و برنامه‌ریزی کوددهی در مزارع نیشکر مؤثر باشد. بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه وضعیت فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر (کشت جدید) در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر و آبیاری جویچه‌ای، بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای واقع در شرکت کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی (48° 36′E, 30° 59′N) در جنوب غربی شهرستان اهواز مورد بررسی قرار گرفتند. دو مزرعه با مساحتی معادل ۲۱ هکتار در مجاور یکدیگر قرار داشته و دارای سابقه کشت یکسانی بودند، منبع آب آبیاری آن‌ها یکسان بوده و روش آبیاری آن‌ها در گذشته به‌روش آبیاری جویچه‌ای سطحی انجام شده است. پـیش از کشت نیشکر، نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب (از ۲۲ نمونه ساده) از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه نشان داد بافت خاک هر دو مزرعه لومی رسی بود و 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).

در هر دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای پس از آماده‌سازی مزارع و فاروزنی، کشت قلمه نیشکر واریته CP69-1062 به‌صورت دورديفه با فاصله ۴۰ سانتی‌متری از یکدیگر، از ۱۶ تا ۱۹ مهر ماه سال ۱۴۰۰ به‌مدت سه روز، انجام شد. در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله آبده در وسط دو ردیف قلمه قرار گرفت. لوله‌های آبده با قطر ۲۰ میلی‌متر، فاصله قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر و دبی قطره‌چکان ۲/۴ لیتر در ساعت، در عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک کارگذاری شدند. فاصله لوله‌های آبده از یکدیگر با توجه به شرایط کشت نیشکر ۱۸۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کشت کاربرد کود پایه فسفر به‌مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار در هر دو مزرعه به‌صورت توزیع در کف جویچه و در زیر قلمه انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

Table 1- Soil physicochemical characteristics of the studied fields

Field	Soil texture	Soil EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	Organic carbon (%)	Total Nitrogen ($g\ kg^{-1}$)	Available Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	Available Potassium ($mg\ kg^{-1}$)
Subsurface drip irrigation	Clay loam	2.81	7.81	0.35	0.64	3.44	92.2
Furrow irrigation	Clay loam	2.78	7.85	0.35	0.61	3.63	89.6

در این تحقیق آبیاری مزرعه قطره آی زیرسطحی به‌گونه‌ای بود که همواره رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی (FC) حفظ شود. به‌منظور انجام محاسبات آبیاری، از داده‌های تشت تبخیر کلاس A (آمریکایی) ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت فارابی و ضرایب گیاهی به‌دست آمده از داده‌های لایسی‌متری موسسه تحقیقات و آموزش نیشکر برای نیشکر پلنت رقم CP69-1062 استفاده گردید (Zanganeh-YusefAbadi et al., 2021). دور آبیاری در مزرعه قطره‌ای زیرسطحی در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت و شروع آبیاری، ۳ روز بود. حجم آب مصرفی در این زمان‌ها در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۷۳۳ مترمکعب و ۵۸۴ متر مکعب بود.

آبیاری در مزرعه آبیاری جویچه‌ای بر اساس روش مرسوم کشت و صنعت حکیم فارابی با فاصله ۱۵ روز انجام شد. در این مزرعه، آب مصرفی در زمان دو ماه و چهارماه پس از کشت به ترتیب ۱۵۸۸ مترمکعب و ۴۵۴۵ متر مکعب بود. بخشی از آب مصرفی در زمان چهار ماه پس از کشت جهت کاهش خسارت سرمازدگی بود.

