نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۳ شماره ۱ صفحه‌های ۱۸۹ تا ۲۰۱/ سال ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

مقایسه الگوی توزیع عمودی رطوبت خاک تحت تاثیر آبیاری قطره‌ای –سطحی و آبیاری غرقابی–زیرزمینی

بیتا مروج الاحکامی[1*]، جلال مدیری یزدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

۲-مدیرعامل شرکت گوهر نجات کویر یزد، یزد، ایران.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: b.moravej@areeo.ac.ir

چکیده

به دلیل کاهش منابع آبی و افزایش دور آبیاری سنتی در باغات، روی آوردن به سیستم‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری تحت فشار امری ضروری است. اما آنچه موجب نگرانی است اثرات تغییر سیستم آبیاری از سنتی به تحت فشار از نقطه نظر تامین نیاز آبی درختان مسن و تغییر کیفیت خاک به مرور زمان می‌باشد. در این مطالعه، دو روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی و آبیاری قطره‌ای- سطحی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد اجرا شدند. سنجش رطوبت حجمی خاک در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتری از سطح خاک برای هر روش آبیاری با سه تکرار در طول دوره آزمایشی(اردیبهشت تا دی ۱۳۹۸) انجام شد. نتایج نشان داد که رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای- سطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متری و ۳۰ سانتی‌متری در انتهای دور آبیاری بیشتر از آبیاری غرقابی-زیرزمینی بود. دو روز بعد از آبیاری اثرات آبیاری غرقابی- زیرزمینی بر توزیع رطوبت خاک در اعماق پایین‌تر خاک مشهود شد، به گونه‌ای که رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک در آبیاری غرقابی- زیرزمینی بیشتر از آبیاری قطره‌ای -سطحی بود. سنجش رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک نشان داد روش آبیاری غرقابی -زیرزمینی قادر به طولانی کردن دور آبیاری به مدت ۹ روز است. به طور کلی با توجه به شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی آبیاری غرقابی-زیرزمینی در راستای صرفه‌جویی در مصرف آب و رساندن تدریجی آب به لایه‌های زیرین خاک موثر عمل کرده است، اگرچه به دلیل کاربرد آب در زیرسطح خاک منجر به افزایش شوری خاک سطحی شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرزمینی، آبیاری غرقابی، آبیاری قطره‌ای، تبخیر، شوری خاک.

The Comparison of Vertical Soil Water Distribution under Surface-Drip Irrigation and Subsurface-Flood Irrigation

B Moravejalahkami[1*], J Modiri[2]

Received: June 14, 2020 Accepted: April 05, 2021

1-Assist. Prof, Soil and Water Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
2- CEO of Gohar Nejat Kavir Yazd Company, Yazd, Iran.
* Corresponding Author, Email: b.moravej@areeo.ac.ir

Abstract

Due to decreasing water resources and increasing irrigation interval in gardens, implementation of modern irrigation systems such as under-pressure irrigation is necessary. But the main concern is the effects of changing traditional irrigation systems to under-pressure irrigation systems from the point of view of supplying water needs of old trees and temporal variations of soil characteristics. In this study, two methods of subsurface-flood irrigation and surface-drip irrigation were implemented in Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. The soil water content was monitored during the experimental period (18 May 2019 to 10 January 2020) by installing TDR probes in three soil depths of 15, 30 and 60 cm for each irrigation method with three replications. The results showed that soil water content at the soil depths of 15 cm and 30 cm were higher for surface-drip irrigation as compared to the subsurface-flood irrigation at the end of the irrigation interval. Two days after irrigation, the effects of subsurface-flood irrigation on soil moisture distribution became apparent at the deep layers of the soil, such a way that soil water content at the soil depth of 60 cm was higher for subsurface-flood than surface-drip irrigation. The measuring of the soil water content at the soil depth of 60 cm in subsurface-flood irrigation showed that the irrigation interval could be increased about 9 days as compared to the surface- drip irrigation. However, because of applying water below the soil surface for the subsurface- flood irrigation, the salinity increment occurred at surface soil.

Keywords: Drip irrigation, Evaporation, Flood irrigation, Soil salinity, Subsurface irrigation

مقدمه

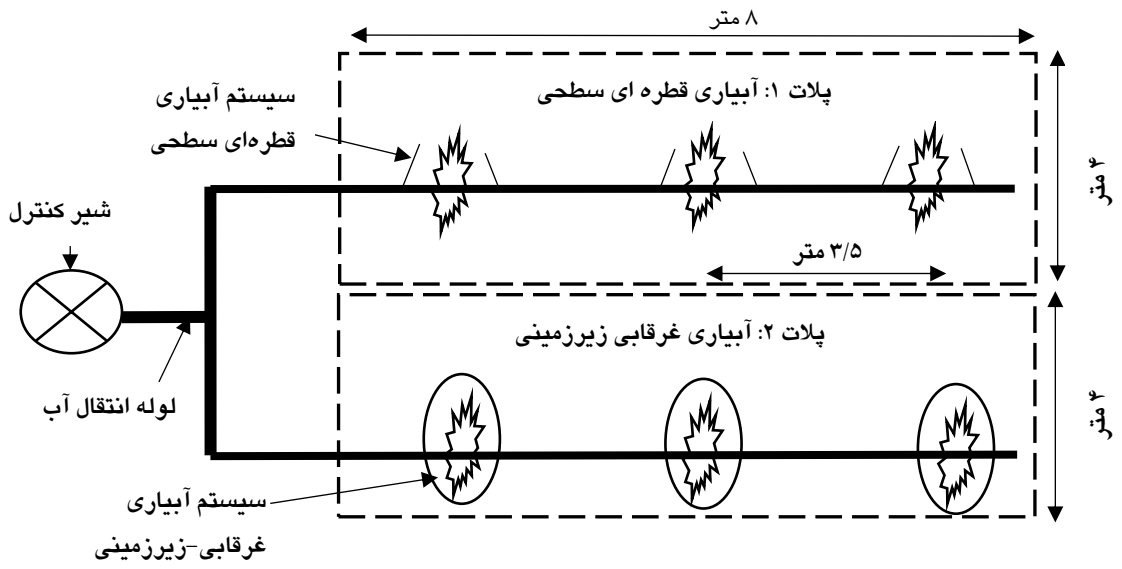
استان یزد یکی از مناطق خشک ایران با بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلیمتر است که عمدتا آب کشاورزی در این منطقه از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تامین می‌شود. از سویی برداشت مداوم آب از سفره‌ها در سال‌های اخیر منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی شده و همواره از کیفیت آن کاسته می‌شود و از سوی دیگر به دلیل تبخیر بسیار زیاد منطقه یزد (سالانه حدود ۳۵۰۰ میلیمتر) بخش زیادی از آب آبیاری از طریق تبخیرسطحی در روش‌های آبیاری غرقابی هدر می‌رود (کاظمی‌نژاد و همکاران ۲۰۰۶). با توجه به محدودیت منابع آب، هدف اصلی کشاورزی در منطقه بایستی بالابردن تولید به ازای واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از این منابع باشد(لیاقت و همکاران ۲۰۱۸). در این راستا، آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های با راندمان بالا است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش تلفات آبیاری می‌شود (ناکایاما و باکس ۱۹۸۶). در آبیاری قطره‌ای آب از یک منبع نقطه-ای (قطره‌چکان یا گسیلنده) وارد خاک می‌شود و حجم خاک خیس شده، الگوی جبهه رطوبتی، سطح و سرعت حرکت آب در خاک بر روی توزیع آب به صورت افقی و عمودی اثرگذار است. این پارامترها وابسته به طراحی و عملکرد سیستم آبیاری قطره‌ای نیستند ولی به مقدار آب کاربردی و دبی قطره‌چکان‌ها و همچنین خصوصیات فیزیکی خاک بستگی دارند (ایکر و همکاران ۲۰۰۹، کلارک و همکاران ۱۹۹۳). بر اساس نتایج مطالعه الاوگیدی و همکاران(۲۰۱۶) بافت و همگنی خاک عوامل موثر بر توزیع رطوبت خاک تحت روش آبیاری قطره‌ای هستند

