

توزیع رطوبت و شوری در خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر

جلیل کرمان نژاد و الهام قنبری عدیوی^۱*

دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه لرستان و کارشناس مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، ایران.

Kermannezhad@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد

Ghanbariadi@sku.ac.ir

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل طراحی و استفاده از این روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تعیین پیمای رطوبتی تحت تاثیر بافت خاک و مشخصات قطره چکان‌ها می‌باشد. به منظور بررسی توزیع رطوبت و شوری خاک و تعیین بهترین عمق نصب لوله آبده و فاصله قطره‌چکان‌های آن، خاکی با بافت سنگین (رسی سیلتی)، در مزرعه نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با یک ردیف لوله قطره‌چکان‌دار مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش از لوله‌های قطره‌چکان‌دار با دبی ۱/۲ لیتر در ساعت استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه عمق نصب لوله آبده (۱۵، ۲۰، ۳۰ سانتی‌متر) و دو فاصله قطره‌چکان‌ها (۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر) در سه تکرار انجام شد. بیشترین توسعه عرضی و عمقی رطوبت به ترتیب برابر ۶۰ (هر سمت لوله آبده) و ۹۰ سانتی‌متر در تیمار عمق نصب لوله ۲۰ سانتی‌متری مشاهده شد. نتایج نشان داد، شوری خاک در لایه ۳۰-۶۰ سانتی‌متری در طول دوره اندازه‌گیری (یک سال) روندی افزایشی و در عمق‌های ۶۰-۹۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری در طول دوره مشاهده شد. افزایش فاصله افقی از لوله آبده مقادیر شوری خاک افزایش داشته است. بیشترین میزان شوری در تیمار مربوط به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین قطره‌چکان‌ها روی لوله آبده و در نقطه‌ای با فاصله افقی ۶۰ سانتی‌متر از لوله آبده در لایه با عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح، معادل ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد. هم‌چنین به منظور تخمین رطوبت، روابطی بین فاصله از لوله و مقدار رطوبت خاک در دو جهت افقی و قائم ارائه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که این روابط در جهت افقی و قائم عمکرد قابل قبولی دارند. در نهایت بهترین عمق نصب لوله آبده و فاصله قطره‌چکان‌های آن با توجه به گسترش پیمای رطوبتی و توسعه شوری در خاک به ترتیب معادل ۲۰ و ۵۰ سانتی‌متر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پیمای رطوبتی، لوله آبده

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: شهرکرد، گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد.

* - دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۸

مقدمه

در طول دهه‌های گذشته، استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای درختان دائمی افزایش یافته و به‌عنوان یک استراتژی قوی برای مدیریت کارآمد آب در مناطق کم‌آب پیشنهاد شده است (کانسلی و همکاران ۲۰۱۴). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یک روش مفید آبیاری است و از مزایای آن می‌توان به مواردی از قبیل کاهش تبخیر از سطح خاک در مراحل اولیه رشد، افزایش کارایی مصرف آب، کاهش علف‌های هرز و بیماری‌ها، کاهش فرسایش خاک، افزایش کارایی مصرف کود، امکان حرکت ادوات در زمین در مرحله داشت، انعطاف در طراحی و هزینه‌های آزمایشگاهی کمتر اشاره کرد (ایرماک و همکاران ۲۰۱۶). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، روشی است که اجازه می‌دهد آب به‌طور دقیق در مقادیر کم و به‌طور مستقیم در محیط‌ریشه توزیع شده و خاک به‌صورت موضعی مرطوب شود (کومار و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از آبیاری قطره‌ای در کشاورزی موجب مدیریت بهتر آب می‌گردد. بیزاری و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی در دانشگاه ساوث‌کارولوس کشور برزیل، توزیع رطوبت در خاک را با استفاده از دستگاه تی‌دی‌آر (*TDR*) به همراه کودآبیاری زیرسطحی در یک گلخانه مورد ارزیابی قرار دادند. آزمایش‌ها در مخازن ۵۰۰ لیتری خاک شنی با استفاده از قطره‌چکان‌هایی با دبی ۱ و ۱/۶ لیتر در ساعت انجام گردید.

نتایج نشان داد که مقادیر توزیع تدریجی رطوبت در هر دو تیمار در نزدیکی قطره‌چکان‌ها بیشتر از سایر نقاط است. همچنین تمایل به توزیع عرضی در پیاز رطوبتی در فاصله بیش از ۳۰ سانتی‌متری از محل قطره‌چکان مشاهده شده است. سوزا و بیزاری (۲۰۱۸) اثر توزیع رطوبت در خاک را بر روی پارامترهای کمی و کیفی نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دبی‌های ۱/۶ و ۳/۵ لیتر در ساعت مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق لوله‌های آبدار در عمق ۳۰ سانتی‌متری کارگذاری و مقادیر رطوبت با استفاده از دستگاه *TDR* اندازه‌گیری

گردید. نتایج نشان داد که توزیع رطوبت در خاک در لایه‌های مختلف در طول آزمایش‌ها به تعادل رسیده و یک رابطه مشخص بین ظرفیت نگهداری آب در خاک و حجم خاک مرطوب‌شده وجود دارد. همچنین دبی قطره‌چکان‌ها تأثیری در توزیع رطوبت و نیترات در پروفیل خاک، میزان کمی و کیفی محصول و تراکم ریشه نداشته‌اند. موریس و همکاران (۲۰۱۶) کارایی سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی را به ازای سطوح مختلف کاربرد آب در خاک و الگوی توزیع رطوبت بررسی نموده و همچنین رابطه بین ظرفیت رطوبت، فاصله و عمق را مورد ارزیابی قرار دادند.

تیمارها در سه عمق (۰، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری) طرح‌ریزی و میزان رطوبت در سه فاصله ۰، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری و اعماق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری و هر ۳۰ روز یک‌بار و ۲۴ ساعت قبل و بعد از آبیاری اندازه‌گیری شد. براساس شعاع الگوی خیس‌شدگی، یک معادله خطی بین دو حالت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی به ازای عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری تعیین شده است. ونگ و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کم‌عمق در مناطق خشک را مورد ارزیابی قرار داده و آزمایش‌هایی به ازای سه عمق ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر با قطره‌چکان با دبی ۳/۲ لیتر در ساعت انجام دادند. نتایج نشان داد که توزیع عمودی رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (لوله آبدار در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک) به‌طور عمده در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری متمرکز شده است، درحالی‌که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کم‌عمق (لوله آبدار در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک) تمرکز رطوبت در عمق متوسط ۳۰-۰ سانتی‌متری قرار گرفته است. همچنین توزیع ریشه یونجه در هر دو روش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری متمرکز گردیده است. کارایی مصرف آب در یونجه به ازای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کم‌عمق بیشتر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عمیق‌تر بوده است، بنابراین عمق ۱۰ سانتی‌متری برای لوله آبدار در مناطق خشک و گیاه یونجه

که الگوی توزیع رطوبت یکی از اطلاعات پایه‌ای جهت طراحی و مدیریت یک سیستم آبیاری است. کوک و همکاران (۲۰۰۶) پیشروی جبهه رطوبتی در سه نوع خاک مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از حل معادله فیلیپ (۱۹۸۴) در اکثر موارد سازگاری خوبی با نتایج حاصل از حل عددی معادله ریچاردز نشان داد. دوو و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر اعماق مختلف آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گیاه ذرت بر روی توزیع رطوبت خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که کارگذاری لوله در عمق ۳۵ سانتی‌متر، بیشترین کارایی مصرف آب را داشته است. هم‌چنین رطوبت خاک در حالت عمق نصب ۳۵ سانتی‌متری، پایداری بیشتری نسبت به اعماق ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری دارد.

