DOI: 10.22059/ijswr.2019.264029.667992 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص ۱۲۴۳-۱۲۵۳)

# The Effect of Different Depths and Spaces of Emitters in Subsurface Drip Irrigation on Water Productivity and Sugarcane Yield

**ALI SHEINI DASHTGOL[1*], ABDALI NASERI[2], SAEED BOROOMAND NASAB[3]**

1. Ph.D. student of irrigation and drainage of Shahid Chamran University of Ahvaz
2. Professor of Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences
3. Professor of Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences

(Received: Aug. 27, 2018- Revised: Dec. 29, 2018- Accepted: Jan. 9, 2019)

## ABSTRACT

High temperature and evaporation and low quality irrigation water are the most limiting factors for irrigation of sugarcane in Khuzestan. Subsurface drip irrigation can be successful with proper management. Therefore, this study was conducted to examine the effect of subsurface drip irrigation on Water Productivity and sugarcane yield. Two factors consist of installation depth (15, 20, 30 cm) and emitters spaces (50, 60, 75 cm) were applied in a factorial experiment with randomized complete block design. The results of variance analysis of quantity characteristic indicated that there were significant differences between treatments in terms of installation depths, emitter space and their interactions at 1% probability level. Also the results of quality characteristics showed a significant differences among the emitter's spaces at 1% probability level. Investigation of water productivity index showed that there were significant differences among the emitters space for sugarcane and sugar production at 1% probability level. But there was no significant differences among emitter depths and depth-space interactions. The maximum quantity yield occurred in drip laterals with 50 cm emitter space and 20 cm installation depth. The highest quality yield was seen in laterals with 50 and 60 cm emitter spaces and 15 and 20 cm installation depths. The highest water productivity for sugarcane and sugar production was obtained 7.18 and 0.87 kg /m3 in laterals with emitter space of 60 cm and installation depth of 20 cm. Also the least water productivity for sugarcane and sugar production was 5.17 and 0.61 kg/m3 in laterals with emitter space of 75 cm and installation depth of 20 cm. Finally, according to the obtained results and considering other conditions, laterals with 50 cm emitter space and 20 cm installation depth are suggested for irrigation of sugarcane fields.

**Keywords:** Emitters, Subsurface drip irrigation, Sugarcane yield, Water Productivity.

* Corresponding Author's Email: sheinidasht1971@gmail.com

# اثر فواصل و اعماق مختلف قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر میزان بهره‌وری آب و عملکرد نیشکر

**علی شینی دشتگل[۱*]، عبدعلی ناصری[۲]، سعید برومندنسب [۲]**

۱. دانشجوی دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۵/ ۶/ ۱۳۹۷- تاریخ بازنگری: ۸/ ۱۰/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹)

## چکیده

بالا بودن تبخیر، دمای هوا و کیفیت نسبتاً پایین آب آبیاری، از مهم‌ترین عوامل محدودکننده آبیاری نیشکر در خوزستان هستند. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با اعمال مدیریت مناسب، می‌تواند موفق عمل نماید، لذا به همین منظور اثر اعماق کارگذاری ۱۵، ۲۰ و ۳۰ و فواصل ۵۰، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، بر بهره‌وری آب و عملکرد نیشکر به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس صفات کمی نشان داد که از نظر فواصل و اعماق کارگذاری و اثرات متقابل آنها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین تیمارها وجود دارد. نتایج صفات کیفی نیز نشان داد که تیمارهای آزمایش در اغلب صفات، از نظر فاصله بین قطره‌چکان‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارند. بررسی شاخص بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی نشان داد که تیمارهای آزمایش از نظر فاصله بین قطره‌چکان‌ها، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده ولی از نظر اعماق کارگذاری و اثرات متقابل فاصله و عمق کارگذاری، اختلاف معنی‌داری ندارند. بیشترین عملکردهای کمی در فاصله ۵۰ و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و بیشترین عملکردهای کیفی در فواصل ۶۰ و ۵۰ و عمق کارگذاری ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها مشاهده شد. در فاصله ۶۰ سانتی‌متری و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، بیشترین بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی، به‌ترتیب به‌میزان ۷/۱۸ و ۰/۸۷ و در فاصله ۷۵ سانتی‌متری و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، کم‌ترین بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی، به ترتیب به‌میزان ۵/۱۷ و ۰/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و در نظر گرفتن سایر شرایط اجرایی و آب و هوایی، عمق ۲۰ سانتی‌متری کارگذاری لوله آبده و فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها روی لوله فرعی، پیشنهاد می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بهره‌وری آب، عملکرد نیشکر، قطره‌چکان.

### مقدمه

در اراضی شرکت توسعه نیشکر، بافت خاک عمدتاً سنگین بوده و بادهای گرم و خشک در فصل‌های بهار و تابستان جریان دارند. برای تأمین آب مزارع به‌موازات طولی آنها، لوله‌های دریچه‌دار هیدروفلوم به‌کار می‌رود. آبیاری در این اراضی، به روش جوی و پشته صورت گرفته و طراحی‌ها بر اساس حداکثر هدایت الکتریکی آب آبیاری ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر بوده است (Nameless, 1971). تولید نیشکر علاوه بر تولید شکر، به‌عنوان یک کالای اساسی در اقتصاد کشور، دارای کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی، دارویی و شیمیایی است و تولید فرآورده‌های جانبی همچون خوراک دام، خمیرمایه و الکل، چوب و کاغذ، نشان از اهمیت این گیاه و صنایع وابسته به آن دارد. نیشکر در طول دوره‌ی رشد خود، به آب فراوان احتیاج دارد و نسبت به کم‌آبی حساس و در عین حال به غرقاب شدن دراز مدت ریشه سازگاری ندارد و در شرایطی که سطح آب زیرزمینی بالا بیاید و منطقه توسعه ریشه را در بر بگیرد، به‌علت خفگی تدریجی ریشه، افت محصول رخ می‌دهد (Sheini Dasghtegol *et al.*, 2009). از آنجایی‌که نیشکر گیاهی آب‌دوست بوده و به شرایط ماندابی ناشی از بالا آمدن سطح ایستابی نیز حساس است، آبیاری آن نیازمند وجود یک شبکه آبیاری و زهکشی دقیق از نظر طراحی و اجراست و رسیدن به چنین شرایطی همواره تحت تأثیر محدودیت‌های انسانی (در بخش طراحی و اجرا) و لوازم و تجهیزات است، لذا انتخاب روش‌های مناسب آبیاری نیشکر برای مصرف بهینه آب و انرژی، حائز اهمیت است (Abbasi and Sheini Dasghtegol, 2016).