برای مقایسه وضعیت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت و شروع آبیاری، نمونه‌برداری خاک و گیاه انجام شد. زمان‌های دو و چهارماه پس از کشت به دو دلیل انتخاب شدند: ۱- با توجه به نقش فسفر و پتاسیم در جوانه‌زنی قلمه نیشکر، رشد و توسعه ریشه نیشکر و به عبارت دیگر استقرار گیاه و همچنین نقش آن‌ها در رشد و فعالیت‌های متابولیکی نیشکر در رشد اولیه گیاه (۴ ماه ابتدایی) و ۲- نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که بخش عمده کود فسفر افزوده شده به خاک، دو تا چهار ماه پس از کاربرد آن به‌دلیل تشکیل فسفات‌های کلسیم، به‌شکل‌های غیرقابل دسترس در می‌آید، همچنین پتاسیم قابل دسترس خاک، تحت تأثیر آب آبیاری مصرفی در دوره رشد ابتدایی گیاه (چهار ماه ابتدایی) و با توجه به نوع کانی‌های خاک، می‌تواند به شکل‌های غیرقابل دسترس برای گیاه تبدیل شود. نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب و در پنج تکرار در دو مزرعه مورد مطالعه انجام شد. برای کاهش خطا در آزمایش، هر نمونه مرکب از ترکیب ۲۰ نمونه ساده، تهیه شد. آماده‌سازی نمونه‌های مرکب تهیه شده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری (عمق توسعه بخش عمده ریشه نیشکر) انجام شد و در پایان پنج نمونه مرکب خاک از هر عمق به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک تهیه شده پس از هواخشک نمودن، الک شدند. فسفر قابل دسترس خاک با استفاده از بی‌کربنات سدیم، ۰/۵ مولار عصاره‌گیری شد و غلظت فسفر در عصاره‌ها به‌روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل دسترس خاک با استفاده از استات آمونیوم یک مولار عصاره‌گیری شد و غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید (Carter and Gregorich, 2007).

نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک اندام هوایی گیاه، اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر به‌روش خاکسترگیری خشک و هضم با اسیدکلریدریک اندازه‌گیری شد (Gupta, 2000). جذب فسفر و پتاسیم توسط نیشکر از حاصلضرب غلظت آن‌ها در ماده خشک اندام هوایی گیاه محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از آزمون t و توسط نرم‌افزار SPSS 25 برای هر یک از زمان‌های نمونه‌برداری (T_1 و T_2) به‌صورت جداگانه، انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر تغییرات غلظت فسفر قابل دسترس خاک در هر دو زمان معنی‌دار بود. همچنین اثر شرایط آبیاری مزرعه بر غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در زمان نمونه‌برداری چهار ماه پس از کشت (T2) معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو زمان نمونه‌برداری غلظت فسفر قابل دسترس خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۱). مقایسه غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای مرسوم نشان داد که در زمان دو ماه پس از کشت، تفاوت معنی‌داری بین غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در دو روش آبیاری وجود نداشت. در زمان چهار ماه پس از کشت، غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک، در شرایط

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۲).

افزایش غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در مزرعه با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با مقدار آن‌ها قبل از کشت و همچنین بیش‌تر بودن غلظت فسفر و پتاسیم در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای می‌تواند به‌دلیل بهبود شرایط تهویه‌ای و رطوبتی در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای باشد. بهبود تهویه خاک و حفظ رطوبت خاک در محدوده بهینه، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند سبب بهبود توسعه ریشه و بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر و پتاسیم در خاک شده و در نتیجه افزایش فراهمی آن‌ها برای گیاه شود (Fu et al., 2021; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