فان و لی (۲۰۱۸) اثر پارامترهای هیدرولیکی نظیر فشار کارکرد، رطوبت اولیه و جرم مخصوص ظاهری خاک بر روی دبی قطره‌چکان‌های زیرسطحی را اندازه‌گیری نمودند. آزمایش‌ها در سه بافت خاک شنی، سیلتی لوم و رسی به ازای دو جرم مخصوص ظاهری (۱/۴ و ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و دو مقدار رطوبت اولیه خاک (۱۲ و ۱۸ درصد وزنی) و قطره‌چکان غیرتنظیم‌کننده فشار انجام شد. نتایج نشان داد که فشار کارکرد عامل اصلی میزان دبی قطره‌چکان بوده که با افزایش فشار، دبی نیز افزایش می‌یابد. رطوبت اولیه و جرم مخصوص ظاهری در خاک شنی سبک بیش از دیگر بافت‌های مورد مطالعه اثرگذار بوده است. حساسیت دبی به پارامترهای هیدرولیکی، وابسته به بافت خاک بوده و مقدار این حساسیت به ترتیب شنی < سیلتی لوم < رس است. هم‌چنین حساسیت دبی به پارامترهایی نظیر هدایت هیدرولیکی با افزایش فشار، رطوبت اولیه خاک و چگالی ظاهری خاک، کاهش می‌یابد. آگاهی از الگوی توزیع رطوبت، تأثیر زیادی در اثربخشی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دارد. به‌طورکلی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بایستی به دو عامل، هزینه اجرا و نگهداری بالا و عدم خاک‌ورزی غلبه نماید که اگر این مشکلات نسبت به

پیشنهاد شد. خان‌محمدی و بشارتی (۲۰۱۳) تحقیقی برای تخمین ابعاد جبهه رطوبتی حاصل از یک منبع نقطه‌ای انجام دادند و هم‌چنین قابلیت نرم‌افزار هایدروس دو بعدی آزمایشی را با روش آبیاری نواری بررسی نموده و از توانایی این نرم‌افزار اطمینان حاصل کردند. با استفاده از نرم‌افزار هایدروس و با به‌کارگیری قضیه π باکینگهام روابطی ساده برای تخمین مقدار عمق و بیشینه قطر خیس‌شدگی خاک توسط هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان‌ها و مدت زمان کارکرد سیستم ارائه نمودند. مقایسه ابعاد جبهه رطوبتی با نتایج به‌دست‌آمده از روابط فوق نشان داد که می‌توان از این روابط برای تخمین ابعاد پیاز رطوبتی استفاده نمود. نوروزویان و همکاران (۱۳۹۵) الگوی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در یک خاک دو لایه و در دو حالت زمین مسطح و شیبدار را بررسی نمودند و اثرات شرایط شیب زمین و لایه‌ای بودن خاک بر الگوی خیس‌شدگی خاک را ارزیابی نمودند. مشاهده نمودند که با افزایش مدت پخش آب اثر غیر همسان بودن خاک کاهش پیدا می‌کند. به دلیل بالا بودن هدایت هیدرولیکی لایه پایینی، با رسیدن رطوبت به مرز لایه‌ها جبهه رطوبتی دارای شکست گردیده، گسترش رطوبت در جهت عمودی بیشتر شده و پیاز رطوبتی بیضی شکل گردید.

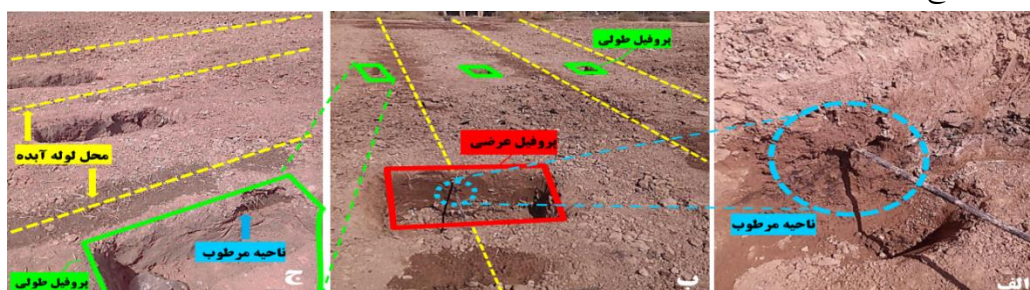
صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی چهارساله، دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) با سه تیمار آبیاری (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) بررسی نمودند. تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان ۶۰ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی، بهترین تیمار شناخته شد. هم‌چنین عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر، بهترین الگوی توزیع شوری از لحاظ میزان شوری کمتر را دارا بود. تحقیقی روی اثر توزیع رطوبت خاک و الگوی خیس‌شدگی روی میزان محصول تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام گردید و نتایج نشان داد

مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی انجام شد. بافت خاک رسی سیلتی (Silty Clay) بوده که جزو خاک‌های سنگین طبقه‌بندی می‌گردد. به‌منظور انتخاب دبی مناسب قطره‌چکان‌ها، تعدادی آزمایش اولیه در مزرعه موردنظر انجام گردید. دو نوع لوله آبدار در بررسی‌های اولیه مورد ارزیابی قرار گرفت، لوله اول با دبی قطره‌چکان ۱/۲ لیتر در ساعت و فاصله قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر و لوله دوم با دبی ۳/۸ لیتر در ساعت و فاصله ۵۰ سانتی‌متر. جهت بررسی توزیع رطوبت در محل قطره‌چکان‌ها، پروفیل‌های عرضی و طولی حفر شد و ابعاد پیاز رطوبتی اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه لوله آبدار با دبی قطره‌چکان ۳/۸ لیتر در ساعت موجب رواناب در سطح خاک گردید لذا لوله آبدار با دبی قطره‌چکان ۱/۲ لیتر در ساعت برای انجام تحقیق انتخاب شد. در شکل ۱ (الف تا ج) پروفیل‌های طولی و عرضی برای اندازه‌گیری پیاز رطوبتی در خاک مزرعه موردنظر ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ (الف تا ج) نحوه اتصال لوله‌های آبدار به مانیفولد، دستگاه لوله-گذار، موقعیت قلمه نسبت به لوله، شماتیکی از نقشه اجرای طرح به همراه ایستگاه فیلتراسیون و تیمارهای آزمایشی نشان داده شده است. در جدول ۱ تا ۵ مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبدار، خصوصیات هیدرولیکی قطره‌چکان مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب و پارامترهای هواشناسی آورده شده است.