که باید در مدیریت و طراحی این سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرند. همچنین بر اساس مطالعه کریمی و همکاران(۲۰۲۰)، آربات و همکاران (۲۰۲۰) و لیو و زو (۲۰۱۸) توزیع رطوبت خاک نقش مهمی در طراحی و مدیریت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی دارد. در مطالعه العمود و همکاران (۲۰۰۰) واکنش درختان خرما نسبت به سه روش آبیاری کرتی، بابلر و قطره‌ای بررسی شد. بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین عملکرد محصول و کارایی مصرف آب به سیستم آبیای قطره‌ای و سپس آبیاری کرتی اختصاص داشت. در حال حاضر در استان یزد به دلیل کاهش منابع آبی و افزایش دور آبیاری سنتی در باغات، درختان دچار تنش ناشی از خشکی شده‌اند که لطمات وارد شده در مواردی جبران ناپذیر است. روی آوردن به سیستم‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری تحت فشار در صورت امکان‌سنجی و مدیریت مناسب این سیستم‌ها امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. اما آنچه موجب نگرانی است اثرات تغییر سیستم آبیاری از سنتی به تحت فشار می‌باشد(محمدی محمدآبادی و همکاران ۲۰۰۸). اداره کل مناطق طبیعی استان یزد در سال ۱۳۷۲ با ارایه روش آبیاری زیرزمینی با استفاده از لوله‌های سفالی در منطقه اشکذر یزد مقدار مصرف آب در این لوله‌ها را نصف مصرف آب به روش غرقابی اعلام کرد(کاظمی‌نژاد و همکاران ۲۰۰۶). به دلیل شرایط محیطی و تابش مستقیم آفتاب و تلفات تبخیر در روش آبیاری سطحی، سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روش مناسبی به منظور دستیابی به راندمان بالا می‌باشد(لیاقت و همکاران ۲۰۱۸). سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یک روش نسبتا جدید است که البته با عوامل محدودکننده در خصوص بهره‌برداری از این سیستم، هزینه‌های مربوط به خرید لوازم موردنیاز و کارگذاری مواجه است. در این روش، آب موردنیاز گیاه از طریق لوله که بر اساس عمق و توسعه ریشه‌ها در زیرزمین قرار می‌گیرد تراوش نموده و براساس خاصیت موئینگی به طور مستقیم در منطقه ریشه توزیع می‌شود. معمولا در این روش سطح خاک خشک نگه داشته می‌شود لذا تلفات مربوط به تبخیر از سطح خاک کاهش یافته و مقدار آب مصرفی تقلیل می‌یابد. در نتیجه آب کاربردی به مصرف تعرق و رشد گیاهی خواهد رسید. همچنین در این روش آبیاری، اکسیژن‌دهی در منطقه ریشه به ویژه در خاک‌های سنگین افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات کوهستانی(۱۹۹۶) اگرچه کاربرد روش آبیاری زیرسطحی برای آبیاری درختان پسته منطقی بود ولی به لحاظ مصرف آب آبیاری (به مقدار ۲۰ درصد در مقایسه با روش سطحی) سبب افت شدید محصول شد. بر اساس نتایج این مطالعه کاربرد آب با حجم بیشتر در این روش آبیاری پیشنهاد شده است. همچنین بررسی کاربرد روش‌های آبیاری قطره‌ای –زیرسطحی نشان داده است که عموما کاربرد این سیستم‌ها باعث کاهش مصرف آب به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد برای گیاهان ردیفی و حتی صرفه‌جویی بیشتر برای باغات مرکبات می‌شود. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در صورت طراحی و بهره‌برداری مناسب، رطوبت خاک در طول دوره رشد گیاه نزدیک به حد زراعی بوده و گیاه بدون صرف انرژی زیاد آب مورد نیاز خود را دریافت می‌کند(محمدی محمدآبادی و همکاران ۲۰۰۸). نتایج کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در بیش از ۳۰ نوع گیاه، افزایش محصول را نسبت به سایر روش‌های آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه داشته است. ضمن اینکه میزان آب کاربردی کمتر بوده است(لیاقت و همکاران ۲۰۱۸). بر اساس مطالعه برت (۱۹۹۶) تاثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری سطحی برای درختان پسته در کالیفرنیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از برتری روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی از لحاظ میزان تولید، صرفه‌جویی در مصرف آب، میزان انرژی مصرفی، میزان رشد علف‌های هرز و مقدار کودهای موردنیاز بود. صداقتی و همکاران (۲۰۱۲) دو روش آبیاری قطره‌ای– سطحی و قطره‌ای زیرسطحی

را به مدت چهار سال با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر برای درختان ۳۰ ساله مورد مقایسه قرار دادند. بر اساس نتایج این مطالعه سیستم آبیاری قطره‌ای- زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتیمتر و میزان ٦۰ درصد نیاز آبی (در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی) با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی بهترین تیمار شناخته شد. آزمایش‌های انجام شده توسط احمد و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دارای پتانسیل بزرگی در غلبه بر کمبود آب به خصوص در مناطق خشک می‌باشد. با توجه به محدودیت منابع آبی در استان یزد، کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای به منظور ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی امری ضروری است. از سوی دیگر تبخیر بسیار بالا در منطقه از عوامل بسیار مهم تاثیرگذار بر تلفات آبیاری به شیوه سطحی است. در صورت اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تا حد زیادی تلفات ناشی از تبخیرسطحی خاک کاهش خواهد یافت ولی محدودیت دیگر در برخی از مناطق استان یزد کیفیت آب آبیاری است که عدم توجه به این موضوع و عدم مدیریت لازم در این خصوص منجر به کاهش عملکرد محصول و کاهش راندمان کاربرد آب در صورت اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی خواهد شد. محدودیت دیگر در رابطه با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مشکلات بهره‌بردای و نگهداری این سیستم‌ها به عنوان مثال نیاز به بازرسی مکرر و در صورت بروز مشکل، عیب‌یابی مربوط به گرفتگی قطره‌چکان‌ها است. در ایده ارایه شده در این مطالعه، آبیاری غرقابی ولی به صورت زیرزمینی با هدف آبیاری درختان و رساندن رطوبت به اعماق پایین‌تر خاک انجام شد. بنابراین علاوه بر مزایای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شامل کاهش تبخیر سطحی، کاهش رواناب سطحی و کاهش رشد علف‌های هرز، محدودیت کیفیت آبیاری در این خصوص و در نتیجه مشکل گرفتگی قطره‌چکان وجود نخواهد داشت. با توجه به موارد مذکور هدف این مطالعه بررسی الگوی توزیع عمودی رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای- سطحی و آبیاری غرقابی -زیرزمینی در خاک با بافت لوم رسی شنی بود.