(Lamm and Camp, 2007., Lamm and Trooien, 2003)

اظهار داشتند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، دارای اجزاء اساسی

* نویسنده مسئول: sheinidasht1971@gmail.com

مشابهی با سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی است که این اجزاء شامل پمپ تأمین دبی و فشار، سیستم تصفیه و بهبود کیفیت آب، تزریق کود شیمیایی، شیرهای هواگیری و دریچه‌های شستشو است. به‌علاوه این سامانه، نیاز به یک سیستم تخلیه خلأ (هوادهی) دارد تا از ورود گل و لای به داخل قطره‌چکان‌ها در هنگامی‌که سیستم خاموش می‌شود، جلوگیری کند. همچنین در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کاربرد آب در زیر سطح خاک از طریق گسیلنده‌ها با دبی مشابه با دبی آبیاری قطره‌ای است که با کاربرد مستقیم آب در ناحیه ریشه و حذف رواناب و کاهش یا حذف تلفات عمقی و تبخیر، سبب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. (Skaggs *et al*, 2004) نشان دادند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، از مؤثرترین راهکارها برای افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع آب است و درک توانایی‌های کامل آن نیازمند بهینه‌سازی پارامترهای در دسترس بوده که مهم‌ترین این پارامترها دور آبیاری، شدت و مدت زمان آبیاری است. طی پژوهشی توسط (Ben-Gal *et al*., 2004)، تأثیر بافت خاک بر توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بررسی شد و نتایج نشان داد که با سرعت کاربرد آب برابر با ۰/۷۹۹ متر بر ساعت بعد از ۸ ساعت و ۴۵ دقیقه در خاک رسی لومی، آب در سطح خاک پدیدار می‌شود، ولی در خاک‌های لوم شنی و شنی آب در سطح خاک مشاهده نگردید.

(Thorburn *et al*., 2003) با انجام پژوهشی نتیجه گرفتند که برای بهبود کارآیی مصرف آب و کود، فاصله بین قطره‌چکان‌ها و دبی خروجی آنها باید با خصوصیات رطوبتی خاک متناسب باشد. نتایج پژوهش آنها نشان داد که خیس شدگی توسط قطره‌چکان‌ها، به خصوصیات خاک بستگی دارد و برای تعیین فاصله قطره‌چکان‌ها، به تحقیقات منطقه‌ای نیاز است. ( Dalri and Cruz, 2008) نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، می تواند سبب افزایش کمیت و کیفیت نیشکر شود و به‌همین دلیل یک روش مناسب برای کشت نیشکر به شمار می‌رود. (Thompson *et al*., 2010)، نشان دادند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مناطق خشک ممکن است منجر به تجمع نمک در سطح خاک شود. (Javadi *et al*., 2011)، پژوهشی برای بررسی شاخص‌های بهره‌وری و کارآیی مصرف آب نیشکر، در سنین مختلف رشد گیاه برای رقم CP57-614، در کشت و صنعت حکیم فارابی، با روش آبیاری جویچه‌ای انتها بسته، لوله‌های دریچه‌دار (هیدروفلوم) و استفاده از روش تشتک تبخیر برای تعیین نیاز آبی گیاه، انجام دادند و چهار مزرعه که دارای بالاترین عملکرد در بین مزارع مختلف بودند، برای هر سن گیاه انتخاب نمودند. میزان عملکرد، تبخیر و تعرق گیاه و حجم کل آب آبیاری در طول دوره رشد گیاه تعیین و بر اساس مقادیر آنها متوسط شاخص بهره‌وری آب آبیاری ۳/۵۴-۱/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط کارآیی مصرف آب ۳۵/۳۸-۱۸/۵۱ کیلوگرم بر هکتار در میلی‌متر محاسبه گردید.

(Sedaghati *et al*., 2012) در پژوهشی چهارساله، سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با اعماق کارگذاری ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری و با سه تیمار آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته را بررسی کردند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان ۶۰ درصد نیاز آبی روش سطحی، با کارآیی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در مترمکعب آب‌مصرفی، بهترین تیمار و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر، بهترین الگوی توزیع شوری را داشت. (Uribe *et al*., 2013) در سائوپائولوی برزیل، اثر آبیاری و کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن در روش دیم و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روی عملکرد ساقه و شکر در راتون نیشکر را مورد بررسی قرار دادند. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فاصله قطره‌چکان‌ها ۵۰ سانتی‌متر، دبی قطره‌چکان‌ها یک لیتر در ساعت و لترال‌ها در عمق ۲۵ سانتی‌متر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در راتون نیشکر با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد ۱۴۰ kg/ha کود نیتروژن، بیشترین بازده شکر برابر ۲۲ تن در هکتار حاصل شد. (Saifi *et al*., 2014) در پژوهشی دورهای مختلف آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری و عملکرد درختان پسته ۱۵ ساله با خاک سیلت لوم و آبیاری قطره-ای زیرسطحی با آب شور (EC =۴/۲ dS/m) در شرایط اقلیم بیابانی را مورد بررسی قراردادند. قطره‌چکان‌ها از نوع تنظیم‌کننده فشار و دبی دو لیتر در ساعت و فواصل روی لوله‌های آبده ۸۰ و ۱۱۰ سانتی‌متر و لوله‌های آبده در عمق ۴۰ سانتی‌متری قرار داشتند. نتایج نشان داد که در دو تیمار آبیاری، کاهش شوری خاک از سطح تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده شد و بیشترین مقادیر شوری در لایه‌های سطحی خاک وجود داشت. همچنین با دور آبیاری کمتر، شوری در عمق توسعه ریشه، به‌طور محسوسی کاهش یافت.

(Oliveira *et al*., 2014) طی پژوهشی بهره‌وری کودآبیاری نیشکر با سطوح مختلف آب توسط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را با تیمارهای ۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ آبیاری تکمیلی در ترکیب با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و بدون کاربرد کود نیتروژن بررسی کردند که در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد در مقایسه با سایر تیمارها، تعداد ساقه در هکتار ۴۰٪ افزایش یافت و کاربرد کود اوره سبب افزایش ۱۴٪ شکر و الکل گردید. همچنین عدم آبیاری تکمیلی، سبب کاهش ۴۰ درصد بیوماس شد. (Regina Célia *et al*., 2015) پژوهشی به‌منظور

ارزیابی اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در فواصل مختلف کاشت روی عملکرد و کیفیت قند قابل استحصال در چهار دوره رشد نیشکر در ایالت‌های کلرادو، گوایرا و سائوپائولوی برزیل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در شش تکرار روی خاک‌های رسی و در دو رقم آبی و دیم و سه فاصله کاشت ۱/۵، ۱/۸ و ۱/۳ متر (فاصله ردیف‌های کشت ۰/۵ متر) انجام دادند. نتایج نشان داد که رقم آبی نسبت به رقم دیم حدود ۲۰ درصد افزایش محصول داشت و میزان عملکرد قند قابل استحصال در دو بازرویی پایانی نیشکر با بقیه دوره‌ها، اختلاف معنی‌داری نشان داد. در بازرویی دوم، آبیاری باعث بهبود مقدار بریکس، پل و عملکرد شکر قابل استحصال نسبت به رقم دیم شد و استفاده از کشت دو ردیفه باعث بهبود عملکرد ساقه شد. اثر متقابل آبیاری و فاصله، روی عملکرد ساقه معنی‌دار نبود و تنها در بازرویی دوم تأثیر مثبت گذاشت. رقم آبی با متوسط ۱۴۱/۳ ton/ha نسبت به رقم دیم با متوسط ۱۳۲/۴ ton/ha، عملکرد بهتری داشت.