حرکت توده‌ای پتاسیم درخاک به مراتب بیش‌تر از فسفر است. با این حال اختلاف فسفر قابل دسترس خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای، در زمان اول نمونه‌برداری (دو ماه پس از کشت) معنی‌دار بود، اما اختلاف پتاسیم قابل دسترس در دو مزرعه مورد مطالعه معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً تفاوت فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن در نیشکر در دو مزرعه به‌دلیل اثر مستقیم رطوبت بر فراهمی این عناصر و جذب آن‌ها توسط ریشه از طریق مکانیسم حرکت توده‌ای نبوده است و اثرات مثبت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر وضعیت این عناصر غذایی در خاک به‌دلیل اثرات غیرمستقیم شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر رطوبت و شرایط تهویه‌ای خاک بوده است. احتمالاً در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌دلیل بهبود شرایط رطوبت و تهویه‌ای خاک برای فعالیت میکروبی مانند میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر، توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر تحت تأثیر قرار گرفته و سبب شده که فراهمی فسفر در خاک افزایش یابد. نتایج مطالعه Wang وZhang (2012) نشان داد حفظ رطوبت خاک در شرایط بهینه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، سبب تغییر توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک شد، بدین ترتیب که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شکل‌های شیمیایی فسفر از شکل‌های غیرقابل دسترس یا شکل‌های با فراهمی کم‌تر (مانند آپاتیت) به‌شکل‌های با فراهمی بیش‌تر برای گیاه و افزایش فسفر قابل دسترس خاک شد. Wang وZhang (2008) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

جدول ۲- مقایسه آماری غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک بر اساس آزمون t

Table 2- Statistical comparison of soil available P and K in the soil based on t test

Sampling time	df	t	
		Soil available Phosphorus	Soil available potassium
T_1	8	1.82^{*}	-0.15^{ns}
T_2	8	3.58^{**}	-1.42^{**}

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 % probability level, respectively
T1 and T2 are sampling time at two and four month of after planting, respectively

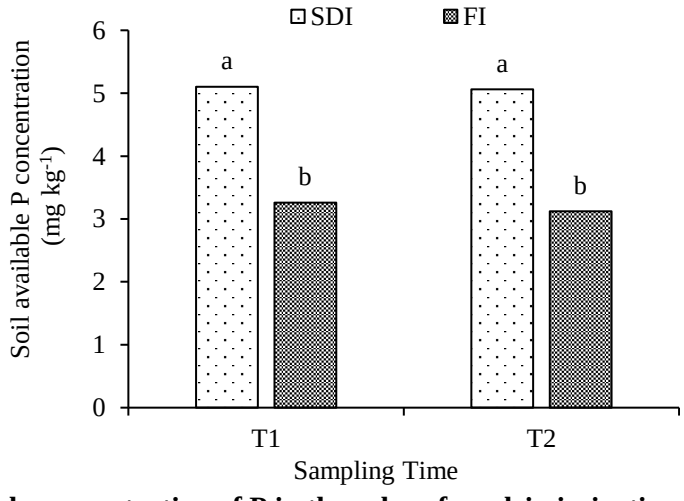

Fig. 1- Soil available concentration of P in the subsurface drip irrigation (SDI) and furrow irrigation (FI) fields at two (T1) and four (T2) month of after planting (Means with similar at each sampling time letter are not significantly different (P<0.05) according to the t test.)

شکل ۱- غلظت فسفر قابل دسترس خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI) و در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت (میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری دارند)

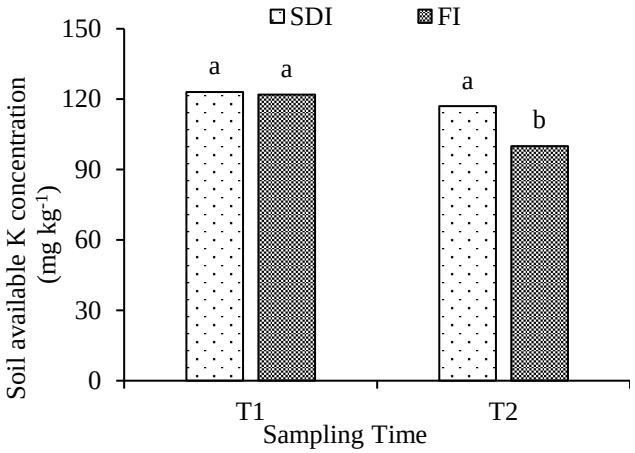

Fig. 2- Soil available concentration of K in the subsurface drip irrigation (SDI) and furrow irrigation fields at two (T1) and four (T2) month of after planting (Means with similar at each sampling time letter are not significantly different (P<0.05) according to the t test)