مواد و روشها

در این مطالعه دو روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی و آبیاری قطره‌ای -سطحی در دو پلات آزمایشی واقع در ایستگاه مرکزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی ومنابع طبیعی استان یزد (۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه و ۲.۱۵ ثانیه شمالی و ٥٤ درجه و ١٦ دقیقه و ٥٣.١٦ ثانیه شرقی) هر یک با سه تکرار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نهال‌های انار یکساله (رقم رباب فارس) در دو پلات آزمایشی مذکور با فاصله ۳/۵ متر در ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۸ کاشته شدند (شکل۱). در پلات اول سیستم آبیاری قطره‌ای-سطحی اجرا شد. لوله‌های فرعی آبیاری قطره-ای- سطحی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ١٦ میلی‌متر بودند. برای هر نهال ۲ قطره‌چکان با دبی ۸ لیتر بر ساعت لحاظ شد. به دلیل احداث فیلتراسیون در بالادست و تحلیل کیفیت آب انجام شده در پلات‌های آزمایشی نیازی به احداث فیلتر تصفیه آب در محل آزمایشات وجود نداشت ولی شستشوی سیستم به صورت دوره‌ای هر یک ماه یکبار انجام شد. در پلات دوم روش نوین آبیاری غرقابی تحت عنوان آبیاری غرقابی- زیرزمینی اجرا شد. این سیستم شامل یک ظرف نگهدارنده است که حجم آب مورد نیاز با توجه به حجم این ظرف قابل تامین است.



شکل۱- نمایی از پلات‌های آزمایشی.

حجم ظرف بر اساس نیاز آبی گیاه ۲۵ لیتر در نظر گرفته شد. ظرف خالی بود و در زمان آبیاری با مقدار مشخص از پیش تعیین شده از آب پر شد. یک لوله تخلیه هوا برای تخلیه هوای محبوس موجود در ظرف در نظر گرفته شد. آبیاری تا زمانی انجام گرفت که ظرف مذکور، پر شده و با صعود آب تا سطح خاک، خیس‌شدگی در سطح خاک نمایان شد. با توجه به اینکه در خاک‌های با بافت نسبتا سبک قرارگیری گسیلنده در عمق‌های بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر منجر به محدودیت شدید برای حرکت کاپیلاری آب به سطح خاک است(صداقتی و همکاران ۲۰۱۲، داکس و شولبرگ ۲۰۰۵)، ظرف نگهدارنده در این روش در عمق ۳۰ سانتیمتری از سطح خاک قرار گرفت. برنامه‌ریزی آبیاری بر مبنای خصوصیات فیزیکی خاک و نیاز آبی نهال انار انجام گرفت. نمونه‌های خاک از هر پلات در سه نقطه جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۱ خصوصیات فیزیکی خاک پلات‌های آزمایشی و خصوصیات کیفی آب آبیاری ارایه شده است. مقدار رطوبت سهل الوصول برای نهال انار با تخلیه مجاز ۵۰٪ معادل ۱۶/۵درصد لحاظ شد.نیاز آبی درخت انار بر مبنای روش فائو پنمن مانتیث اصلاح شده و با استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منطقه (فرودگاه یزد واقع در ۳۱ درجه و ٥٤ دقیقه و ١٤/٤ ثانیه شمالی و ٥٤ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۳/۲۸ ثانیه شرقی) شامل درجه حرارت هوا، تشعشع خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی تعیین شد (آلن و همکاران ۱۹۹۸). در تعیین نگهداشت آب خاک، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی (مطابق با جداول فائو با توجه به بافت خاک) به ترتیب معادل ۲۰ درصد و ۱۳ درصد تعیین شد. دور آبیاری بر اساس نگهداشت رطوبت خاک و نیاز آبی انار در نظر گرفته شد. بر اساس برنامه‌ریزی انجام گرفته، دور آبیاری در فصل بهار و تابستان ٦ روز و در فصل پاییز و زمستان ۱۳ روز یکبار لحاظ شد. حجم آب کاربردی برای هر دو روش آبیاری یکسان بود. مجموعا ۲۱ آبیاری در طول دوره آزمایشی این مطالعه از ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۸ تا ۲۰ دی ۱۳۹۸ انجام شد. در طول این دوره ۷ بارندگی اتفاق افتاد (روز ٦ام، ١٦٤ ام، ١٦٥ ام، ١٨٥ ام، ١٨٦ ام، ١٨٧ ام و ٢٢٨ ام از شروع دوره (۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۸).