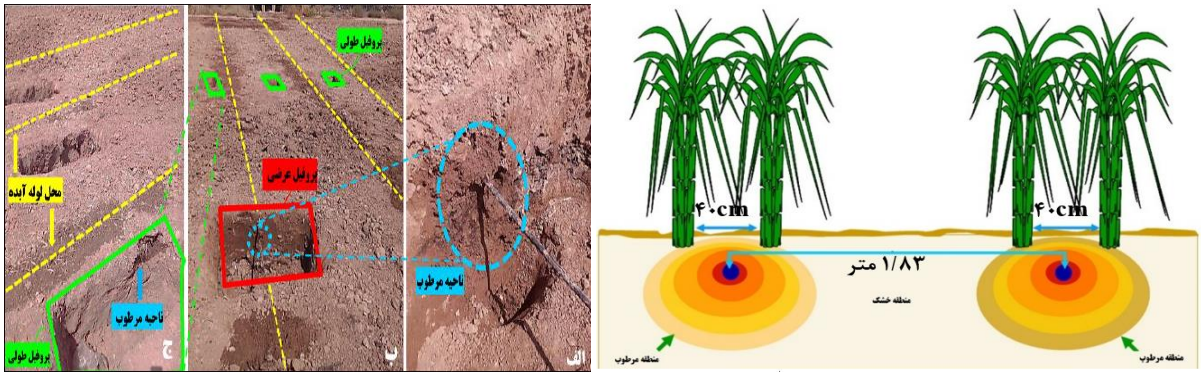
(Leonardo *et al*., 2016) با هدف ارزیابی میزان ذخیره آب در خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در دو عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و دو نوع آب فاضلاب تصفیه‌شده و آب شیرین در دو دوره داشت نیشکر در برزیل، پژوهشی انجام دادند و نتایج نشان داد که نصب لوله قطره‌چکان‌دار در عمق ۲۰ سانتی-متری، باعث توزیع بهتر آب در منطقه توسعه ریشه و کاهش تلفات تبخیر و نفوذ عمقی شده و کیفیت آب تأثیری در توزیع آب در خاک ندارد. (Kandelous *et al*., 2017) پژوهشی به‌منظور ارزیابی روابط آب، رشد رویشی، بهره‌وری و عملکرد کیفی نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در راتون دوم و دو عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و دو منبع آب (فاضلاب و آب تازه از مخزن) در برزیل انجام دادند و نتایج نشان داد که رطوبت خاک با توجه به عمق نصب قطره‌چکان‌ها تغییر می‌کند و پتانسیل برگ، کلروفیل، تبادل گاز و غلظت نیتروژن و منیزیم در برگ‌ها نیز برای تیمارهای آبی بیشتر بود. تیمارهای آبیاری با فاضلاب و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متر، دارای بیشترین عملکرد ساقه و شکر بودند. میزان تولید ۲۳۳/۶۹ و ۳۷/۰۶ میلی‌گرم در هکتار به‌ترتیب برای ساقه و کل شکر قابل استحصال بود؛ با این وجود تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آبی وجود نداشت. با توجه به عوامل محدودکننده آبیاری نیشکر در خوزستان، امکان استفاده از روش‌های نوین آبیاری مرسوم در دیگر مناطق نظیر روش‌های آبیاری بارانی و یا قطره‌ای، با مشکلات عدیده‌ای مواجه خواهد شد. با توجه به ساختار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، پیش‌بینی می‌شود که این روش بتواند با اعمال برخی شرایط از جمله طراحی خوب شبکه از نظر هیدرولیکی، فیلتراسیون با کیفیت آب و اجرای مناسب شبکه موفق عمل نماید. لذا هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی مزرعه‌ای اثر فواصل و اعماق مختلف کارگذاری قطره-چکان‌های تنظیم شونده فشار در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و اثرات آن بر بهره‌وری آب و خصوصیات کمی و کیفی گیاه نیشکر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش، در مزرعه‌ای به مساحت حدود ۱/۲ هکتار شامل ۲۷ جوی و پشته به‌طول ۲۳۷ و فواصل ۱/۸۳ متر در ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان واقع در کیلومتر ۳۰ جاده اهواز - آبادان انجام شد. موقعیت مزرعه آزمایشی در ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۷/۶۲ متر می‌باشد. مراحل آماده‌سازی زمین برای کشت نیشکر شامل شخم عمیق، دیسک سنگین به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها و آماده کردن بستر، ماله زنی، شیار زنی (تهیه جوی و پشته) و عملیات کودپاشی (سوپرفسفات تریپل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کشت انجام شد. در شرایط خاک‌های رسوبی جنوب خوزستان، فسفر موردنیاز نیشکر از منبع کود فسفاته تأمین می‌شود که با توجه به بیوماس تولیدی بالای نیشکر، سالیانه مقداری از عناصر غذایی جذب‌شده گیاه به شکل پوشال و سرنی (شاخ و برگ و خاشاک) و همچنین ریشه‌های گیاه، به زمین بر می‌گردد. پس از انتخاب رقم موردنظر (رقم CP69-1062 به دلیل رقم تجاری منطقه)، کشت قلمه به‌صورت دو ردیفه و با فاصله ردیف‌های کشت ۴۰ سانتی‌متر، به روش دستی مستقیماً روی پشته انجام و لوله‌های آبده به وسیله دستگاه لوله‌گذار در وسط دو ردیف کشت قرار گرفتند. در شکل (۱)، نمای کشت دو ردیفه و چگونگی پیشروی جبهه رطوبتی، در مرحله پیش از کشت نیشکر نشان داده شده است.

قبل از عملیات کشت، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک انجام و آنالیز خاک (EC، pH، کاتیون‌ها و آنیون‌ها، بافت و جرم مخصوص ظاهری) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، از نمونه‌های دست‌نخورده با استوانه‌های نمونه‌برداری استفاده و بافت خاک نیز به روش هیدرومتری تعیین شد. با افزایش عمق، هدایت الکتریکی خاک روند کاهشی و اسیدیته خاک روند افزایشی داشته است. جرم مخصوص ظاهری خاک نیز از سطح به عمق، روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده افزایش تراکم بیشتر خاک در اعماق پایین-تر است. نسبت جذبی سدیم خاک از سطح به عمق، روند کاهشی

داشته و تابع تغییرات میزان سدیم است، به‌طوری‌که خاک در لایه سطحی شور سدیمی و در لایه‌های پایین‌تر، شور است. برای تعیین درصد رطوبت خاک در نقاط ظرفیت زراعی (FC)[1] و پژمردگی دائم (PWP)[2] از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد (به ترتیب ۲۵/۱ و ۱۲/۹ درصد جرمی به‌دست آمد). نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش، در جدول (۱)، نتایج میانگین آنالیز ۱۵ ماهه آب آبیاری در دوره داشت، در جدول (۲) و میانگین ۲۰ ساله آمار هواشناسی منطقه، در جدول (۳)، نشان داده شده است.




**شکل ۱- نمای کشت دو ردیفه و جبهه رطوبتی در خاک**

**جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی قبل از اجرای آزمایش**

| عمق نمونه‌برداری (cm) | EC (dS/m) | pH | $\rho_b$ (gr/cm$^3$) | بافت خاک | کاتیون‌ها (meq/l) | | | | نسبت جذبی سدیم (SAR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $Na^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $K^+$ | |
| ۳۰-۰ | ۶/۹۷ | ۷/۱۹ | ۱/۵ | Si.C.L | ۵۱/۳ | ۱۱/۰۹ | ۱۱/۵۲ | ۰/۱۸ | ۱۵/۳۰ |
| ۶۰-۳۰ | ۴/۷۵ | ۷/۲۸ | ۱/۵۷ | Si.C.L | ۳۵/۶ | ۷/۸۲ | ۸/۰۴ | ۰/۱۲ | ۱۲/۶۴ |
| ۹۰-۶۰ | ۴/۷۳ | ۷/۲۹ | ۱/۶۱ | Si.C.L | ۳۲/۴ | ۹/۸۹ | ۱۰/۸۲ | ۰/۰۱ | ۱۰/۰۷ |