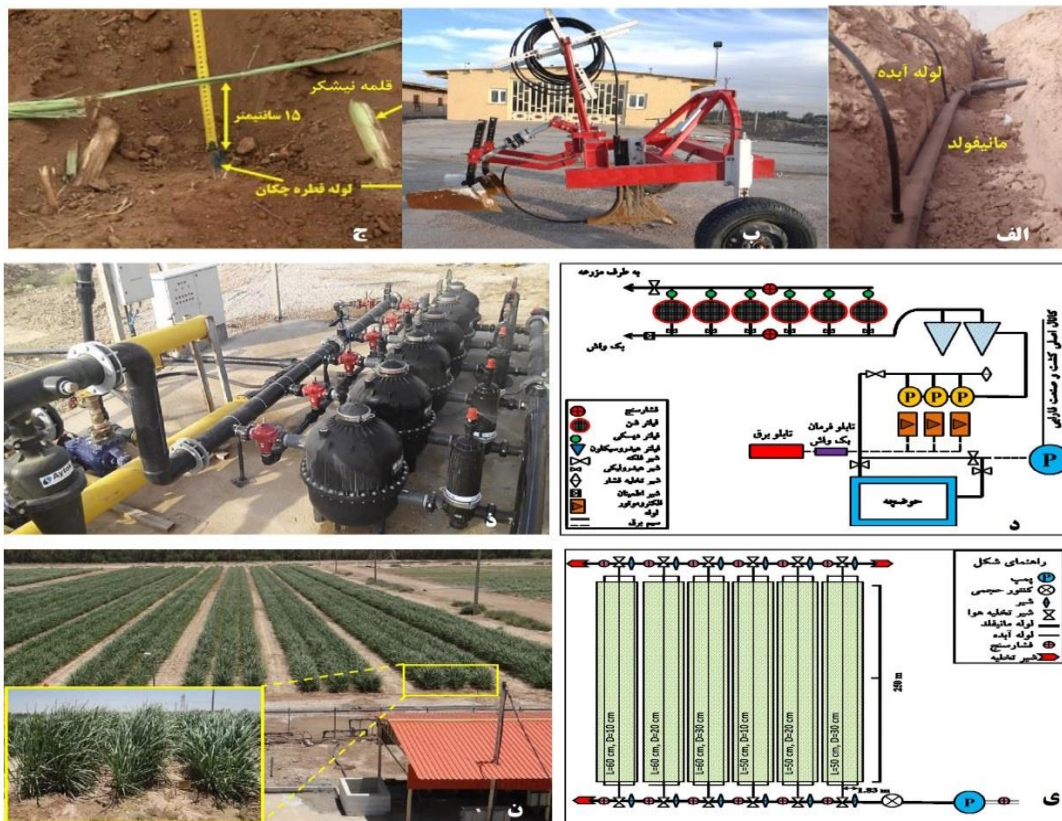
سایر روش‌های آبیاری کاهش یابد، کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آینده نزدیک افزایش خواهد یافت (شاجو و همکاران ۲۰۱۷). برای بهینه‌سازی دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نیازمند است پیش‌بینی دقیقی از هندسه پروفیل رطوبتی و توزیع آب در خاک موجود باشد (زار ۱۹۹۶). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کارایی مصرف آب بالایی دارد، یعنی محصولات بیشتری در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری به‌ازای یک واحد آب مصرفی، تولید می‌شود. مقادیر کارایی مصرف آب به‌وسیله پارامترهای طراحی سیستم مثل عمق لوله آبدار، دبی قطره‌چکان، وضعیت اشباع خاک و مدت‌زمان آبیاری مشخص می‌شود (باتناگر و سیرواستاوا ۲۰۰۳). آبیاری مکرر کمک می‌کند تا رطوبت خاک ناحیه ریشه در نزدیکی نقطه ظرفیت‌زراعی باقی بماند (عبداله و محمد ۲۰۱۳). طبق نتایج تحقیقات ارائه شده، توزیع رطوبت در خاک به ازای حجم یکسان کاربرد آب، بیشتر وابسته به عواملی نظیر بافت خاک و عمق نصب لوله آبدار می‌باشد لذا در این مطالعه توزیع رطوبت و شوری در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نیشکر در خاکی با بافت سیلتی‌رسی به ازای اعماق مختلف نصب لوله آبدار مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در زمینی به مساحت ۱/۲ هکتار در مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان واقع در کیلومتر ۳۵ جاده اهواز-آبادان با



شکل ۱- الف) توسعه پیاز رطوبتی در پروفیل عرضی (عمود بر لوله آبدار)، ب) - نمایی از پروفیل‌های حفر شده و ج) - پروفیل طولی (موازی لوله آبدار)



شکل ۲- الف) نحوه اتصال لوله ابده به مانیفولد، ب) - دستگاه لوله گذار، ج) موقعیت لوله ابده نسبت به قلمه‌ها، د) - شماتیک تجهیزات و ایستگاه پمپاژ، ذ) - ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون، ی) - شماتیک تیمارهای مطالعه، ن) - مزرعه طرح تحقیقاتی

مرحله از مقابل قطره‌چکان و به فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری در یک طرف لوله و در اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد و مقادیر رطوبت وزنی (سه مرحله که هر مرحله بر اساس حجم مشخص آب داده شده تفکیک شده است) و شوری خاک (پنج مرحله) در آزمایشگاه تعیین گردید. همچنین در تیمار (L۶۰)، دقیقاً مقابل قطره‌چکان و در یک طرف لوله به فواصل افقی ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر، پنج عدد لوله تراپیم تا عمق ۹۰ سانتی‌متری جهت قرائت رطوبت با استفاده از دستگاه TDR نصب شده که در پنج نوبت در طول دوره آزمایش (تقریباً هر دو ماه) مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و در نهایت میانگین‌گیری شده است. ظرفیت زراعی و حد پژمردگی دائم خاک محل تحقیق به ترتیب برابر با ۲۵/۱ و ۱۲/۸۵ درصد وزنی بدست آمد. به طور کلی میزان آب مصرفی معادل ۱۹ هزار مترمکعب در هکتار برآورد گردید. قابل ذکر است اندازه‌گیری‌ها در

به‌منظور تعیین اثر عمق کارگذاری لوله ابده و نیز فاصله قطره‌چکان‌ها بر پیماز رطوبتی، تیمارها در سه عمق کارگذاری لوله ابده برابر ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر (d۱۵، d۲۰ و d۳۰) و دو فاصله قطره‌چکان ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر (L۵۰ و L۶۰) مجموعاً شش تیمار در سه تکرار انجام گردیده است. طول لوله‌های ابده ۲۳۹/۵ متر بوده و فاصله آن‌ها از یکدیگر با توجه به کشت نیشکر ۱/۸۳ متر در نظر گرفته شد. قلمه‌های نیشکر با فاصله ۴۰ سانتی‌متری از یکدیگر کشت شد و لوله ابده در وسط دو ردیف قلمه و در زیر سطح خاک قرار گرفت. در ایستگاه پمپاژ از سه پمپ فشارقوی WKL 80/3 به همراه دو عدد فیلتر هیدروسیکلون و شش عدد فیلتر شنی و دیسکی (۱۲۰ میکرون) استفاده شد. به‌منظور کارگذاری لوله‌های ابده در مزرعه، دستگاه لوله‌گذار مناسب کشت نیشکر طراحی و ساخته شد. لوله‌های ابده از نوع کنترل فشار و آنتی‌سیفون با قطر خارجی ۱۶ میلی‌متر بود. نمونه‌برداری در هر

فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه طرح و پارامترهای هواشناسی منطقه ارائه شده است.

$$Cu = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) \quad (1)$$

که در آن:

Cu ضریب یکنواختی، x_i دبی اندازه‌گیری شده در هر قطره‌چکان، \bar{x} میانگین دبی قطره‌چکان‌ها و n تعداد قطره‌چکان‌ها می‌باشد.

فاصله ۸۰ متری از لوله مانیفولد انجام شده است؛ که به منظور بررسی میزان یکنواختی دبی قطره‌چکان‌ها به ازای شش نقطه به روش حجم-زمان در طول لاترال‌ها اندازه‌گیری شد و طبق رابطه (۱) ضریب یکنواختی (Cu) محاسبه گردید که در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین در جدول ۱ تا ۴ به ترتیب مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبد، مشخصات قطره‌چکان، خصوصیات

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبد

Cu	دبی قطره چکان به ازای فاصله (لیتر در ساعت)						P _n (Bar)	P _i (Bar)	l (m)	D (mm)	B (cm)	d (cm)	L (cm)	q (l/hr)	تیمار
	۲۳۹/۵	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰									
۸۸	۱/۲۲	۱/۱۷	۱/۱۱	۱/۱۷	۱/۴۴	۰/۹۷	۱/۱	۳/۴				۳۰			اول
۸۹	۱/۲۳	۱/۱۹	۱/۲۰	۱/۳۰	۱/۳۳	۰/۹۴	۱/۱	۳/۴	۲۳۹/۵	۱۶	۱۸۳	۲۰	۵۰	۱/۲	دوم
۸۲	۱/۳۲	۱/۱۶	۱/۵۲	۱/۵۰	۱/۴۷	۱/۲۴	۱/۱	۴/۴				۱۵			سوم
۹۱	۱/۳۸	۱/۳۶	۱/۳۵	۱/۲۵	۱/۲۴	۱/۱۴	۱/۴	۳/۴				۳۰			چهارم
۹۰	۱/۴۰	۱/۳۵	۱/۱۹	۱/۲۴	۱/۲۱	۱/۱۵	۱/۴	۳/۴	۲۳۹/۵	۱۶	۱۸۳	۲۰	۶۰	۱/۲	پنجم
۸۸	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۳۳	۱/۴۱	۱/۴۴	۱/۱۳	۱/۴	۳/۴				۱۵			ششم

q (دبی قطره‌چکان‌ها- لیتر بر ساعت)، L (فاصله قطره‌چکان‌ها روی لوله- سانتی‌متر)، d (عمق کارگذاری لوله- سانتی‌متر)، B (فاصله لوله‌های آبد- سانتی‌متر)، D (قطر خارجی لوله آبد- میلی‌متر)، l (طول لوله آبد- متر)، P_i (فشار ابتدای خط- بار)، P_n (فشار انتهایی خط- بار)، Cu (درصد یکنواختی دبی قطره چکان‌ها)