شکل ۲- غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI) و در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت (میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه-برداری، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری دارند)

جدول ۳- مقایسه آماری وزن خشک گیاه، غلظت و جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه بر اساس آزمون t

Table 3- Statistical comparison of shoot dry weight, Shoot P and K concentration and uptake based on t test

Sampling time	df	t				
		Shoot dry weight	Shoot P concentration	Shoot K concentration	Shoot P Uptake	Shoot K uptake
T_1	8	0.28^{ns}	4.22^{**}	3.33^{**}	1.41^{**}	2.59^{*}
T_2	8	-3.47^{*}	2.27^{ns}	1.24^{ns}	1.24^{*}	5.84^{**}

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 % probability level, respectively

T_1 and T_2 are sampling time at two and four month of after planting, respectively

وزن خشک گیاه

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر وزن خشک گیاه در زمان چهار ماه پس از کشت معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر آن در زمان دو ماه پس از کشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان چهار ماه پس از کشت، وزن خشک اندام هوایی گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴).

یکی از دلایل بیش‌تر بودن وزن خشک اندام هوایی گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان چهار ماه پس از کشت می‌تواند بهبود وضعیت رطوبتی خاک و حفظ رطوبت خاک در محدوده بهینه برای گیاه و بهبود آب قابل دسترس خاک برای گیاه به‌دلیل تأمین مداوم آب باشد. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان

ضروری پرمصرف برای رشد گیاه، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش وزن خشک گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای باشد. افزایش رشد و عملکرد نیشکر در شرایط داده است که آبیاری قطره ای زیرسطحی می‌تواند رشد و عملکرد نیشکر را به‌دلیل حفظ رطوبت خاک در شرایط بهینه و استفاده دقیق از مقدار مناسب آب و همچنین شرایط تهویه مناسب محدوده توسعه ریشه، افزایش دهد (Gunarathna et al., 2018). افزون بر این در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در مقایسه با روش آبیاری جویچه‌ای، با به حداقل رسیدن هدررفت شکل محلول فسفر و پتاسیم از طریق آبشویی (نفوذ عمقی و رواناب)، شرایط تغذیه‌ای نیشکر و به‌دنبال آن رشد گیاه می‌تواند بهبود پیدا کند (Chen et al., 2012; Mahesh et al., 2015; Manikandan and Thiyagarajan, 2021). بر اساس نتایج به‌دست آمده، بهبود وضعیت فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک (شکل ۱ و ۲) و به‌دنبال آن بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه از جمله افزایش جذب فسفر و پتاسیم توسط گیاه (جدول ۴) به‌عنوان عناصر غذایی غذایی آبیاری قطره‌ای سطحی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Chen et al., 2012; Mahesh et al., 2015; Gunarathna et al., 2018).

جدول ٤- مقایسه میانگین وزن خشک گیاه، غلظت و جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI)، در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت

Table 3- Mean comparison of shoot dry weight, Shoot P and K concentration and uptake at two (T1) and four (T2) month of after planting

Sampling time	Field	Shoot dry weight	Shoot P concentration	Shoot K concentration	Shoot P Uptake	Shoot K uptake
T_1	Subsurface drip irrigation (SDI)	2.24[a]	0.25[a]	2.52[a]	5.61[a]	56.50[a]
	Furrow irrigation (FI)	2.14[a]	0.22[b]	2.15[b]	4.70[b]	45.99[b]
T_2	Subsurface drip irrigation (SDI)	3.32[a]	0.21[a]	1.84[a]	6.97[a]	61.14[a]
	Furrow irrigation	3.06[b]	0.20[a]	1.74[a]	6.12[b]	53.27[b]

Means with similar at each sampling time letter are not significantly different (P<0.05) according to the t test

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری دارند.