**جدول ۲- نتایج آنالیز آب آبیاری (رودخانه کارون) در دوره ۱۵ ماهه داشت نیشکر (مهرماه ۱۳۹۵ لغایت آذرماه ۱۳۹۶)**

| SAR | میانگین کاتیون‌ها (meq/l) | | | TH (mg/l) | | TDS (mg/l) | | pH | | EC (dS/m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mg^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $Na^+$ | میانگین | دامنه | میانگین | دامنه | میانگین | دامنه | میانگین | دامنه |
| ۶ | ۶/۹ | ۵/۳ | ۱۴/۸ | ۶۰۳ | ۸۶۵-۳۲۵ | ۱۵۶۰ | ۲۰۴۲-۱۱۰۰ | ۷/۵ | ۸-۷/۲ | ۲/۲ | ۱/۲-۶/۸ |

**جدول ۳- میانگین ۲۰ ساله پارامترهای اقلیمی ( ۱۳۷۷-۱۳۹۶)**

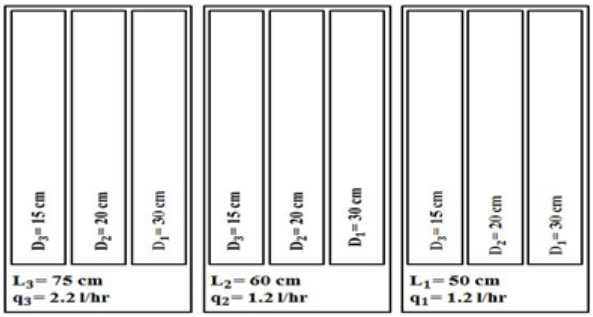
| میانگین باد | | حداکثر تبخیر | میانگین تبخیر | میانگین بارندگی | حداقل مطلق | حداکثر مطلق | میانگین کل | میانگین کل دما |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جهت وزش | سرعت (m/s) | روزانه (mm) | سالیانه (mm) | سالیانه (mm) | دما (°c) | دما (°c) | رطوبت (٪) | (°c) |
| NW | ۲/۴ | ۲۸/۲*** | ۳۲۱۸ | ۱۵۷ | -۴/۵** | *۵۱/۵ | ۴۴/۶ | ۲۵/۱ |

*این دما در تیر ماه ۱۳۷۷ اتفاق افتاده است. **این دما در بهمن ماه ۱۳۹۰ اتفاق افتاده است. ***این میزان تبخیر روزانه در تیر ماه ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است.

آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل و هر دو عامل عمق و فاصله قطره‌چکان‌ها، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی پیاده شدند. تیمارها شامل سه ترکیب فاصله قطره‌چکان‌ها روی لوله فرعی و سه عمق قرارگیری قطره‌چکان‌ها بود که در شکل (۲)، نشان داده شده‌اند. قطره‌چکان‌ها از نوع تنظیم شونده فشار و به‌صورت آنتی سیفون[3] (PC, AS) و پمپ انتخابی از نوع پمپ‌های سه‌طبقه فشارقوی شرکت پمپیران (WKL65/3) با دبی اسمی ۳۱ لیتر در ساعت بود. فشار در ایستگاه پمپاژ ۴۳ متر و لوله‌های قطره‌چکان-دار از شرکت سان استریم[4] ترکیه و با دبی ۱/۲ و ۲/۲ لیتر در ساعت بودند. فاصله قطره‌چکان‌های روی لوله‌ها ۵۰ و ۶۰ سانتی-متر (برای دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، ۱/۲ لیتر در ساعت) و ۷۵ سانتی‌متر (برای دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، ۲/۲ لیتر در

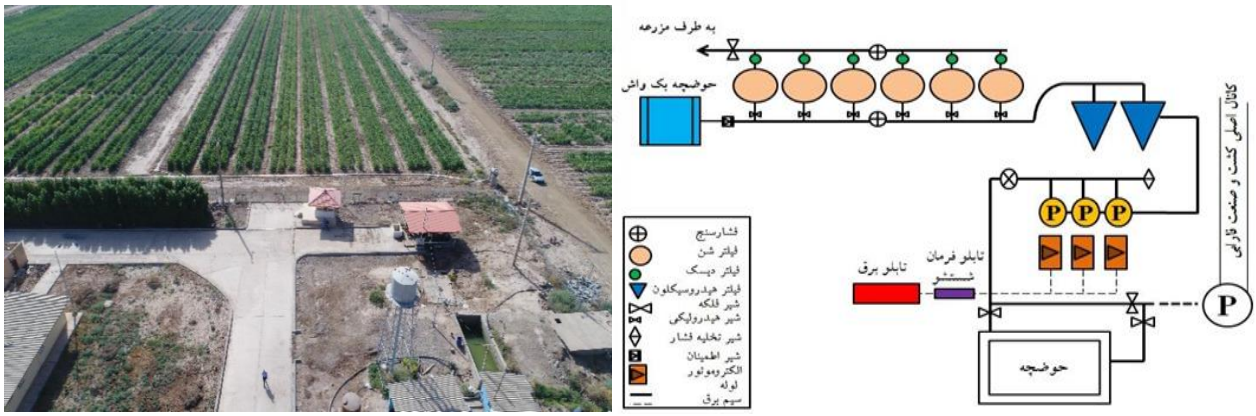
1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point
3. Pressure controlled dripper, Anti-siphon
4. Sunstream

ساعت) و عمق کارگذاری لوله‌ها ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک بودند. منبع تأمین آب، کانال اصلی کشت و صنعت حکیم فارابی بوده که توسط ایستگاه پمپاژ به محل مزرعه منتقل و طراحی و اجرای ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون با توجه به آنالیز اولیه آب آبیاری انجام شد. یک حوضچه رسوب‌گیر نیز در کنار ایستگاه احداث و تزریق اسید، کلر و کود نیز از حوضچه انجام شد. زمان آبیاری با استفاده از اطلاعات لایسیمتر حجمی احداث شده در منطقه و استفاده از اطلاعات تشتک تبخیر تعیین شد و برای کنترل، از تعدادی حسگر رطوبتی نیز استفاده گردید. دور آبیاری در پیک آبیاری به‌صورت روزانه (۱۲ ساعت آبیاری در روز) و در سایر روزها بر اساس عمق خالص آب ذخیره‌شده در منطقه ریشه و تبخیر و تعرق گیاه محاسبه شد که در مجموع دور آبیاری بین محدوده ۳-۱ روز بود. آبیاری تیمارها بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی گیاه نیشکر از آب قابل‌استفاده خاک و دور آبیاری صورت گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک برای تعیین جبهه رطوبتی در منطقه توسعه ریشه در طول دوره رشد نیز انجام شد. نمونه‌برداری و اندازه‌گیری اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک اطراف قطره-چکان‌ها و انجام عملیات کراپ لاگ (ارتفاع ساقه، سطح ایستابی، ازت، شاخص سطح برگ و رطوبت غلاف برگ به صورت هفتگی)، در دوره داشت نیز انجام شد. همچنین برای کنترل رطوبت خاک در دوره داشت نیشکر، تعدادی حسگر رطوبتی در مزرعه نصب و با استفاده از دستگاه TDR[1]، رطوبت خاک اطراف قطره‌چکان‌ها و توزیع آن کنترل شد.