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی قطره‌چکان مورد استفاده مندرج در کاتالوگ کارخانه سازنده

دبی قطره‌چکان (l/hr)	توان x	ضریب جریان k	CV	ضریب تغییرات ساخت (0.5-5 bar)	مسیر جریان (mm)			ابعاد فیلتر ورودی (mm ²)
					عمق	عرض	طول	
۱/۲	۰/۰۳	۱/۱۹۲		۳/۰۸۸	۱/۱۵	۰/۷۶	۸۹	۰/۱۹۷ * ۳۴

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

عمق نمونه (cm)	EC (dS/m)	pH	ρ _b (gr/cm ³)	مشخصات فیزیکی خاک			کاتیون‌ها (meq/l)				(SAR)	
				%Clay	%Silt	%Sand	بافت	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		K ⁺
۰-۳۰	۶/۹۷	۷/۱۹	۱/۵	۴۴	۴۷	۹	Silty Clay	۵۱/۲	۱۱/۰۹	۱۱/۵۲	۰/۱۸	۱۵/۰۳
۳۰-۶۰	۴/۷۵	۷/۳	۱/۵۷	۴۳	۴۶	۱۱	Silty Clay	۳۶/۴	۷/۸۲	۸/۰۴	۰/۱۲	۱۲/۶۴
۶۰-۹۰	۴/۷۳	۷/۳	۱/۶۱	۴۵	۴۷	۸	Silty Clay	۳۱/۶	۹/۸۹	۱۰/۸۲	۰/۰۱	۱۰/۰۷

جدول ۴- مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده در طرح

مجموع کاتیونها	کاتیونها (meq/l)			مجموع آنیونها	آنیونها (meq/l)				درصد سدیم محلول	نسبت جذب سدیم	سختی کل	مجموع مواد معلق	pH	EC (μS/cm)	
	کلسیم	منیزیم	سدیم		سولفات	کلر	بیکربنات	کربنات							SSP
Sum Cations	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Sum Anions	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻							
۱۸/۵۷	۵/۴۴	۲/۱۴	۱۰/۹۹	۱۷/۸۰	۶/۴۰	۸	۳/۴۰	۰	۵۹/۲	۵/۶	۳۷۷	۱۰۰۰	۷/۷۹	۱۸۶۴	

جدول ۵- مقادیر متوسط پارامترهای مهم هواشناسی در منطقه مطالعاتی (۱۳۹۶-۱۳۷۶)

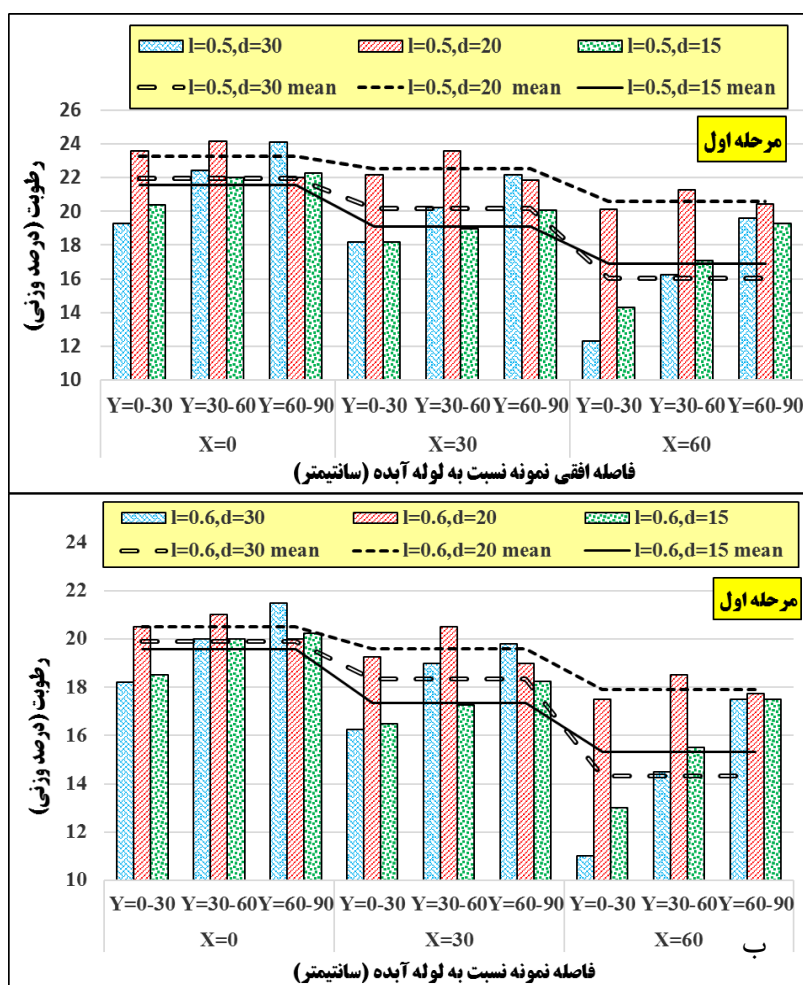
میانگین کل دما (°C)	میانگین کل رطوبت (%)	حداکثر مطلق دما (°C)	حداقل مطلق دما (°C)	میانگین بارندگی سالیانه (mm)	میانگین تبخیر سالیانه (mm)	حداکثر تبخیر روزانه (mm)	میانگین باد	
							سرعت (m/s)	جهت وزش
۲۵/۱	۴۴/۶	۵۱/۵	-۴/۵	۱۵۷	۳۲۱۸	۲۸/۲	۲/۴	NW

نتایج به دست آمده در تیمارهای مختلف ارائه شده است. نمونه برداری‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر از لوله آبد و در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی-متری و در سه تیمار با عمق لوله آبد ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری انجام شده است.