جذب فسفر و پتاسیم توسط نیشکر

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در زمان دو ماه پس از کشت معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر آن بر غلظت این عناصر در گیاه در زمان چهار ماه پس از کشت، معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان دو ماه پس از کشت (T_1)، غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴)، اما این تفاوت در زمان چهار ماه پس از کشت (T_2) برای هر دو عنصر غذایی فسفر و پتاسیم، از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). عدم تفاوت معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در زمان چهار ماه پس از کشت در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای، می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر بودن ماده خشک اندام هوایی در این زمان نمونه‌برداری در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (جدول ۴) و در نتیجه به‌وجود آمدن اثر رقت و به‌دنبال آن کاهش غلظت غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باشد. نتایج همچنین نشان دهنده روند کاهشی غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی در زمان چهار ماه نسبت به زمان دو ماه بود که این نتیجه می‌تواند به‌دلیل افزایش رشد گیاه و زیست‌توده اندام هوایی در زمان چهار ماه پس از کشت، در مقایسه با زمان دو ماه پس از کشت (جدول ۴) و در نتیجه کاهش غلظت این عناصر به‌دلیل به‌وجود آمدن اثر رقت باشد.

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر مقدار جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر در هر دو زمان دو و چهار ماه پس از کشت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در هر دو زمان مورد مطالعه (دو و چهار ماه پس از کشت) مقدار فسفر و پتاسیم جذب شده در اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴). بدین ترتیب که مقدار جذب فسفر در اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان دو و چهار ماه پس از کشت به‌ترتیب ۱۹/۱ و ۱۴/۸ درصد و مقدار جذب پتاسیم در اندام هوایی نیشکر به‌ترتیب ۲۱/۶ و ۸/۷ درصد بیش‌تر از مقدار آن در شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۶ و ۷). جذب عناصر غذایی توسط گیاه به فراهمی آب و عناصر غذایی در خاک وابسته است. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بهبود شرایط رطوبت خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی از جمله پتاسیم، فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند افزایش یابد (Gunarathna et al., 2018; Manikandan and Thiyagarajan, 2021; Paramesha et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای بود (شکل‌های ۱ و ۲). بنابراین بهبود جذب این عناصر غذایی در اندام هوایی نیشکر می‌تواند به‌دلیل بهبود فراهمی آن در خاک باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط آبیاری مزرعه نیشکر فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها در اندام هوایی نیشکر را تحت تأثیر قرار داد. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، وزن خشک اندام هوایی نیشکر و همچنین جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. با توجه به این‌که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی امکان تأمین عناصر غذایی در محدوده توسعه ریشه وجود دارد و در این شرایط شرایط تغذیه‌ای گیاه، می‌تواند

بهبود یابد. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به‌نظر می‌رسد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر می‌تواند روش مناسبی برای بهبود فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در ماه‌های ابتدایی رشد گیاه باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر و پتاسیم و پارامترهای مؤثر در جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر و همچنین فعالیت و تنوع میکروبی خاک در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای جهت تعیین مکانیسم‌های مؤثر در جذب این عناصر غذایی و نقش تغییرات رطوبت خاک در آن، مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر برای حمایت مالی و مساعدت در مراحل مختلف اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1- Boschiero, B.N., de Castro, S.G.Q., da Rocha, A.E.Q., Franco, H.C.J., Carvalho, J.L.N., Soriano, H.L., dos Santos, J.A., Bressiani, J.A. and Kölln, O.T., 2019. Biomass production and nutrient removal of energy cane genotypes in Northeastern Brazil. *Crop Science*, *59*(1), pp.379-391. Doi: 10.2135/cropsci2018.07.0458

2- Carter, M.R. and Gregorich, E.G. eds., 2007. *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.