**شکل ۲- شماتیک تیمارهای مختلف طرح آزمایشی**

بسته به میزان دفعات آبیاری و اسیدیته آب آبیاری، برای جلوگیری از انسداد قطره‌چکان‌ها، مقداری اسید به آب آبیاری تزریق و پس از مدت زمان مشخص از شبکه تخلیه شد. با توجه به وجود جلبک در آب آبیاری، گاز کلر در اسیدشویی نیز مانند تزریق کود (کودآبیاری)، قبل از شروع عملیات آبیاری و در رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد. در شکل (۳)، شماتیک ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون و نمایی از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اجرا شده، نشان داده شده است.




**شکل ۳- شماتیک ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و نمایی از مزرعه طرح آزمایشی اجرا شده**

با توجه به محاسبات طراحی برای طرح موصوف، در مجموع ۱۶/۵ مترمکعب در ساعت (۴/۶ لیتر در ثانیه) آب نیاز است که با تنظیم ورودی پمپ، آب موردنیاز تأمین شده و مازاد آن به حوضچه برگشت داده می‌شد. دور آبیاری نیز در دوره پیک مصرف به‌صورت روزانه و در سایر دوره‌ها در حدود ۳-۱ روزه بوده که از روابط مربوطه، محاسبه شد.

پس از قطع آبیاری و تنش خشکی اعمال‌شده، روند رسیدگی نی آغاز می‌شود. برای این منظور، از هر تیمار به‌صورت هفتگی نمونه‌های ۲۰ ساقه به‌صورت تصادفی انتخاب و کیفیت شربت نی اندازه‌گیری شد تا پس از تکمیل روند رسیدگی نیشکر، برداشت صورت گیرد. سه تکرار ۱۰ متری از هر تیمار آزمایشی انتخاب نموده و تعداد ساقه شمارش و با اندازه‌گیری وزن ۲۰ ساقه، تراکم ساقه، عملکرد کل و عملکرد خالص نیشکر، به تن در هکتار و تعداد ساقه در هکتار تعمیم داده شد. پس از تعیین

1. Time Domain Refrectometery

عملکرد، با توجه به حجم آب مصرفی در طول دوره رشد نیشکر (آبیاری و بارندگی)، بهره‌وری آب (نسبت عملکرد به حجم آب مصرفی)، محاسبه شد. همچنین در هر تیمار و در سه تکرار طولی، تعداد ۶۰ ساقه به‌طور تصادفی انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری وزن و ارتفاع ساقه‌ها، فاکتورهای کیفی نیز در آزمایشگاه اندازه-گیری و محاسبه شدند. برای تعیین خصوصیات کیفی نیشکر، پس از عصاره‌گیری از نی، میزان درصد ساکارز شربت[1] و ذرات جامد محلول در عصاره نی[2]، اندازه‌گیری شدند. به درصد قند موجود در عصاره نیشکر، پل می‌گویند و با دستگاه ساکاری‌متر[3] اندازه‌گیری می‌شود و عدد قرائت‌شده از این دستگاه پل ریدینگ نام دارد که با یک ضریب اصلاحی از جداول مربوطه، میزان پل واقعی محاسبه می‌شود. به درصد مواد جامد محلول در عصاره نیشکر، بریکس می‌گویند و با دستگاه رفراکتومتر[4] اندازه‌گیری و با تقسیم پل بر بریکس، درجه خلوص شربت[5] محاسبه می‌شود. نسبت کیفیت[6] نیز از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. درصد شکر زرد[7]، شکر سفید تصفیه‌شده[8] و عملکرد شکر سفید[9] نیز از روابط (۳) تا (۵)، محاسبه می‌شوند (ICUMSA, 2009[10])

$$\% \text{ POL} = \text{Pool Factor} \times \text{SR} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\text{Q.R} = \frac{\text{P.F}}{\text{Pol}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\text{Yield} = \frac{100}{\text{Q.R}} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$R.S = Yield \times 0.83 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\text{S.Y} = \text{Y} \times \text{R.S} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در این روابط:

POL: درصد ساکاروز شربت نیشکر و Pool Factor : درصد ساکاروز شربت قرائت شده است و از جداول مربوطه استخراج می‌شود.

$SR$: ضریب اصلاحی پل، Q.R: نسبت کیفیت شربت نیشکر، P.F: ضریب تصحیح درصد خلوص، Yield: عملکرد شکر زرد (ton/ha)، $R.S$: درصد شکر سفید تصفیه‌شده، S.Y: عملکرد نهایی شکر سفید تصفیه‌شده (ton/ha) و Y: عملکرد نهایی نیشکر (ton/ha) است.

یکی از شاخص‌های مدیریت آب در مزرعه، شاخص بهره-وری آب[11] است که برای محاسبه آن، رابطه (۶)، استفاده می‌شود.

$$WP = \frac{Yield}{V_{IRR}} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در این رابطه:

WP: بهره‌وری آب آبیاری ($Kg/m^3$) ، Yield: عملکرد بیولوژیکی (Kg/ha) و VIRR: حجم آب آبیاری ($m^3/ha$) است.

به‌طور کلی طبق تعریف بهره‌وری آب، عبارت است از مقدار محصول تولیدشده به ازای واحد حجم آب مصرفی که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. در واقع بهره‌وری آب مشخص می‌کند که به ازای کاربرد مقدار مشخصی از آب، چه مقدار ماده تولید می‌شود.

در نهایت، به منظور برازش داده‌ها، از نرم‌افزار EXCEL و برای آنالیز آماری، از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

## نتایج و بحث

حجم آب آبیاری و بارندگی و در نهایت حجم کل آب مصرف‌شده در طول دوره داشت نیشکر، در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و همچنین در آبیاری مرسوم منطقه، در جدول (۴)، ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود، منبع اصلی تأمین آب موردنیاز گیاه، ناشی از آبیاری است و حجم بارندگی ناچیز است. در تیمارهای مربوطه، با فاصله قطره‌چکان‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متری به‌ترتیب مقدار آب آبیاری برابر با ۱۰۰، ۸۵ و ۱۱۵ درصد نیاز آبی تأمین شده است. در مجموع میانگین حجم کل آب مصرفی ناشی از آبیاری در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، حدود ۵۰ درصد آبیاری مرسوم است و این موضوع نشان می‌دهد که با اجرای این روش آبیاری، صرف‌نظر از اعمال عمق یا فاصله مشخص، به‌طور متوسط حدود ۵۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی خواهد شد.

در جداول شماره (۵) و (۶)، مقایسه میانگین فاصله، عمق و اثرات متقابل فاصله در عمق کارگذاری قطره‌چکان‌ها در خصوصیات مختلف کمی و کیفی نیشکر، نشان داده شده است.

بررسی تجزیه واریانس صفات کمی (جدول ۵)، شامل عملکرد، تعداد ساقه در هکتار و ارتفاع ساقه نیشکر نشان داد که تیمارهای آزمایش از نظر فواصل و اعماق کارگذاری و اثرات متقابل آنها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با هم دارند. همچنین بررسی تجزیه واریانس صفات کیفی (جدول ۶)، نشان داد که تیمارهای آزمایش در تمام صفات فوق به‌جز درصد ساکارز شربت نی، از نظر فاصله بین قطره‌چکان‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با هم دارند. از نظر عمق کارگذاری نیز ذرات

1. Pol
2. Brix
3. Saccharimeter
4. Refractometer
5. Purity (PTY)
6. Quality Ratio (Q.R)
7. Yield (Y)
8. Recorvery Sugar (R.S)
9. Sugar Yield (S.Y)
10. International Commission for Uniform Methods in Sugar Analysis
11. Water Productivity

جامد محلول در شربت نی، در سطح احتمال پنج درصد و درصد خلوص شربت نی و درصد شکر قابل استحصال در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری با هم دارند. درصد ساکارز شربت نی از نظر فواصل و اعماق کارگذاری و اثرات متقابل آنها، معنی‌دار نبوده ولی عملکرد شکر، از نظر فاصله قطره‌چکان‌ها، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار و از نظر اعماق کارگذاری و اثرات متقابل عمق و فاصله، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نشده است. در جدول (۷)، آنالیز آماری برخی ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر در تیمارهای مختلف نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات کمی نیشکر نشان داد که بیشترین عملکرد نیشکر در فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متری (دریک گروه قرار دارند و تفاوت معنی‌داری ندارند) بوده و با عمق کارگذاری ۳۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. همچنین بیشترین تراکم ساقه در فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده است که با عمق کارگذاری ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری، تفاوت‌ها معنی‌دار نیست.