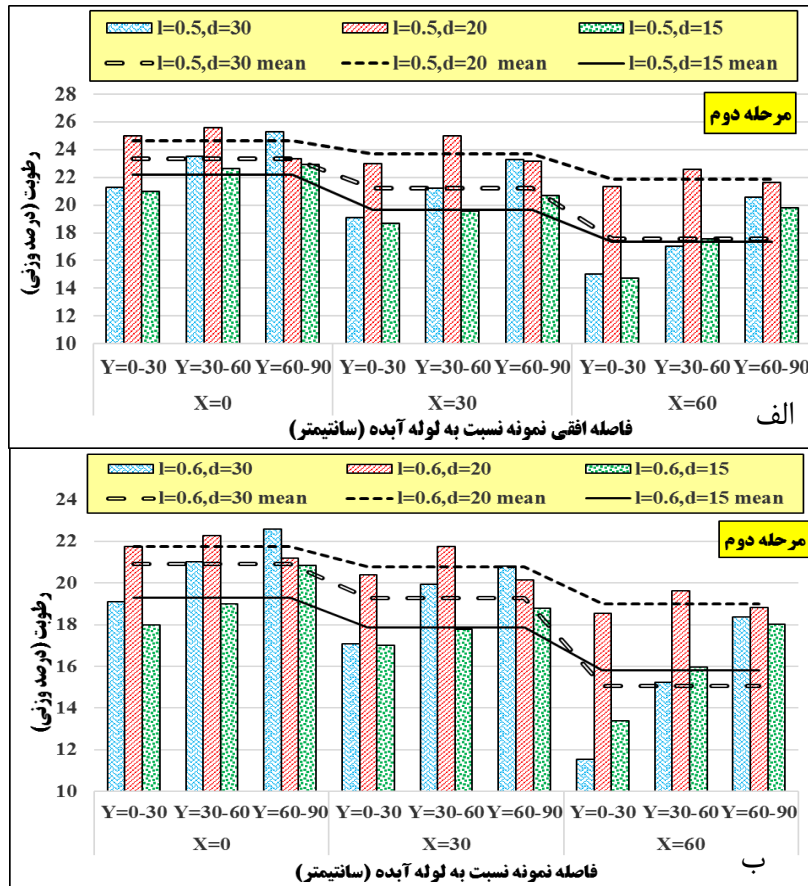
نتایج و بحث

توزیع رطوبت در خاک

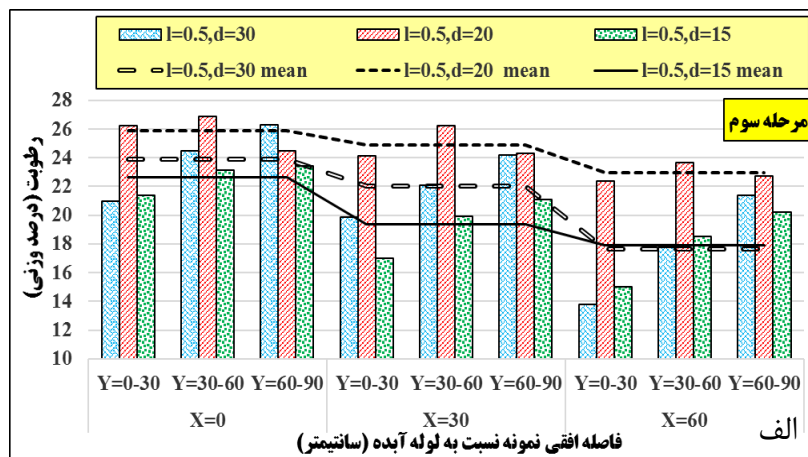
اندازه‌گیری نمونه‌های رطوبتی ۲۴ ساعت پس از آبیاری به ازای اعماق و فواصل مختلف از لوله آبد، در سه مرحله در طول فصل کشت انجام شده است. در شکل ۳،

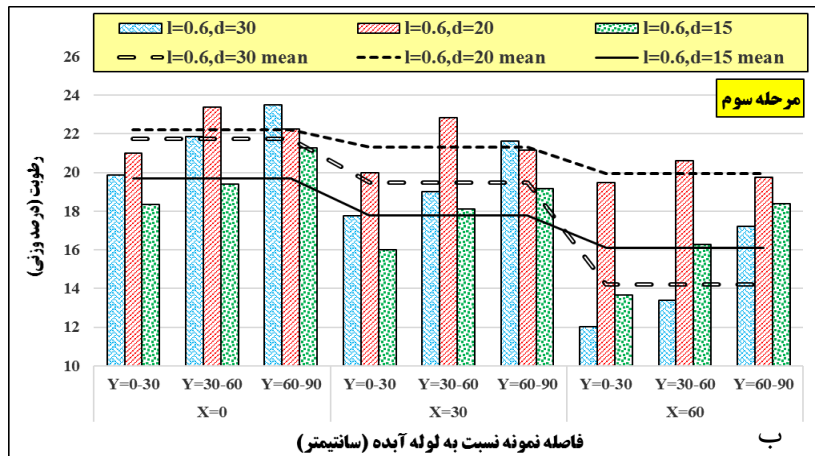


شکل ۳-الف) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی‌متر به ازای سه عمق نصب لوله (مرحله اول) ب) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی‌متر به ازای سه عمق نصب لوله (مرحله اول)



شکل ۴- الف) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله دوم) ب) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله دوم)





شکل ۵-الف) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی متر به ازای سه عمق نصب لوله (مرحله سوم) ب) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی متر به ازای سه عمق نصب لوله (مرحله سوم)

پس از آن روندی کاهشی داشته است. در تیمار d15 به علت نزدیکی قطره چکان به سطح خاک، بخشی از جریان در سطح خاک پخش شده است و موجب گردیده که گسترش عرضی رطوبت کمتر شود این موضوع باعث شده تا حداکثر میزان رطوبت به صورت عمقی توسعه یافته و به همین علت در شکل ۳، مقادیر رطوبت از سطح به عمق خاک روندی افزایشی دارد. میزان حجم آب داده شده در مرحله یک، دو و سه به ترتیب ۸، ۱۱ و ۱۴ میلی متر در واحد سطح بوده است. این تفاوت در عمق آب آبیاری، موجب تغییر در مقدار رطوبت نقاط مختلف شده و این روند در شکل های ارائه شده به ازای مراحل یک تا سه نیز مشاهده شده است. از مقایسه مقادیر رطوبت در دو تیمار L50 و L60 این مورد مشاهده می گردد که مقادیر رطوبت در تیمار L50 بیش از تیمار L60 است. با توجه به هم پوشانی بیشتر قطره چکان ها در تیمار L50 این موضوع موجب گسترش بیشتر رطوبت در اطراف قطره چکان شده است.

ترسیم پروفیل های رطوبتی

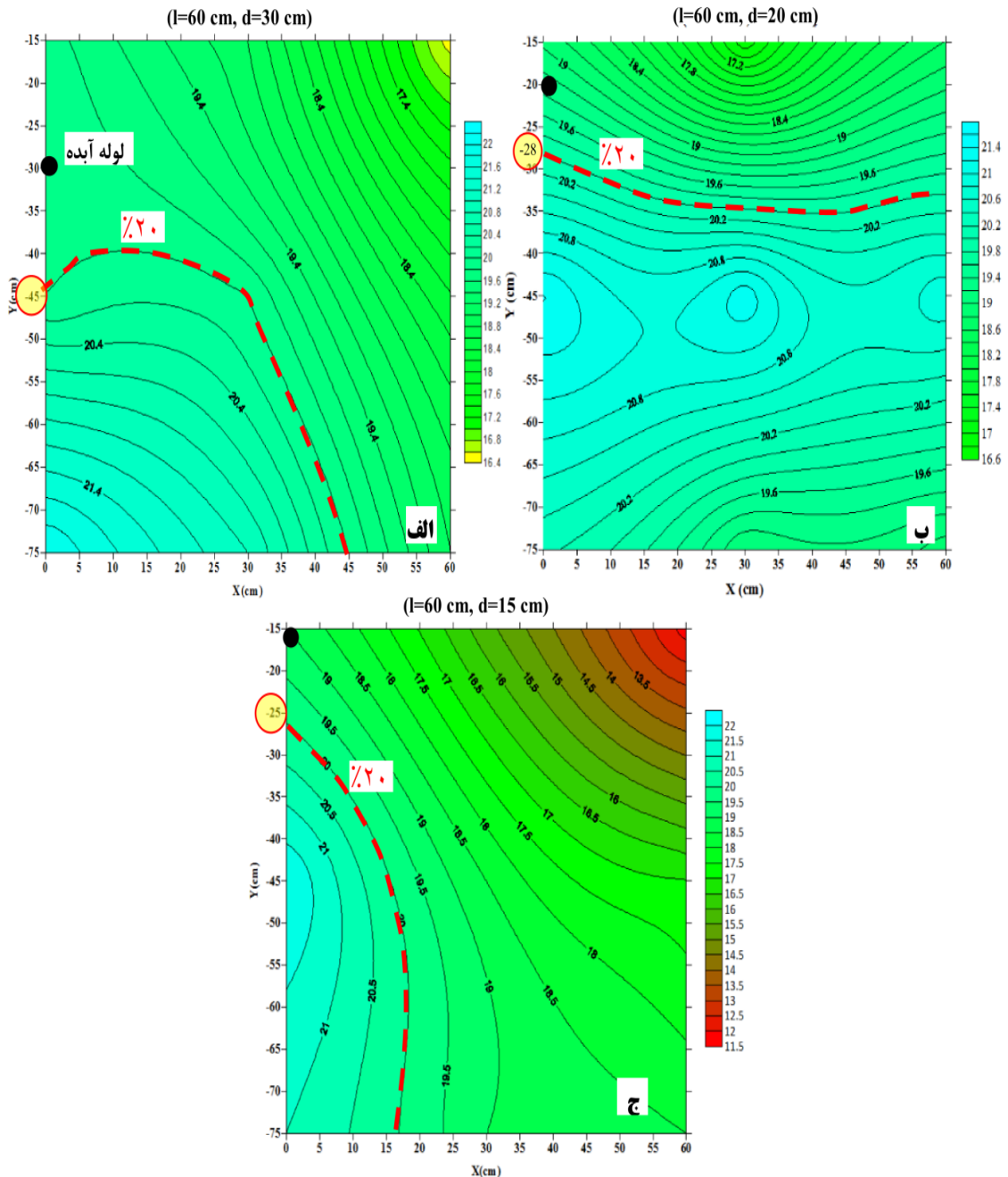
به منظور ارائه واضح تر توزیع پیلز رطوبتی در خاک با استفاده از نرم افزار سورفر^۱ نسخه ۱۴ خطوط هم رطوبت تیمار L60 به صورت دوبعدی ترسیم شده است.