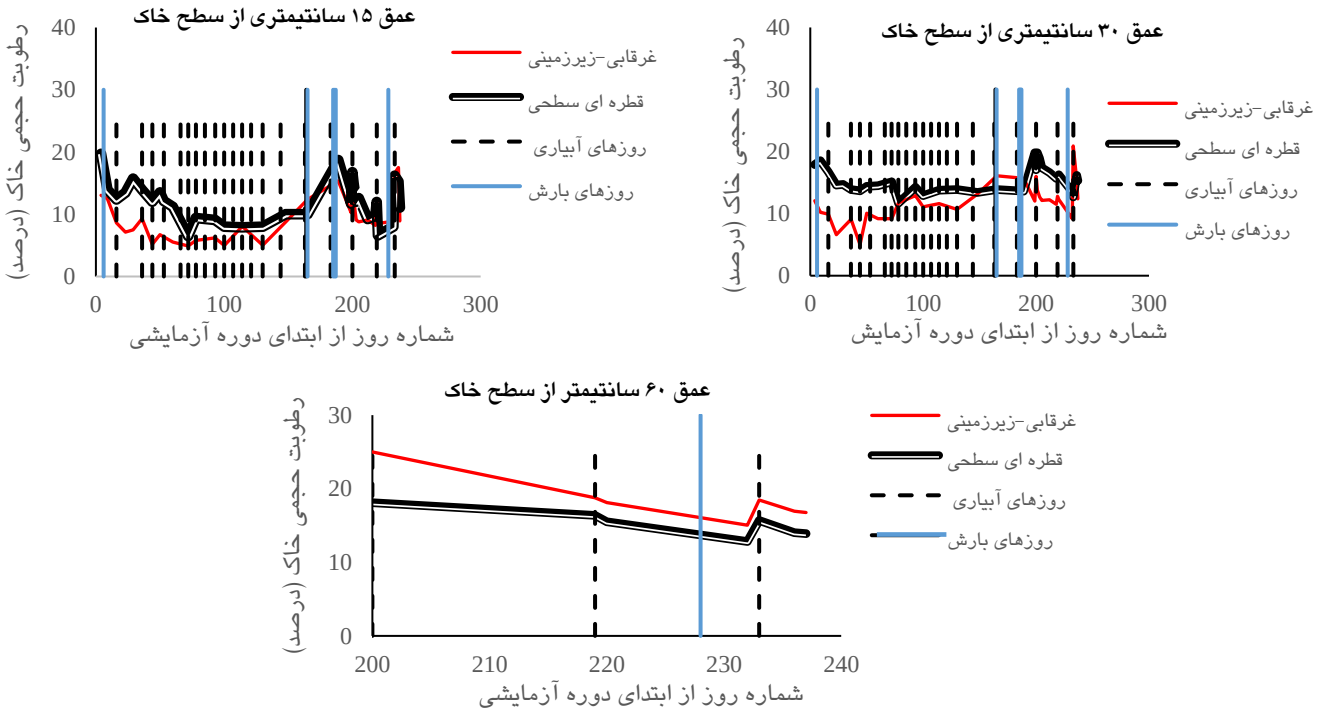
جدول ۱- خصوصیات کیفی آب آبیاری و خصوصیات خاک پلات‌های آزمایشی.

عنوان	رس(٪)	سیلت(٪)	شن (٪)	بافت خاک	شوری خاک ($dS\ m^{-1}$)	خصوصیات آب آبیاری		
						pH	TDS $mg\ L^{-1}$	هدایت الکتریکی $\mu S\ cm^{-1}$
پلات ۱	۲۳	۱۹/٦	٥٧/٤	لوم رسی شنی	٦٩/٥	۷/۹	۱۷۱٥/۲۰	۲٦۸۰
پلات ۲	۲۳	۲۰/۸	٥٦/۲	لوم رسی شنی	۹/٥			

سنجش رطوبت حجمی خاک با نصب میله‌های *TDR* در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ٦۰ سانتیمتری از سطح خاک برای هر نهال و برای هر روش آبیاری در طول فصل رشد، قبل و بعد از آبیاری و در حدفاصل دو آبیاری انجام شد. شکل ۲ نمایی از تاریخ‌های آبیاری و وقوع بارش و همچنین پایش رطوبت خاک در اعماق ۱۵، ۳۰ و ٦۰ سانتی‌متری خاک را برای هر روش آبیاری نشان می‌دهد. در ۳ واقعه آبیاری در روز ۲۰۰ ام، ۲۱۹ ام و ۲۳۳ ام از ابتدای دوره آزمایش سنجش رطوبت خاک با جزییات دقیق‌تری صورت گرفت. به این ترتیب که سنجش رطوبت خاک قبل از آبیاری، بلافاصله بعد از آبیاری، ۰/۵ساعت بعد از آبیاری ، ۱ ساعت بعد از آبیاری، ۱/۵ ساعت بعد از آبیاری، ۱ روز بعد از آبیاری، ۲ روز بعد از آبیاری، ٤ روز بعد از آبیاری، ٦ روز بعد از آبیاری و ۱۳ روز بعد از آبیاری انجام شد.

نتایج و بحث

در شکل۳ نمایی از رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده به وسیله میله‌های *TDR* نصب‌شده در اعماق ۱۵ ،۳۰ و ٦۰ سانتی‌متری ارایه شده است. با توجه به رطوبت خاک قبل از آبیاری، سنجش رطوبت بلافاصله بعد از آبیاری نشان داد که در عمق ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک در روش آبیاری غرقابی -زیرزمینی تغییرات شدید رطوبتی به میزان ۲۱ درصد اتفاق افتاد. در روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی رهاسازی سریع آب در عمق ۳۰ سانتی‌متری (محل قرارگیری ظرف نگهدارنده) به دلیل محدودیت سطح آبیاری منجر به حرکت آب به سمت لایه‌های بالایی خاک شد که در نتیجه بر اساس سنجش رطوبت خاک بلافاصله بعد از آبیاری، تغییرات شدید رطوبت خاک در لایه سطحی خاک را در پی داشته است. در روش آبیاری قطره‌ای- سطحی تغییرات رطوبت در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک، ۱۵ درصد بود. در عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک تغییرات رطوبت خاک بلافاصله بعد از آبیاری برای روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی و روش آبیاری قطره‌ای- سطحی به ترتیب حدود ١٤ و ۱۰ درصد بود. در حالی‌که در عمق ٦۰ سانتی‌متری خاک تغییر رطوبت در روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی ٦ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای-سطحی۱۰ درصد بود. در روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی، حجم آب موردنیاز در مدت زمان کوتاه (تقریبا ۲ دقیقه) در عمق ۳۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک تامین شد. در حالی‌که در روش آبیاری قطره‌ای -سطحی، برای تامین حجم آب موردنیاز تعیین شده، آبیاری توسط قطره‌چکان‌ها به مدت ۱/۵ ساعت در سطح خاک صورت پذیرفت. بر اساس مطالعات انجام شده توسط سیمونه و همکاران (۲۰۰٦) المالوگلو و دیامانتوپولوس (۲۰۰۸) با کاهش دبی جریان ورودی به خاک، تغییرات رطوبت خاک بیشتر در جهت عمودی خواهد بود. همچنین نتایج مطالعه راغب و همکاران (۲۰۱۱) حاکی از این بود که شکل و میزان خیس‌شدگی به شدت وابسته به دبی جریان و مقدار آب کاربردی است. به گونه‌ای که با کاهش دبی جریان در خاک لوم شنی حرکت جبهه آب بیشتر در جهت عمودی بود. با توجه به کمتر بودن



شکل ۲- نمایی از روزهای آبیاری، روزهای بارش و رطوبت خاک در طول دوره آزمایش.