3- Chen, G.F., Tang, Q.Z., Li, Y.R., Huang, Y.Y., Liu, B., Xu, L. and Huang, H.R., 2012. Effects of sub-soil drip fertigation on sugarcane in field conditions. *Sugar Tech*, *14*, pp.418-421. Doi: 10.1007/s12355-012-0173-x

4- Flores, R.A., Andrade, A.F.D., Casaroli, D., Quirino, D.T., Abdala, K.D.O., Martins, C., Bueno, A.M., Alves Júnior, J. and Evangelista, A.W.P., 2020. Potassium fertilization in sugarcane ratoon yield grown in a tropical region. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *51*(7), pp.896-910. Doi: 10.1080/00103624.2020.1744622

5- Fu, B., Li, Z., Gao, X., Wu, L., Lan, J. and 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*, p.103859. Doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103859

6- Gonçalves, I.Z., Barbosa, E.A.A., Santos, L.N.S., Nazario, A.A., Feitosa, D.R.C., Tuta, N.F. and Matsura, E.E., 2019. Nutritional balance and production of sugarcane irrigated with treated wastewater through subsurface drip. *Irrigation Science*, *37*, pp.207-217. Doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103859

7- Grecco, K.L., de Miranda, J.H., Silveira, L.K. and van Genuchten, M.T., 2019. HYDRUS-2D simulations of water and potassium movement in drip irrigated tropical soil container cultivated with sugarcane. *Agricultural Water Management*, *221*, pp.334-347. Doi: 10.1016/j.agwat.2019.05.010

8- Gunarathna, M.H.J.P., Sakai, K., Nakandakari, T., Momii, K., Onodera, T., Kaneshiro, H., Uehara, H. and Wakasugi, K., 2018. Optimized subsurface irrigation system: the future of sugarcane irrigation. *Water*, *10*(3), p.314. Doi: 10.3390/w10030314

9- Gupta, P.K., 2000. Soil plant water and fertilizer analysis. Agrobios pub. *Bikaner. India*.

10- Jayakumar, M., Surendran, U. and Manickasundaram, P., 2014. Drip fertigation effects on yield, nutrient uptake and soil fertility of Bt Cotton in semi-arid tropics. *International Journal of Plant Production*, *8*(3), pp.375-390. Doi: 10.22069/IJPP.2014.1615

11- Mahesh, R. and Raja, N.A., 2015. Influence of source of fertilizers and fertilizer levels on tillers production, shoot population, number of millable canes and yield of sugarcane under subsurface drip fertigation. *Trends in Biosciences*, *8*(4), pp.1095-1099.

12- Manikandan, M. and Thiyagarajan, G., 2021. Soil moisture and nutrient patterns under subsurface drip irrigation for a sustainable sugarcane initiative. In *Fertigation Technologies for Micro Irrigated Crops* (pp. 171-178). Apple Academic Press. Doi: 10.1201/9781003084136-12

13- Paramesha, V., Rajanna, G.A., Kumar, P., Sannagoudar, M.S. and Halli, H.M., 2022. Drip fertigation for enhancing crop yield, nutrient uptake, nutrient, and water use efficiency. *Sustainable Agriculture Systems and Technologies*, pp.267-278. Doi: https://doi.org/10.1002/9781119808565.ch12

14- Quach, M., Mele, P.M., Hayden, H.L., Marshall, A.J., Mann, L., Hu, H.W. and He, J.Z., 2022. Proximity to subsurface drip irrigation emitters altered soil microbial communities in two commercial processing tomato fields. *Applied Soil Ecology*, *171*, p.104315. Doi: 10.1016/j.apsoil.2021.104315

15- Sardans, J. and Peñuelas, J., 2021. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419. Doi: 10.3390/plants10020419

16- Veisitabar, A., Hemmat, A. and Mosaddeghi, M.R., 2015. Soil compaction assessment in sugarcane fields under different planting conditions using soil bulk density, relative bulk density and cone index. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *19*(72), pp.93-106. Doi: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9 (In Persian)

17- Wang, Y. and Zhang, Y., 2008. Effect of greenhouse subsurface irrigation on soil phosphatase activity. *Communications in soil science and plant analysis*, *39*(5-6), pp.680-692. Doi: 10.1080/00103620701879265

18- Wang, Y. and Zhang, Y., 2012. Soil inorganic phosphorus fractionation and availability under greenhouse subsurface irrigation. *Communications in soil science and plant analysis*, *43*(3), pp.519-532. Doi: 10.1080/00103624.2012.639430