**جدول ۴- حجم آب آبیاری، بارندگی و حجم کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف و آبیاری مرسوم**

| تیمارها | | حجم آب مصرفی ($m^3/ha$) | | |
|---|---|---|---|---|
| فاصله (cm) | عمق (cm) | آب آبیاری | آب بارندگی | کل آب مصرف‌شده |
| $L_{50}$ | $D_{30}$<br>$D_{20}$<br>$D_{15}$ | ۱۸۳۱۸ | ۸۸۳ | ۱۹۲۰۱ |
| $L_{60}$ | $D_{30}$<br>$D_{20}$<br>$D_{15}$ | ۱۵۲۷۷ | ۸۸۳ | ۱۶۱۶۰ |
| $L_{75}$ | $D_{30}$<br>$D_{20}$<br>$D_{15}$ | ۲۱۱۴۹ | ۸۸۳ | ۲۲۰۳۲ |
| آبیاری مرسوم (شاهد) | | ۳۶۰۰۰ | ۸۸۳ | ۳۶۸۸۳ |

**جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل فاصله در عمق کارگذاری قطره‌چکان‌ها در صفات کمی مختلف**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | عملکرد نیشکر (ton/ha) | تعداد ساقه در هکتار | ارتفاع ساقه (cm) | بهره‌وری آب به ازای شکر تولیدی ($kg/m^3$) | بهره‌وری آب به ازای نیشکر تولیدی ($kg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۷/۸۱ $^{n.s}$ | ۳۶۸۷۱۸۱۱ $^{**}$ | ۴/۳۴ $^{*}$ | ۰/۰۴۴ $^{**}$ | ۰/۰۲۴ $^{n.s}$ |
| فاصله | ۲ | ۵۴۰/۷ $^{**}$ | ۹۹۸۶۳۹۸۶۰ $^{**}$ | ۴۴/۷۸ $^{**}$ | ۰/۱۲ $^{**}$ | ۷/۵۹ $^{**}$ |
| عمق | ۲ | ۵۸/۹۲ $^{**}$ | ۷۴۰۸۴۱۷۸ $^{**}$ | ۷۲۷/۱۱ $^{**}$ | ۰/۰۰۲۲ $^{**}$ | ۰/۱۵ $^{**}$ |
| اثر متقابل | ۴ | ۴۶/۴۸ $^{**}$ | ۲۷۷۵۹۲۷۷۳ $^{**}$ | ۵۸۳/۲۲ $^{**}$ | ۰/۰۰۰۲۶ $^{n.s}$ | ۰/۱۱ $^{**}$ |
| خطای کل | ۱۶ | ۳/۴۳ | ۵۲۱۱۰۹۳ | ۴/۶۷ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۱۱ |
| ضریب تغییرات | | ۱/۵۳ | ۱/۳۱ | ۱/۰۷ | ۱/۷۰ | ۱/۶۳ |

**جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل فاصله × عمق کارگذاری قطره‌چکان‌ها در صفات کیفی مختلف**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | ذرات جامد محلول در شربت نی | درصد ساکاروز شربت نی | درصد خلوص شربت نی | درصد شکر قابل استحصال | عملکرد شکر (ton/ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۵/۵۸ $^{**}$ | ۰/۶۱ $^{n.s}$ | ۹/۶ $^{**}$ | ۹/ $^{**}$ | ۱۵/۴ $^{**}$ |
| فاصله | ۲ | ۵/۰۵ $^{**}$ | ۱/۸۹ $^{n.s}$ | ۰/۶ $^{**}$ | ۰/۸۴ $^{**}$ | ۳/۰۵ $^{**}$ |
| عمق | ۲ | ۰/۶۳ $^{*}$ | ۰/۱۳ $^{n.s}$ | ۰/۷۲ $^{**}$ | ۰/۰۷ $^{**}$ | ۰/۸۳ $^{**}$ |
| اثر متقابل | ۴ | ۰/۸۸ $^{**}$ | ۰/۳۱۸ $^{n.s}$ | ۰/۱۸ $^{n.s}$ | ۰/۱۶۴ $^{**}$ | ۰/۱۰۳ $^{n.s}$ |
| خطای کل | ۱۶ | ۰/۱۵ | ۰/۴۹ | ۰/۸۴ | ۰/۰۰ | ۰/۰۵۲ |
| ضریب تغییرات | | ۱/۸ | ۳/۶۹ | ۰/۳۰ | ۰/۱۴ | ۱/۶۲ |

بیشترین ارتفاع ساقه در فاصله ۶۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۱۵ سانتی‌متری بوده که این موضوع با نتایج پژوهش‌های (Leonardo *et al*., 2016) و ( Regina Célia *et al*., 2015) هم‌خوانی دارد. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات کیفی نیشکر نشان داد که بالاترین عملکردهای کیفی Pol، Brix و RS در فاصله ۶۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۱۵ سانتی‌متری که کمترین میزان آب را دریافت کرده‌اند، بوده و اغلب تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با اعماق دیگر دارند. نتایج تحقیقات (Bull., 1971) نشان داد که تحت شرایط کم‌آبی و تنش در پایان فصل رشد، میزان قند و کیفیت ساقه‌های نیشکر افزایش می‌یابد که نتیجه به دست آمده با نتایج پژوهش اشاره‌شده، همخوانی دارد. بیشترین عملکرد شکر

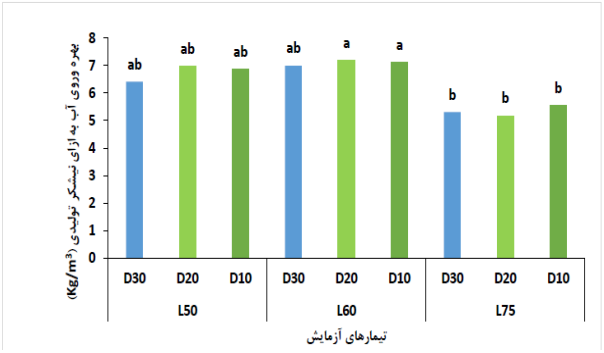
نیز در فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۱۵و ۲۰ سانتی‌متری (دریک گروه قرار دارند و تفاوت معنی‌داری ندارند) بوده و با عمق کارگذاری ۳۰ سانتی‌متری تفاوت‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. بالاترین عملکرد کیفی درصد خلوص و عملکرد شکر در فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۱۵ سانتی‌متری به‌میزان ۹۰/۷ درصد و ۱۵/۱۸ تن در هکتار بوده که با عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری در یک گروه قرار دارند و تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود ندارد ولی با اعماق و فواصل دیگر تفاوت‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است.