دبی جریان ورودی به خاک در آبیاری قطره‌ای -سطحی نسبت به روش آبیاری غرقابی- زیرزمینی تغییرات رطوبت در آبیاری قطره‌ای- سطحی بیشتر در راستای عمودی بوده و یکنواختی توزیع عمودی رطوبت در این روش آبیاری بیشتر است. بررسی رطوبت خاک، ۰/۵ ساعت بعد از اتمام آبیاری در هر دو روش آبیاری نشان داد که تغییرات رطوبت خاک در عمق ۱۵سانتی‌متری از سطح خاک در روش آبیاری قطره‌ای-سطحی شدیدتر از روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی است. این نتایج بیانگر حرکت سریع آب در جهت عمودی در آبیاری قطره‌ای سطحی است در حالی که در روش غرقابی-زیرزمینی در زمان مشابه، آب هنوز به عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک نرسیده است. بررسی رطوبت خاک، ۱/۵ ساعت بعد از آبیاری، حاکی از کاهش رطوبت خاک در هر دو روش آبیاری است. در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک، رطوبت خاک در روش آبیاری قطره‌ای -سطحی بیشتر از روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی بود. در حالی‌که در عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک رطوبت خاک در روش آبیاری غرقابی- زیرزمینی بیشتر بود. یک روز بعد از آبیاری رطوبت خاک در هر دو روش تقریبا یکسان بوده ولی در عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک در روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی بیشتر از روش آبیاری قطره-ای- سطحی بود. چهار روز بعد از آبیاری رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک یکسان بود ولی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک تفاوت دو روش از نظر رطوبت خاک معنی‌دار بوده و این پارامتر برای آبیاری قطره‌ای- سطحی بیشتر از روش غرقابی-زیرزمینی بود. در این زمان در روش آبیاری قطره‌ای-سطحی و در عمق ۶۰ سانتی‌متری، رطوبت خاک کمتر از حد سهل الوصول بوده و نیاز آبیاری وجود داشت، در حالی‌که در روش غرقابی-زیرزمینی رطوبت خاک بیشتر از حد سهل الوصول بوده و نیاز به آبیاری وجود نداشت. شش روز بعد از آبیاری رطوبت در عمق ۱۵ و ۳۰ سانتیمتری از سطح خاک به شدت برای روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای-سطحی کاهش یافت. اگرچه در این زمان در عمق ۶۰ سانتی‌متری سطح خاک در روش آبیاری قطره‌ای-سطحی رطوبت خاک کمتر از حد سهل الوصول بود ولی

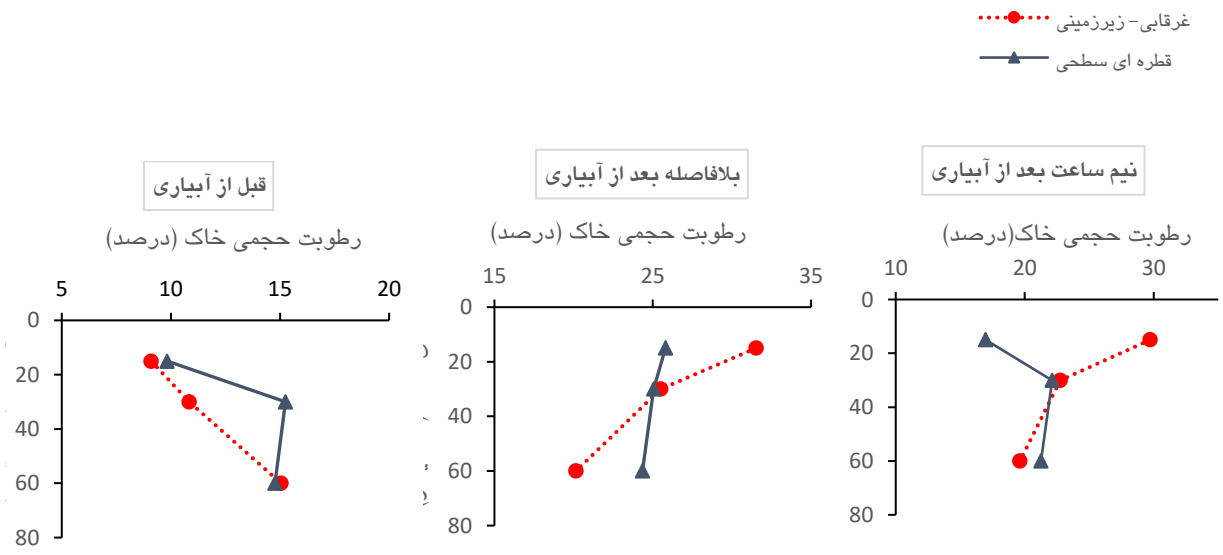
در روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی رطوبت خاک در این عمق بیشتر از حد سهل الوصول بوده و بر خلاف تیمارهای تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نیاز به آبیاری وجود نداشت. سیزده روز بعد از آبیاری رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک در هر دو روش یکسان بود. در این شرایط در عمق ٦۰ سانتی‌متری از سطح خاک در هر دو روش رطوبت خاک کمتر از حد سهل الوصول بود و نیاز آبیاری وجود داشت. به طور کلی سنجش رطوبت در عمق ٦۰ سانتی‌متری خاک نشان داد روش آبیاری غرقابی -زیرزمینی در شرایط حاکم بر این مطالعه قادر به طولانی کردن دور آبیاری به مدت ۹ روز بوده است. به عبارتی در شرایط حاکم بر این مطالعه در آبیاری قطره‌ای سطحی در روز چهارم و در آبیاری غرقابی-زیرزمینی در روز سیزدهم نیاز آبیاری وجود داشت. در جدول ۲ مقایسه میانگین رطوبت خاک در اعماق متفاوت خاک و در شکل ٤ رطوبت خاک در سه تکرار برای هر دو روش آبیاری در زمان‌های متفاوت قبل و بعد از آبیاری ارایه شده است. مقایسه آماری (با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون t) بین رطوبت خاک در هر دو روش آبیاری در زمان‌های متفاوت و در اعماق متفاوت انجام شد. مقایسه رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک نشان داد که بلافاصله بعد از آبیاری و ۰/۵ ساعت بعد از آبیاری تفاوت دو روش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار رطوبت خاک در آبیاری غرقابی-زیرزمینی بیشتر بود. در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک تفاوت رطوبت خاک بین دو روش در سطح ۵ درصد از نظرآماری معنی‌دار نبود. البته در روز سیزدهم تفاوت دو روش در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای -سطحی در این عمق بیشتر بود. در عمق ٦۰ سانتی‌متری از سطح خاک، ۰/۵ ساعت بعد از آبیاری تفاوت دو روش از نظر رطوبت خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و در این زمان‌ها رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای- سطحی بیشتر بود که بیانگر حرکت سریع‌تر آب به صورت عمودی در این روش نسبت به روش آبیاری غرقابی-زیرزمینی است. در این عمق، ۱ ساعت و ۱/۵ ساعت بعد از آبیاری تفاوت دو روش از نظر رطوبت خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. اما بعد از روز اول تفاوت رطوبت خاک بین دو روش از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و رطوبت خاک در این عمق در آبیاری غرقابی-زیرزمینی بیشتر از روش قطره‌ای- سطحی بود. با توجه به نتایج فوق اگر چه رطوبت خاک در انتهای دور آبیاری، در آبیاری قطره‌ای- سطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متری و ۳۰ سانتی‌متری بیشتر بود ولی در عمق ٦۰ سانتی‌متری بعد از روز اول این پارامتر در آبیاری غرقابی- زیرزمینی بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود. با توجه به شکل ۵ بررسی وضعیت شوری خاک تا عمق ۳۰ سانتی-متری از سطح خاک نشان داد که آبیاری قطره‌ای -سطحی به دلیل کاربرد آب در سطح به صورت پیوسته در طول آبیاری منجر به کاهش شوری خاک سطحی شده است. در حالیکه در آبیاری غرقابی- زیرزمینی به دلیل کاربرد آب در زیرسطح خاک منجر به افزایش شوری خاک سطحی شده است. نتایج مطالعه دهقانی سانیچ و همکاران(۲۰۱۸) در رابطه با توزیع شوری خاک در شرایط اعمال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حاکی از افزایش معنی‌دار شوری خاک بعد از آبیاری نسبت به زمان قبل از آبیاری بود. بر اساس مطالعه طاهری و همکارن (۲۰۱۳) توزیع شوری خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات زیتون نشان داد که بیشترین تجمع نمک در بالای عمق کارگذاری لوله‌های آبیاری اتفاق افتاده است و در زیر این عمق چنین تجمعی مشاهده نشد. در مطالعه حاضر یکی از دلایل شور شدن سطح خاک در آبیاری غرقابی -زیرزمینی، حرکت آب از محل کاربرد آب (عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک) به سطح خاک و خیس شدگی خاک سطحی است که منجر به تبخیر آب از لایه سطحی و افزایش شوری خاک شده است. نتایج مشابه در مطالعه باقری و همکاران (۲۰۱۵) برای آبیاری قطره-ای زیرسطحی در بافت لومی مشاهده شد که بیانگر خیس