19- Wu, D., Xu, X., Chen, Y., Shao, H., Sokolowski, E. and Mi, G., 2019. Effect of different drip fertigation methods on maize yield, nutrient and water productivity in two-soils in Northeast China. *Agricultural Water Management*, *213*, pp.200-211. Doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.018

20- Zambrosi, F. C. B. 2021. Phosphorus fertilizer reapplication on sugarcane ratoon: opportunities and challenges for improvements in nutrient efficiency. *Sugar Tech*, *23*(3), pp.704-708. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.018

21- Zambrosi, F.C.B., Ribeiro, R.V., Machado, E.C. and Garcia, J.C., 2017. Phosphorus deficiency impairs shoot regrowth of sugarcane varieties. *Experimental Agriculture*, *53*(1), pp.1-11. Doi: 10.1017/S0014479715000290

22- Zanganeh-YusefAbadi, E., Hooshmand, A.A, Naseri, A.A., Boroomand-Nasab, S. and 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. Doi: 10.22055/JISE.2018.25258.1747 (In Persian)

23- Zhu, J., Li, M. and Whelan, M., 2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, *612*, pp.522-537. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095

Comparison of availability and uptake of phosphorus and potassium in sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation

A. Karimi[1*], E. Zanganeh-Yusefabadi[2] and S. Safirzadeh[3]

1- Researcher of Soil Chemistry and Fertility, Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran. (a.karimi@iscrti.ir)*
2- Researcher of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran
3- PhD in Soil Chemistry and Fertility, Khuzestan Hakim Farabi Agro-Industry CO. Ahvaz, Iran.

Keywords: Sugarcane nutrition, Irrigation method, Nutrients availability.

Introduction

Drought and water shortage for agricultural consumption are vital issues in arid and semi-arid regions of the world, and water is one of the most important factors contributing to crop yields (Torabi Haghighi et al. 2020; Anjum et al. 2023). For instance, in Khuzestan province, frequent irrigation is needed to sustain normal or high agricultural productivity due to the low rainfall. However, the application efficiency is important when selecting a suitable irrigation method and schedule in arid and semi-arid regions. Subsurface drip irrigation (SDI), offers promising opportunity for reducing irrigation requirements while sustaining high water and crop productivity. SDI emitters are installed in the soil profile near the root system, maximizing the water uptake (Manikandan and Thiyagarajan, 2021). The sugarcane (Saccharum officinarum L.) growth is strongly dependent on phosphorus (P) and potassium nutrition. Phosphorus (P) is an essential macronutrient in sustainable production of sugarcane. Phosphorus plays fundamental roles in the sugarcane photosynthesis, root development, tillering, growth and yield of sugarcane (Boschiero et al., 2019). Potassium is another essential macronutrient for sugarcane growth and productivity. The importance of potassium in plant metabolism and its role as a cofactor in activities of more than 60 enzymes has been reported. The role of potassium in various plant physiological processes, namely, seed germination and emergence, stomatal regulation, phloem transport, cation–anion balance, protein synthesis, photosynthesis, energy transfer, osmoregulation, nutrient balance, and stress resistance is also reported (Sardans and Peñuelas, 2021).

Considering the decrease of water resources and the possibility of developing subsurface drip irrigation in the sugarcane fields and industries of Khuzestan in the coming years, investigating the condition of soil nutrients and their uptake by sugarcane under of subsurface drip irrigation and furrow irrigation conditions can be effective in evaluating soil fertility status and fertilization planning in sugarcane fields. Therefore the purpose of this study was to comparison of the of phosphorus and potassium availability in the soil and their uptake by sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation conditions.