**جدول ۷- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات کمی و کیفی نیشکر در آزمایش**

| تیمارها | | خصوصیات کمی | | | خصوصیات کیفی | | | | عملکرد شکر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فاصله (cm) | عمق (cm) | ارتفاع ساقه (cm) | تعداد ساقه در هکتار | عملکرد خالص نیشکر (ton/ha) | Brix (%) | Pol (%) | PTY (%) | RS (%) | (ton/ha) |
| | $D_{30}$ | $^{d}$۱۹۷ | $^{b}$۱۸۴۶۰۱ | $^{b}$۱۲۳ | $^{ab}$۲۱/۷ | $^{ab}$۱۸/۹ | $^{b}$۸۷ | $^{d}$۱۱/۶ | $^{b}$۱۴/۳ |
| $L_{50}$ | $D_{20}$ | $^{c}$۲۰۲ | $^{a}$۱۹۱۳۳۳ | $^{a}$۱۳۴ | $^{c}$۲۰/۱ | $^{b}$۱۸/۱ | $^{a}$۹۰ | $^{f}$۱۱/۱ | $^{a}$۱۴/۹ |
| | $D_{15}$ | $^{b}$۲۱۰ | $^{c}$۱۷۸۵۹۹ | $^{a}$۱۳۲ | $^{b}$۲۰/۵ | $^{ab}$۱۸/۶ | $^{a}$۹۰/۷ | $^{e}$۱۱/۵ | $^{a}$۱۵/۲ |
| | $D_{30}$ | $^{e}$۱۹۰ | $^{b}$۱۸۴۰۰۲ | $^{d}$۱۱۳ | $^{ab}$۲۲/۲ | $^{a}$۱۹/۵ | $^{b}$۸۷/۸ | $^{b}$۱۲ | $^{c}$۱۳/۶ |
| $L_{60}$ | $D_{20}$ | $^{f}$۱۸۱ | $^{d}$۱۷۰۰۲۰ | d$^{c}$۱۱۶ | $^{ab}$۲۲/۲ | $^{ab}$۱۹/۲ | $^{b}$۸۶/۹ | $^{c}$۱۱/۸ | $^{c}$۱۳/۷ |
| | $D_{15}$ | a۲۲۵ | $^{e}$۱۶۳۶۲۳ | d$^{c}$۱۱۵ | $^{a}$۲۲/۵ | $^{a}$۱۹/۷ | $^{b}$۸۷/۷ | $^{a}$۱۲/۲ | $^{b}$۱۴ |
| | $D_{30}$ | $^{d}$۱۹۵ | $^{e}$۱۶۲۳۶۶ | $^{c}$۱۱۷ | $^{ab}$۲۱/۸ | $^{ab}$۱۸/۷ | $^{b}$۸۶/۹ | $^{e}$۱۱/۵ | $^{c}$۱۳/۵ |
| $L_{75}$ | $D_{20}$ | $^{b}$۲۰۹ | $^{f}$۱۵۶۹۶۹ | $^{dc}$۱۱۴ | $^{ab}$۲۲/۰۰ | $^{ab}$۱۹/۱ | $^{b}$۸۶/۸ | $^{c}$۱۱/۸ | $^{c}$۱۳/۵ |
| | $D_{15}$ | $^{d}$۱۹۸ | $^{d}$۱۷۲۳۱۰ | $^{b}$۱۲۲ | $^{b}$۲۱/۵ | $^{ab}$۱۸/۷ | $^{b}$۸۷ | $^{e}$۱۱/۵ | $^{b}$۱۴ |

در شکل‌های ۴ و ۵، بهره‌وری آب با توجه به عملکرد نیشکر و شکر تولیدی و حجم آب مصرفی نشان داده شده است. کاهش آب مصرفی، باعث افزایش خصوصیات کیفی نیشکر گردیده و این موضوع منجر به افزایش بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی شده است، به‌طوری که در فاصله ۶۰ و عمق کارگذاری ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، بیشترین بهره‌وری آب به ازای نیشکر تولیدی، به‌میزان ۷/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده و با عمق ۱۵ سانتی‌متری، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ ندارد. بهره‌وری آب به ازای شکر تولیدی نیز در فاصله ۶۰ سانتی-متری قطره‌چکان‌ها و عمق کارگذاری ۱۵ سانتی‌متری دارای بیشترین عملکرد به‌میزان ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده که با اعماق دیگر، تفاوت معنی‌داری ندارد. همچنین کم‌ترین بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی در عمق ۷۵ سانتی‌متری، به-ترتیب میزان ۵/۱۷ و ۰/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که با اعماق دیگر، تفاوت معنی‌داری ندارد.

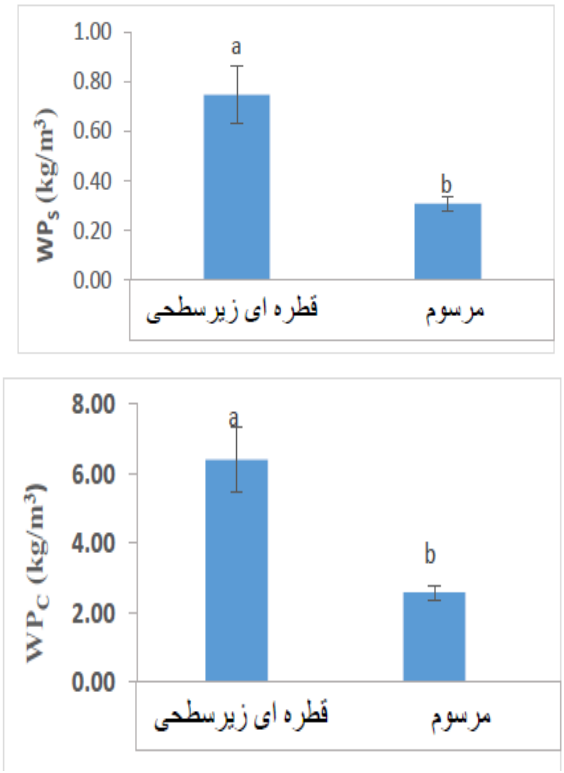
(Javari *et al.*, 2011) بهره‌وری آب به ازای نیشکر تولیدی برای بهترین مزارع انتخابی در سیستم آبیاری جویچه‌ای انتها بسته (روش مرسوم)، در کشت و صنعت حکیم فارابی با رقم CP57-614 را بین ۳/۵۴-۱/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند که بهره‌وری آب به‌دست‌آمده در این آزمایش با اعمال سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌طور متوسط بیش از ۲/۵ برابر میانگین مقدار فوق است و دلیل اختلاف زیاد آن به نوع سیستم آبیاری و مدیریت آن بر می‌گردد که این موضوع نشان می‌دهد استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری، می‌تواند باعث افزایش قابل‌توجه بهره‌وری آب شود.




**شکل ۴- بهره وری آب به ازای نیشکر تولیدی در تیمارهای مختلف طرح آزمایشی**

**شکل ۵- بهره وری آب به ازای شکر تولیدی در تیمارهای مختلف طرح آزمایشی**

همچنین در شکل ۶، بهره‌وری آب با توجه به عملکرد نیشکر و شکر تولیدی و حجم آب مصرفی در آبیاری مرسوم منطقه و مقایسه با میانگین تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.