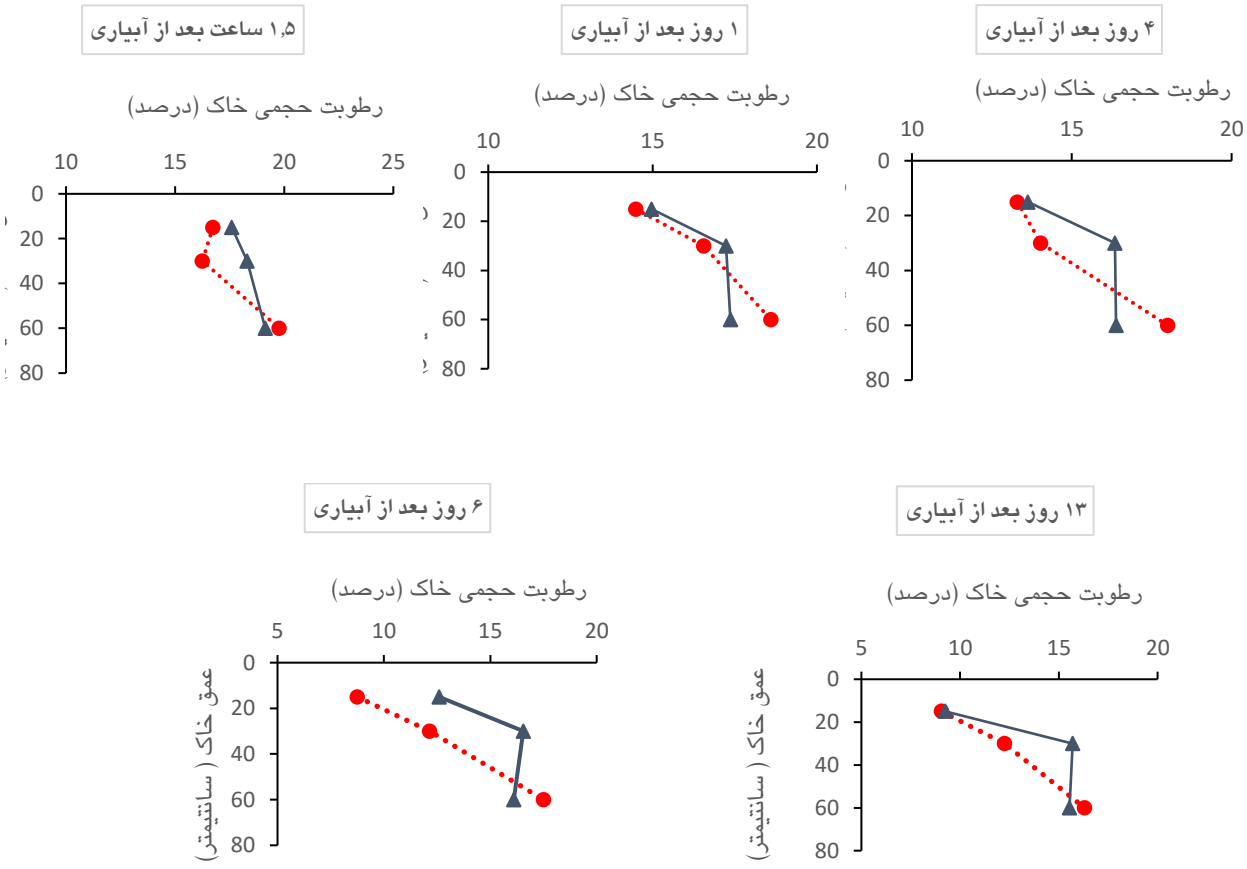
شدگی سطح خاک با کارگذاری لوله‌ها در عمق ۳۰ سانتیمتری خاک بود. همچنین مطالعه سیاری و همکاران (۲۰۰۷) هم بیانگر خیس شدگی سطح خاک در آبیاری زیرسطحی با کارگذاری لوله‌ها در عمق ۳۰ سانتیمتری بود. به طور کلی اگر چه در آبیاری غرقابی-زیرزمینی، نشت آب به سطح خاک صورت پذیرفت ولی این مقدار آب تکافوی شستشوی نمک را نداشت.

جدول۲- مقایسه میانگین رطوبت خاک در زمان‌های متفاوت برای روش‌های آبیاری غرقابی- زیرزمینی و قطره‌ای سطحی (۰: قبل از آبیاری، ۱: بلافاصله بعد از آبیاری، ۲: نیم ساعت بعد از آبیاری، ۳ :یک ساعت بعد از آبیاری،۴: یک و نیم ساعت بعد از آبیاری، ۵: یک روز بعد از آبیاری، ۶: دو روز بعد از آبیاری، ۷: شش روز بعد از آبیاری، ۸: سیزده روز بعد از آبیاری).