همانطور که مشاهده شد با فاصله گرفتن از لوله آبد، مقادیر میانگین رطوبت وزنی روند نزولی داشت. علت این پدیده را می توان به این صورت بیان نمود که با فاصله گرفتن از لوله و توسعه پیلز رطوبتی، آب در حجم خاک بیشتری توسعه یافته و رطوبت کمتری به نقاط دورتر می رسد، این کاهش مقادیر رطوبت به طور واضح در خطوط میانگین شکل ۳ تا ۵ نشان داده شده است. در شکل های ۳ تا ۵ در برخی نقاط مقادیر رطوبت کمتر از حد پژمردگی دائم بود زیرا این نقاط در فاصله افقی ۶۰ سانتی متری از لوله آبد و در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک قرار داشته و الگوی خیس شدگی به نحوی است که جریان عرضی تا این ناحیه نمی رسد. نکته دیگری که مشاهده می گردد شکل متفاوت توزیع رطوبت به ازای عمق های متفاوت نصب لوله آبد می باشد. به این صورت که در تیمار d30 و d15 از سطح تا عمق ۹۰-۶۰ سانتی متری خاک مقادیر رطوبت روندی افزایشی داشته، ولی در تیمار d20 از سطح تا عمق ۶۰-۳۰ سانتی متر روند افزایشی بوده و پس از آن کاهشی می گردد. علت این موضوع را به این صورت قابل توضیح است که در تیمار d30 بیشترین میزان رطوبت در عمق ۹۰-۶۰ سانتی متری سطح خاک ایجاد شده بنابراین مقدار رطوبت از سطح تا عمق روندی افزایشی دارد. در تیمار d20 بیشترین مقدار رطوبت در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری ایجاد شده لذا از سطح تا این عمق مقادیر رطوبت روندی افزایشی و

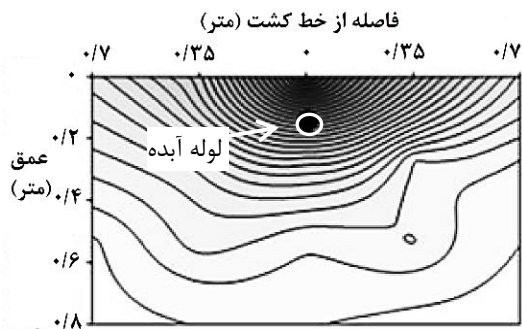
¹ Surfer v.14

درصد) طیف رنگی نمایش رطوبت به این صورت آبی (رطوبت ظرفیت زراعی و بیشتر)، سبز (رطوبت بین ظرفیت زراعی و رطوبت مناسب زمان آبیاری)، زرد (رطوبت پژمردگی موقت) و قرمز (رطوبت نقطه پژمردگی دائم) مشخص شده است. در شکل ۴ (الف تا ج) با استفاده از مقادیر میانگین رطوبتی سه مرحله، به صورت دوبعدی توزیع رطوبت ارائه شده است.

با توجه به اینکه نمونه‌ها در بازه‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ دسته‌بندی شده‌اند، لذا به منظور وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار سورفر از عمق‌های ۱۵-، ۴۵- و ۷۵- سانتی‌متر به‌عنوان نماینده هر بازه استفاده شده است. به همین علت در محور عمودی حداقل و حداکثر عمق به ترتیب ۱۵-، ۷۵- سانتی‌متر نشان داده شده است. با استفاده از مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی (۲۵/۱٪ (وزنی)، رطوبت نقطه پژمردگی دائم ۱۲/۸۵٪ و تخلیه مجاز رطوبتی نیشکر (۶۰



شکل ۴- مقادیر دوبعدی میانگین سه مرحله رطوبت وزنی نسبت به محل لوله در تیمار ۶۰.الف) لوله آبد در عمق ۳۰ سانتی‌متر، ب) لوله آبد در عمق ۲۰ سانتی‌متر، ج) لوله آبد در عمق ۱۵ سانتی‌متر



شکل ۷- توسعه ریشه نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (سوزا و همکاران، ۲۰۱۳)

با توجه به شکل ۷ و مقایسه با پیاز رطوبتی ارائه شده در شکل ۶ مشخص می‌شود که توسعه پیاز رطوبتی با توزیع ریشه هماهنگی مناسبی داشته و می‌تواند رطوبت مورد نیاز گیاه را تأمین نماید. که در این میان تیمارهایی با عمق نصب لوله ۱۵ و ۲۰ سانتی متر هماهنگی مناسب تری با توزیع ریشه نیشکر در خاکی با بافت سنگین دارد بخصوص تیمار d۲۰، زیرا علاوه بر اینکه توزیع عرضی رطوبت در این تیمار بیش از تیمار d۱۵ بوده، در تیمار d۲۰ رواناب سطحی نیز وجود نداشته و تلفات تبخیر از سطح خاک نیز در آن کمتر است.

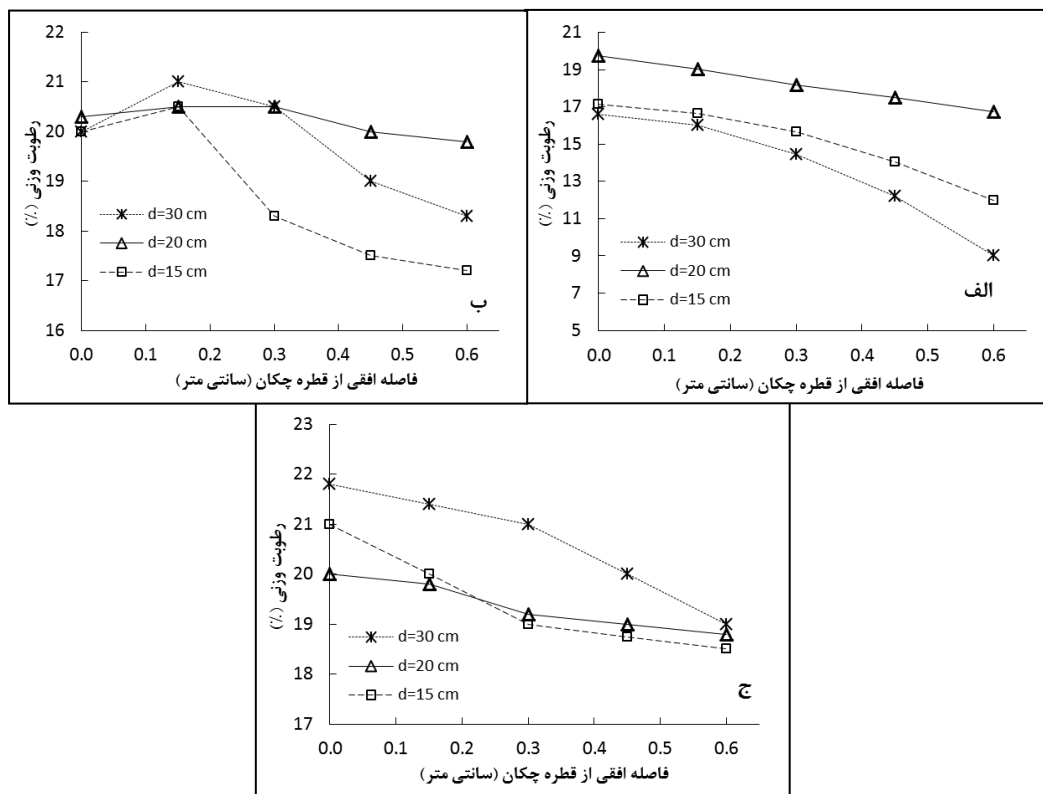
روابط توزیع رطوبت در خاک

به منظور تعیین رابطه‌ای جهت تخمین رطوبت در اطراف قطره‌چکان با استفاده از میانگین مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در فواصل افقی ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری از لوله آبده و در عمق‌های ۱۵، ۴۵ و ۷۵ سانتی متری با استفاده از دستگاه TDR، روابطی بین فاصله و مقدار رطوبت در دو جهت افقی و عمودی برآورد شد که در جدول ۶ ارائه شده است. در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب تغییرات عرضی رطوبت در لایه‌های افقی خاک (لایه با عمق ۱۵، ۴۵ و ۷۵ سانتی متری از سطح خاک) و تغییرات عمقی رطوبت در لایه‌های عمودی خاک (لایه با فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی متری از لوله آبده) در تیمار L۶۰ ارائه شده است.