Materials and methods

This research was conducted in two sugarcane fields including subsurface drip irrigation and furrow irrigation, located in Khuzestan Hakim Farabi Agro-Industry, SW Iran. In both subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields, after field preparation, sugarcane (CP69-1062 variety) were planted in rows with a distance of 40 cm from each other. In the subsurface drip irrigation field, the irrigation lateral pipe was placed in a depth of 20 cm from the soil surface, drippers spacing was 50 cm and drippers flow rate of 2.4 L h^{-1}. The distance of the irrigation lateral pipes from each other was considered to be 183 cm according to the conditions of sugarcane cultivation. Before planting, the application of phosphorus fertilizer 250 kg ha^{-1} as triple superphosphate was done in both fields. In this study, in order to comparison the soil phosphorus and potassium availability, soil sampling was done at two and four months after cultivation. The soil was air-dried and passed through a sieve (<2 mm). The soil's available phosphorus and potassium were measured by 0.5M $NaHCO_3$ and 1M NH_4OAc extraction methods, respectively. In addition, shoot dry weight and the concentration of phosphorus and potassium in the sugarcane shoot were determined at two and four months. Harvested shoots of plant from each fields were thoroughly rinsed with deionized

water and oven-dried at 70 °C. Then, the dry weights were measured. Phosphorus and potassium concentration in the shoot was measured after 4M HCl digestion. The phosphorus and potassium concentration of the shoots were measured with a flame photometer and spectrophotometer, respectively. Also, the phosphorus and potassium uptake in sugarcane shoot were calculated. Statistical analysis and average data comparison was done using t test.

Results and discussion

The results showed that in both sampling times, the concentration of available phosphorus in the soil in subsurface drip irrigation conditions was higher than that under furrow irrigation conditions. Results indicated that at two months after cultivation, there was no significant difference between available soil potassium concentrations in two irrigation methods. At the time of four months after cultivation, the available potassium concentration of the soil was significantly higher in subsurface drip irrigation conditions than in furrow irrigation conditions. In four months after cultivation, the shoot dry weight of sugarcane under subsurface drip irrigation conditions was higher than under furrow irrigation conditions. The results showed that in both times, two and four months after cultivation, the concentration of phosphorus and potassium in sugarcane shoots was higher under subsurface drip irrigation conditions than under furrow irrigation conditions. Although this difference was not statistically significant for both phosphorus and potassium nutrients four months after cultivation. In both sampling times (two and four months after cultivation), the phosphorus and potassium uptake in the sugarcane shoot in subsurface drip irrigation conditions was significantly higher than in furrow irrigation conditions.

Conclusion

Therefore, it can be concluded that in the early stages of plant growth (four months after cultivation), the phosphorus and potassium availability in the soil and their uptake by sugarcane plant can be improved under subsurface drip irrigation conditions.

Acknowledgments

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.

References

1- Anjum, M.N., Cheema, M.J.M., Hussain, F. and Wu, R.S. 2023. Precision irrigation: challenges and opportunities. *Precision Agriculture*, pp. 85-101. Doi: 10.1016/B978-0-443-18953-1.00007-6

2- Boschiero, B.N., de Castro, S.G.Q., da Rocha, A.E.Q., Franco, H.C.J., Carvalho, J.L.N., Soriano, H.L., dos Santos, J.A., Bressiani, J.A. and Kölln, O.T., 2019. Biomass production and nutrient removal of energy cane genotypes in Northeastern Brazil. *Crop Science*, *59*(1), pp.379-391. Doi: 10.2135/cropsci2018.07.0458

3- Manikandan, M. and Thiyagarajan, G., 2021. Soil moisture and nutrient patterns under subsurface drip irrigation for a sustainable sugarcane initiative. In *Fertigation Technologies for Micro Irrigated Crops* (pp. 171-178). Apple Academic Press.

4- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, *10*(2), p. 419. Doi: 10.3390/plants10020419

5- Torabi Haghighi, A., Abou Zaki, N., Rossi, P. M., Noori, R., Hekmatzadeh, A. A., Saremi, H. and Kløve, B. 2020. Unsustainability syndrome—from meteorological to agricultural drought in arid and semi-arid regions. *Water*, *12*(3), p. 838. Doi: 10.3390/w12030838