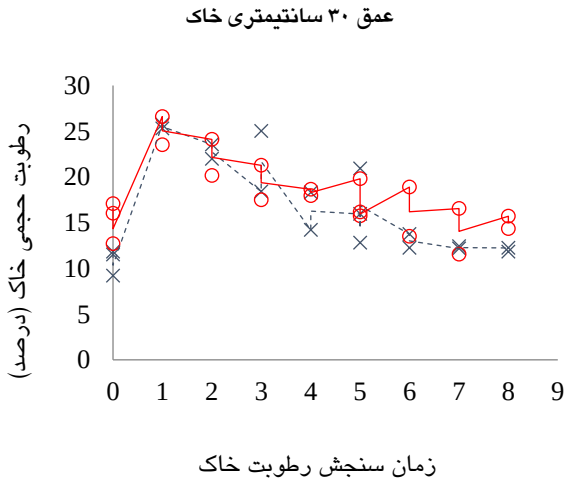
زمان	عمق (سانتیمتر) ۱۵		۳۰		۶۰	
	غرقابی - زیرزمینی	قطره ای سطحی	غرقابی - زیرزمینی	قطره ای سطحی	غرقابی - زیرزمینی	قطره ای سطحی
۰	۹/۱	۹/۸۳	۱۰/۸۳*	۱۵/۲۵*	۱۴/۸۵	۱۴/۷۸
۱	۱۸/۳۱*	۲۵/۲۷*	۲۵/۳۳*	۲۵/۰۳*	۲۱/۲۵	۲۴/۳۵
۲	۲۹/۳۱*	۱۷/۰۲*	۲۲/۵۷	۲۲/۰۱	۱۹/۷۵*	۲۱/۳۳*
۳	۲۲/۵۷	۲۰/۴۸	۲۱/۹	۱۹/۴۲	۲۰	۲۰/۴۳
۴	۱۷/۲۵	۱۷/۲	۱۶/۲۷	۱۸/۴۳	۱۹/۷۲	۱۹/۰۲
۵	۱۴/۲۸	۱۵	۱۶/۵۵	۱۷/۲۳	۱۸/۵۳*	۱۷/۲۹*
۶	۱۰/۴۲*	۱۳/۳۸*	۱۳/۲۳	۱۶/۴	۱۸/۰۳*	۱۶/۶۴*
۷	۸/۹*	۱۱/۹۲*	۱۲/۳۸	۱۴/۲۶	۱۷/۲۲*	۱۵/۹۶*
۸	۸/۷۵*	۹/۱*	۱۲/۰۲*	۱۴/۹۶*	۱۶/۲۳*	۱۵/۱۴*

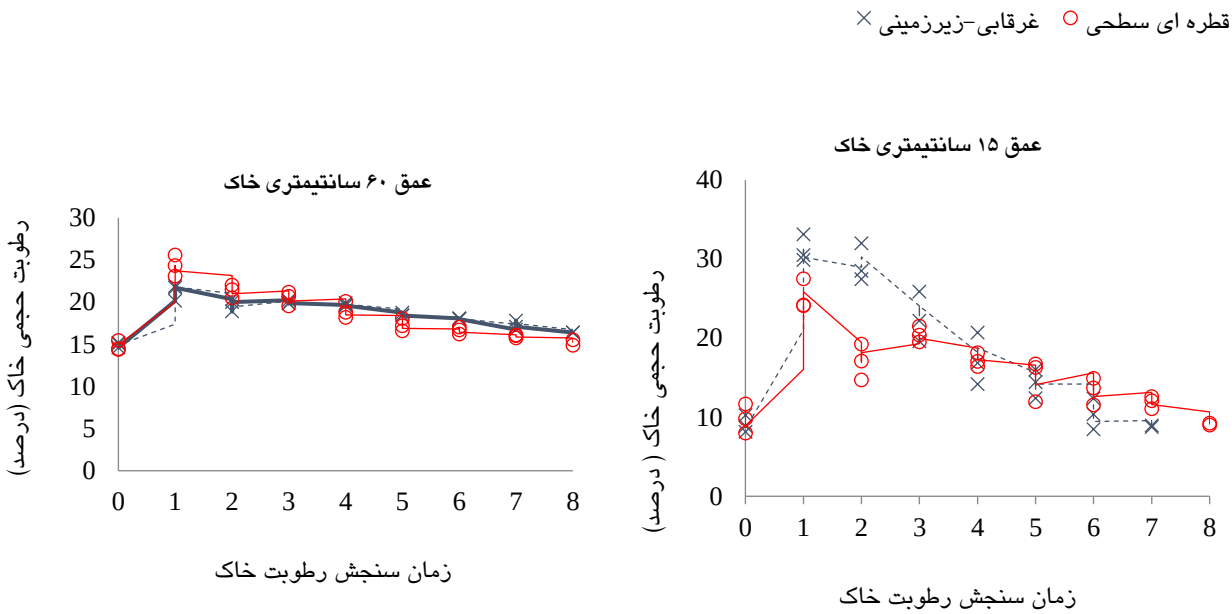
* تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد





شکل۳- نمایی از توزیع عمقی رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری.



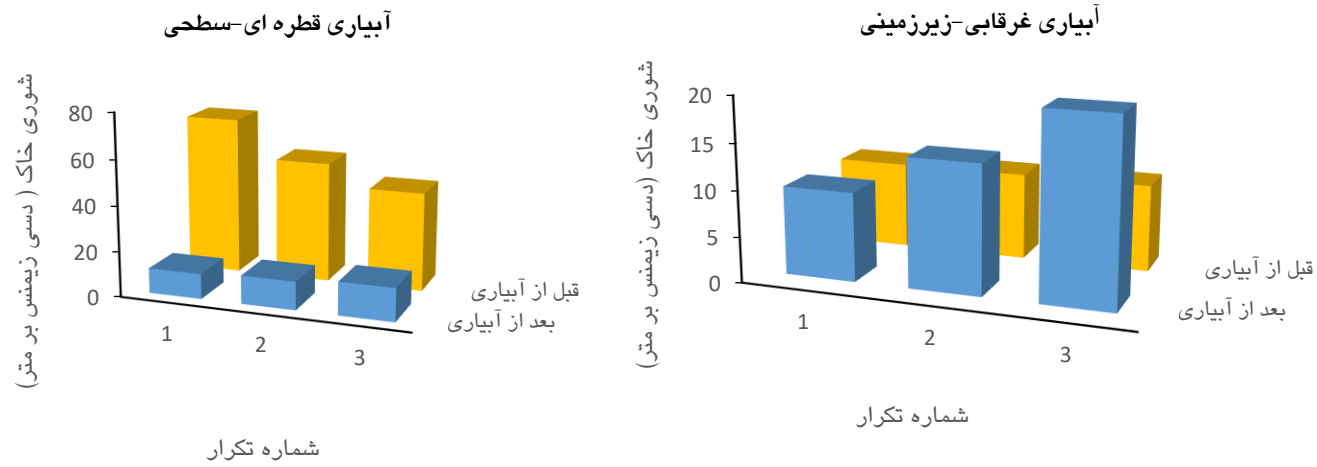


شکل ۴- نمایی از سنجش رطوبت خاک در زمان‌های متفاوت قبل و بعد از آبیاری.