با مقایسه مقادیر رطوبت در اعماق مختلف نصب لوله آبده، مشخص گردید که با افزایش عمق نصب لوله، پیاز رطوبتی به سمت عمق‌های پایین‌تر منتقل می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است به‌عنوان مثال با بررسی خط رطوبت ۲۰ درصد مشاهده می‌گردد که در تیمار L۶۰ خط رطوبت ۲۰ درصد، در عمق‌های نصب لوله ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر به ترتیب در عمق‌های ۲۵، ۲۸ و ۴۵ سانتی متر از سطح خاک رخ داده است. نکته دیگری که از شکل ۴ استنباط می‌گردد، این است که در تیمار d۲۰ و d۱۵ محدوده رطوبت ماکزیمم در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری و در تیمار d۳۰ این محدوده در عمق ۹۰-۶۰ سانتی متری است. وانگ و همکاران، توزیع رطوبت ماکزیمم در حالت عمق نصب لوله در ۲۰ و ۱۰-۵ سانتی متری را به ترتیب در عمق ۶۰-۱۰ و ۳۰-۰ سانتی متری گزارش نموده‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۱۸).

مقایسه توسعه پیازچه رطوبتی با پراکنش ریشه نیشکر

سوزا و همکاران (۲۰۱۳) در مزرعه سانتاهلنا شهر سائوپائولو کشور برزیل به بررسی گسترش ریشه نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاکی با بافت سنگین پرداختند. در این تحقیق لوله آبده در عمق ۰/۱۶ متری از سطح خاک نصب شده و دبی قطره‌چکان‌ها ۱/۷۵ لیتر در ساعت و فاصله آن‌ها روی لوله آبده ۵۰ سانتی متر بوده است. طبق نتایج، ۸۰ درصد گسترش ریشه نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۴۰ سانتی متری پراکنده شده است.



شکل ۸- توزیع عرضی رطوبت در لایه‌های افقی خاک (الف) عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک، (ب) عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک، (ج) عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک

در جهت عرضی جابجا شده است. این میزان جابجایی در تیمار d_{20} برابر ۳۰ سانتی‌متر و در تیمارهای d_{15} و d_{30} ۱۵ سانتی‌متر بوده است که این موضوع نشان دهنده گسترش عرضی بیشتر رطوبت در تیمار d_{20} در مقایسه با دو تیمار دیگر بوده است. در شکل ۸-ج مشاهده می‌گردد که رطوبت در تیمار d_{30} نسبت به دو تیمار دیگر بیشتر بوده است زیرا لوله آبد در فاصله کمتری با لایه ۷۵ سانتی‌متری خاک قرار داشته و مقدار رطوبت بیشتری در این لایه توزیع شده است. از مقایسه شکل‌ها مشخص می‌گردد که در لایه ۱۵ سانتی‌متری و تقریباً در لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d_{20} اندازه‌گیری گردیده و در لایه ۷۵ سانتی‌متری بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d_{30} اندازه‌گیری شده است.

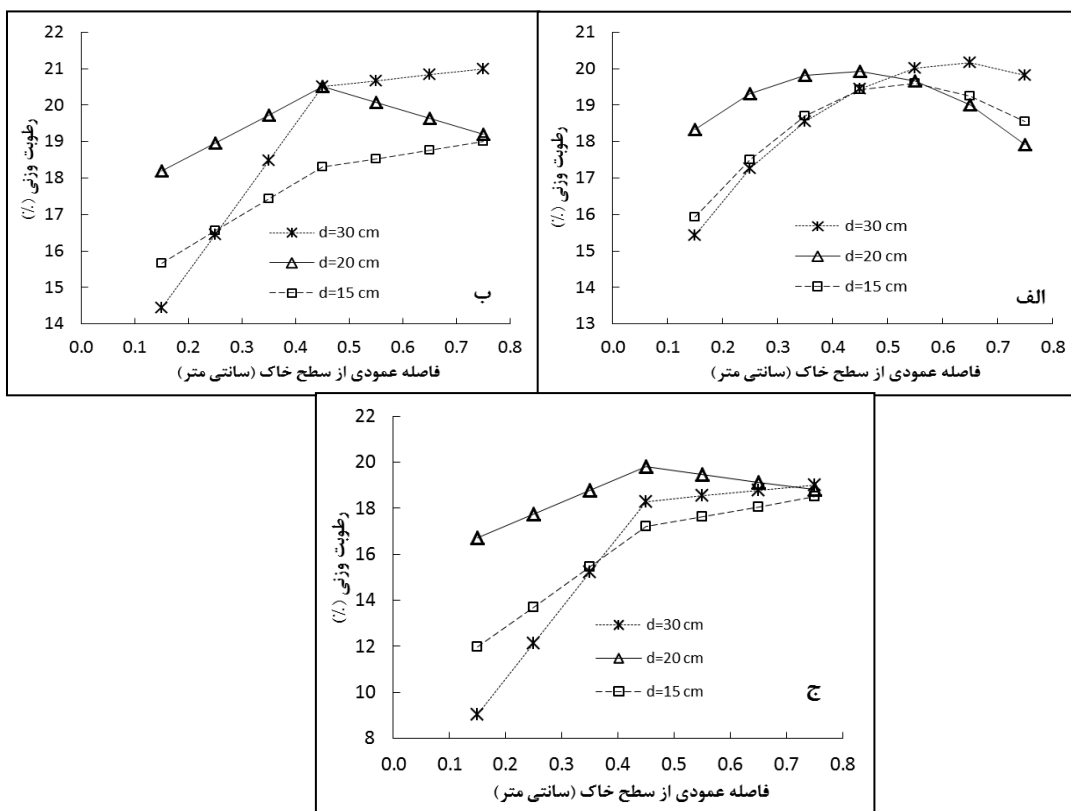
در شکل ۹-الف با افزایش عمق میزان رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است. تیمارهای d_{15} ، d_{20} و d_{30} به ترتیب در عمق‌های ۵۵، ۴۵ و ۶۵ سانتی‌متری از سطح خاک به بیشترین میزان رطوبت

در شکل ۸-الف به‌ازای فواصل افقی مختلف بیشترین مقادیر رطوبت به ترتیب مربوط به تیمار d_{20} ، d_{15} و d_{30} بوده است. علی‌رغم این‌که در تیمار d_{20} لوله در عمق پایین‌تری نسبت به تیمار d_{15} نصب شده، ولی میزان رطوبت در سطح خاک بیش از دو تیمار دیگر شده است. علت این‌که میزان رطوبت در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک در تیمار d_{20} بیشتر از تیمار d_{15} بوده است را می‌توان به این موضوع نسبت داد که در تیمار d_{15} در محل قطره-چکان رطوبت به سطح خاک رسیده و در این ناحیه از سطح خاک تبخیر می‌گردد، بنابراین توزیع عرضی رطوبت در تیمار d_{15} کاهش می‌یابد. از طرفی در تیمار d_{30} قطره‌چکان در عمق پایین‌تری نسبت به تیمار d_{20} قرار گرفته و رطوبت کمتری به لایه ۱۵ سانتی‌متری خاک رسیده است. در شکل ۸ (ب) با افزایش فاصله افقی از لوله آبد ابتدا رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و به این مفهوم که حداکثر مقدار رطوبت دقیقاً در زیر قطره‌چکان شکل نگرفته و مقداری

رطوبت ابتدا روندی افزایشی و پس از رسیدن به مقدار بیشینه روندی کاهشی داشته است. مشابه این روند در شکل ۹-ج نیز مشاهده شده است؛ زیرا در تیمار d_{20} بیشینه رطوبت در عمق حدود ۴۵ سانتی متری خاک تشکیل شده و بصورت عرضی تا حدود فاصله افقی ۶۰ سانتی متری از لوله آبدار گسترش یافته است. برای رطوبت‌های ثبت شده با TDR روابط جدول ۶ بدست آمده است.