**شکل ۶- مقایسه بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری مرسوم**

همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، میانگین کل بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب حدود ۶/۴۱ و ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که نسبت به سیستم آبیاری مرسوم که در آن بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی به‌ترتیب حدود ۲/۵۸ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود، افزایش حدود ۶۰ درصدی را به دنبال داشت. (Darli and Cruz, 2008) نشان دادند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند سبب افزایش کمیت و کیفیت نیشکر شود و روش مناسبی برای کشت نیشکر به شمار می‌رود.

## نتیجه‌گیری

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، از بهینه‌ترین روش‌های آبیاری است که در بخش‌های اجرایی، پژوهشی و دانشگاهی بالأخص برای نیشکر تقریباً ناشناخته بوده و برای اولین بار در کشت نیشکر در ایران اجرا شده است. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و مسئله بحران و کمبود آب و اهمیت مسائل زیست‌محیطی، برای بررسی بیشتر و کاربردی کردن آن بسیار با ارزش خواهد بود. به‌طور کلی در این پژوهش، صرف‌نظر از اعمال هرگونه تیمار، سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه آبیاری مرسوم، کاهش حدود ۵۰ درصدی آب مصرفی را به دنبال داشت و این در حالی است که میانگین محصول تولیدی نیز بیش از ۲۵ درصد افزایش داشته است. همچنین سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، نسبت به سیستم آبیاری مرسوم، افزایش حدود ۶۰ درصدی بهره‌وری آب به ازای نیشکر و شکر تولیدی را به دنبال داشت. با توجه به نتایج حاصل و با در نظر گرفتن یکنواختی توزیع رطوبت، شوری سطح خاک، عدم ایجاد رواناب، حفاظت از لوله آبده، حذف تبخیر سطحی و توسعه ریشه نیشکر، عمق ۲۰ سانتی‌متری کارگذاری لوله آبده و فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها روی لوله فرعی پیشنهاد می‌شوند، ولی با توجه به بالا بودن تبخیر در برخی از روزها و طولانی بودن زمان یک دور آبیاری به‌دلیل پایین بودن دبی قطره‌چکان‌ها، دبی دو لیتر بر ساعت با فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها، می‌تواند گزینه مناسبی باشد.

## سپاسگزاری

از مدیر عامل و معاونت محترم مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، جناب آقای مهندس امیر درخشان‌زاده و جناب آقای دکتر کورش طاهرخانی، برای حمایت‌های مادی و اجرایی طرح و همکاران محترم مدیریت به‌زراعی، بالأخص آقایان مهندسین جلیل کرمان‌نژاد، مجید حمودی و آقای دکتر مسلم منصوری‌نژاد، برای همکاری در کلیه مراحل اجرایی تا بهره‌برداری، کمال تشکر و سپاس‌گذاری را دارم.

## REFERENCES

Abbasi, F. and. Sheinidashtegol, A. (2016). Assess and improve the management of furrow irrigation in irrigated fields of sugarcane in Khuzestan. *Journal of Water and Soil Science*, (2)4, 109-121. (In Farsi).

Ben-Gal, A., Lazorovitch, N. and Shani, U. (2004). Subsurface Drip Irrigation in Gravel Filled Cavities. *Vadose Zone Journal* 3:1407-1413.

Bull, T. A. (1971). Thecu path way related to growth rates in sugarcane. PP. 68-75. In: M. D. Hatch, C. B. Osmond and R. O. Slatyer (Eds.), Photosynthesis and Photorespiration. John Wiley Inc., USA.

Dalri, A. B. and Cruz, R. L. (2008). Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com NeK via gotejamento subsuperficial. Eng. Agr. 28(3), 516–524 (in Portuguese).

ICUMSA (International Commission for Uniform

Methods in Sugar Analysis). (2009). ICUMSA Methods book and ICUMSA supplement. Edt, Whalley, H.C.S. Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York. 420pp.

Javadi, F., Moazed, H., Haghnazari, F., Bait leteh, R. (2011). Evaluation Water Productivity and Water Use Efficiency in the cultivation of sugar cane on the CP57-614 Variety in the agro-industry Hakim Farabi, The first national conference on strategies for achieving sustainable agriculture, PNU, Ahvaz (In Farsi).

Lamm, F. R., and Camp, C.C. (2007). Subsurface drip irrigation. Micro irrigation for crop production: Design, operation and management, F. R. Lamm, J. E. Ayars and F. S. Nakayama, eds., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 618.

Lamm, F. R., and Trooien, T. P. (2003). Subsurface drip irrigation for corn roduction: a review of 10 years of research in Kansas." *Irrig. Sci*., 22(2–3), 195–200.

Leonardo N.S. dos Santosa, Edson E. Matsura, Ivo Z. Gonc¸ alves, Eduardo A.A. Barbosa, Aline A. Nazário, Natalia F. Tuta, Marcelo C.L. Elaiuy, Daniel R.C. Feitosa, Allan C.M. de Sousa. (2016). Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities, *Agricultural Water Management*, n170, 91-98.

Nameless. (1971). First consultant engineers, First Phase Studies in the Sugarcane Development and industry Company Plan, Vol 7, Sugarcane studies (In Farsi).

Oliveira, R.C., Cunha, N.F., da Silva, N. F., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., and Megguer, C. A. (2014). Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. *Africa journal of agriculture research*. Vol.9 (11). Pp993-1000.

Pires, R.C.M.; Barbosa, E.A.A., Arruda, F.B.,Sakai,E., and da Silva, T.J.A. (2014). Effects of Subsurface Drip Irrigation and Different Planting Arrangements on the Yields and Technological Quality of Sugarcane. J. Irrig. Drain Eng.

Regina Célia, M. P; Eduardo Augusto A. B; Flávio Bussmeyer A; Emílio, S. and Tonny Jose A.S. (2015). Effects of Subsurface Drip Irrigation and Different Planting Arrangements on the Yields and Technological Quality of Sugarcane. *ASCE*, A5014001-1, J. Irrig. Drain. Eng.

Saifi, A., Mirlatifi, S.M., Dehghani Sanich, H., Torabi, M. (2014). The effect of irrigation rounds On the distribution of moisture and salinity in pistachio orchards under subsurface drip irrigation, *Irrigation and Drainage Journal of Iran*, No 4, Vol 8, P. 786-799 (In Farsi).

Sedaghati, N, Hosaini - Fard, S.J, Mohamadi Mohamad-Abadi, (2012). Compare the effect of surface and subsurface drip irrigation on growth and yield of pistachio trees, *Journal of Soil and Water*, 26(3): p. 575-585 (In Farsi)

Sheini Dashtegol, A., Kashkouli, H.A., Boroomand Nasab, S. (2009), The effects of every-other furrow irrigation on Water Use Efficiency and quality and quantity characteristics in South Ahvaz sugarcane fields, *Journal of Soil and Water Sciences*, Isfahan University of Technology, year 13, No 49, P. 45-57 (In Farsi).

Skaggs TH, Trout TJ, Šimůnek J and Shouse PJ. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. J Irrig Drain Eng 130: 304–310.

Thompson, D.L. Roberts, T., and Lazarovitch, N. (2010). Managing soil surface salinity with subsurface drip irrigation. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 6 August 2010, Brisbane, Australia.

Thorburn, P.J., Cook, F. J. and Bristow, K. L. (2003). Soil dependent wetting from trickle emitters: Implication for system design and management Irrigation Science.22:121-127.

Uribe, R. A. M., DE C. Gava, G. J., Saad, J. C. C. and Kolln, O. T. (2013). Ratoon sugarcane yield integrated drip irrigation and nitrogen fertilization. Eng. Agríc., Jaboticabal, Vol.33, N.6, p.1124-1133.