(۰: قبل از آبیاری، ۱: بلافاصله بعد از آبیاری، ۲: نیم ساعت بعد از آبیاری، ۳ :یک ساعت بعد از آبیاری،۴: یک و نیم ساعت بعد از آبیاری، ۵: یک روز بعد از آبیاری، ۶: دو روز بعد از آبیاری، ۷: شش روز بعد از آبیاری، ۸: سیزده روز بعد از آبیاری).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به کمبود منابع آب در استان یزد، محدودیت شدید کیفیت آب در برخی مناطق و لزوم بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، در این مطالعه ایده آبیاری غرقابی-زیرزمینی با هدف کاهش تبخیر سطحی و بهبود آبرسانی به لایه‌های زیرین خاک مورد بررسی قرار گرفت و با روش آبیاری قطره‌ای-سطحی مقایسه شد.اگر چه در انتهای دور آبیاری رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای-سطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متری و ۳۰ سانتی‌متری بیشتر بود ولی رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک در آبیاری غرقابی- زیرزمینی بیشتر از روش آبیاری قطره-ای -سطحی بود. با بررسی توزیع زمانی رطوبت خاک، آبیاری غرقابی-زیرزمینی قادر به طولانی‌کردن دور آبیاری به مدت ۹ روز بوده است. به طور کلی با توجه به شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی، آبیاری غرقابی-زیرزمینی در راستای صرفه‌جویی در مصرف آب و رساندن تدریجی آب به لایه‌های زیرین خاک موثر عمل کرده است. تنها محدودیت ایجاد شده در این روش آبیاری، افزایش شوری خاک سطحی در طول دوره آزمایش بود.



شکل۵- نمایی از شوری خاک سطحی(تا عمق ۳۰ سانتیمتر از سطح خاک) قبل و بعد از آبیاری برای روش آبیاری غرقابی- زیرزمینی و روش آبیاری قطره‌ای –سطحی.

منابع مورداستفاده

Acar B, Topak R and Mikailsoy F, 2009. Effect of applied water and discharge rate on wetted soil volume in loam or clay-loam soil from an irrigate trickle source. African Journal of Agricultural Research 4(1): 49-54.

Ahmed TF, Hashmi HN and Ghumman AR, 2011. Performance assessment of Subsurface Drip irrigation System using pipes of varying flexibility. Research Journal of Engineering & Technology 30 (3): 361-370.

Al-Amoud AI, Fawzi S, Mohammad S, Al-Hamed A and Alabdulkader MA, 2000. Reference evapotranspiration and date palm water use in the Kingdom of Saudi Arabia. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science 2(4): 155-169.

Al-Ogaidi AAM, Wayayok A, Rowshona MK and Abdullah AF, 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. Agricultural Water Management 176: 203-213.

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evaporation (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Food and Nutrition Series No. 56. FAO, Rome.

Arbat G, Cufí S, Duran-Ros M, Pinsach J, Puig-Bargués J, Pujol J and Ramírez CF, 2020. Modeling approaches for determining dripline depth and irrigation frequency of subsurface drip irrigated rice on different soil textures. Water 12(6): 1-15.

Bagheri R, Hesam M, Kiani AR and Hezarjaribi A, 2015. Emitters subsurface distribution of soil moisture the soil in different tissues. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 9(3):399-406. (In Persian with English abstract)

Burt CB, 1996. Buried drip irrigation on pistachios study. Irrigation Training and Research Center, No. R 96-003. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, USA.

Clark CA, Sranley FS and Zaaueta FS, 1993. Qualitative sensing of water movement from point-source emitter on a sandy soil. Transactions of ASAE 9(3): 299-303.

Dehghanisanij H, Haji Agha Bozorgi H and Ghaemi A, 2018. Impact of irrigation regimes on salinity pattern in soil under subsurface drip irrigation. Journal of Water and Irrigation Management 8(1): 13-25. (In Persian with English abstract)

Dukes MD and Scholberg JM, 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. American Society of Agricultural Engineers 21(1): 89-101.

Elmaloglou S and Diamantopoulos E, 2008. The effect of intermittent water application by surface point source on the soil moisture dynamics and on deep percolation under the root zone. Computer and Electronics in Agriculture 62(2): 266-275.

Karimi B, Mohammadi P, Sanikhani H, Salih SQ and Yaseen ZM, 2020. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: An enhanced empirical model and artificial neural network. Computers and Electronics in Agriculture 178: 1-13.

Kazeminezhad AA and Karimi AA, 2006. An investigation of affection of disparate irrigation methods on establishment of fruitful and unfruitful splees of tee in desert areas. Pajouhesh-va-Sazandegi 19(2): 89-94 (In Persian with English abstract)

Koohestani Sh, 1996. Investigating the possibility of subsurface irrigation on pistachio trees. MSc Thesis, Tehran University, Iran. (In Persian with English abstract)

Liaghat A, Pourgholam Amiji M and Mashhouri Nejad P, 2018. The effect of surface and subsurface irrigation with saline water and mulch on corn yield, water productivity and solute distribution in the soil. Journal of Water and Soil 32(4): 661-674. (In Persian with English abstract)

Liu Z and Xu Q, 2018. Wetting patterns estimation in cultivation substrates under drip irrigation. Desalination and Water Treatment 112: 319–324.

Mohammadi Mohammadabadi A, Hosseinifard SJ and Sedaghati N, 2008. Effect of change from the conventional (flooding) to subsurface irrigation system on mature pistachio trees in Kerman. Journal of Water and Soil Science 12(43):29-45. (In Persian with English abstract)

Nakayama FS and Bucks DA, 1986. Trickle Irrigation for Crop Production. Vol.9 Design, Operation and Management. Development in Agricultural Engineering, Elsevier Science, USA.

Ragheb HMA, Gameh MA, Ismail SM and Abou Al-Rejal NA, 2011. Water distribution patterns of drip irrigation in sandy calcareous soil as affected by discharge rate and amount of irrigation water. Environmental and Arid Land Agricultural Science 22(3): 141-161.

Sayari N, Ghahraman N and Davari K, 2007. Soil moisture distribution under subsurface drip irrigation systems in pistachio gardens (case study: Rafsanjan lands with saline water). Agricultural Research 7(7): 65-77.

Sedaghati N, Hossenifard SJ and Mohammadi Mohammadabadi A, 2012. Comparing effects of surface and subsurface drip irrigation systems on growth and yield on mature pistachio trees. Journal of Water and Soil 26(3): 575-585. (In Persian with English abstract)

Simonne E, Studstill D and Hochmuth RC, 2006. Understanding water movement in mulched beds on sandy soils: An approach to ecologically sound fertilization in vegetable production. Pp. 173-184. Proceeding of the International Symposium Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production. 1 January, Perugia, Italy.

Taheri M, Taheri M, Abbasi M, Ojaghloo F and Mostafavi K, 2013. Investigation of soil salinity distribution under drip irrigation system in olive orchards. Pp.896-904. Proceeding of the 12th National Seminar on Irrigation and evaporation reduction. 27 August, Kerman, Iran.