به منظور بررسی میزان دقت روابط ارائه شده در جدول ۶ به این صورت اقدام شده است که مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده به روش وزنی در آزمایشگاه در مقابل رطوبت‌های ثبت شده با TDR که مبنای استخراج روابط جدول ۶ بوده است، ترسیم گردیده است. به همین منظور از متوسط مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در مراحل ۱، ۲ و ۳ جهت این مقایسه استفاده شده است. در شکل ۱۰ مقایسه مقادیر رطوبت واقعی و برآورد شده به ازای توزیع افقی و عمودی رطوبت ارائه شده است.

رسیده‌اند. در این شکل نیز تیمار d_{20} در عمق کمتری نسبت به تیمار d_{15} به حداکثر رطوبت خود رسیده است. علت این اتفاق به دلیل نزدیکی قطره‌چکان به سطح خاک در تیمار d_{15} جریان آب به سطح رسیده و موجب رواناب و تبخیر از سطح شده است. با توجه به این که اندازه‌گیری رطوبت ۲۴ ساعت پس از آبیاری انجام گردیده رطوبت لایه نزدیک سطح خاک تبخیر شده و موجب شده که حداکثر رطوبت در عمق پایین‌تری به وقوع بپیوندد. ترکیب دو عامل رواناب و تبخیر موجب شد علی‌رغم پایین‌تر بودن لوله آبدار در تیمار d_{20} ، حداکثر رطوبت این تیمار در عمق کمتری نسبت به تیمار ۱۵ تشکیل شود. در رابطه با تیمار d_{30} نیز با توجه به اینکه لوله آبدار در عمق پایین‌تری قرار گرفته، حداکثر رطوبت در عمق پایین‌تری نسبت به دو تیمار دیگر شکل گرفته است. در شکل ۹-ب مشاهده می‌گردد که با افزایش عمق در تیمار d_{15} و d_{30} مقادیر رطوبت افزایش یافته‌اند ولی در تیمار d_{20} با افزایش عمق تغییرات

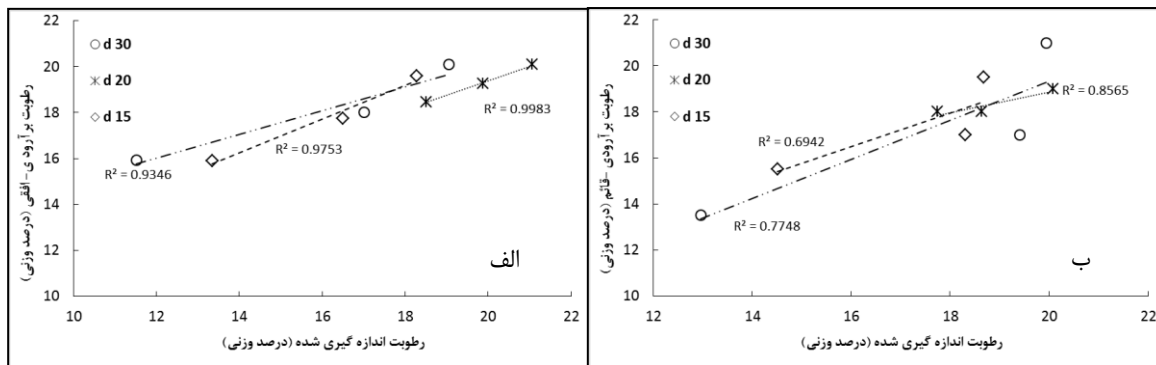


شکل ۹- تغییرات عمقی رطوبت در لایه‌های عمودی خاک (الف) فاصله افقی + سانتی متری از لوله آبدار، (ب) فاصله افقی ۳۰ سانتی متری از لوله آبدار، (ج) فاصله افقی ۶۰ سانتی متری از لوله آبدار

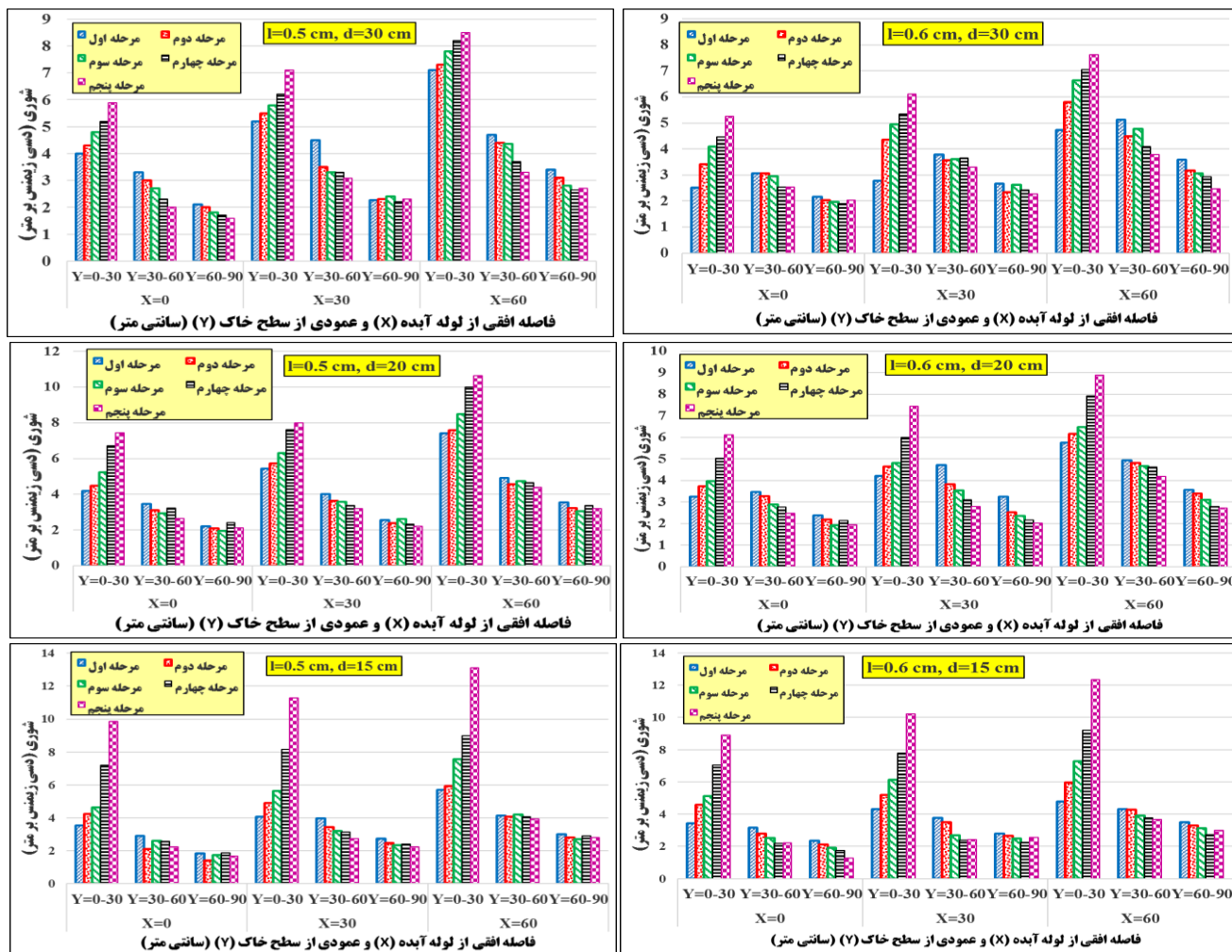
جدول ۶- روابط برآورد شده جهت تخمین مقدار رطوبت در دو جهت افقی و قائم

عمق نصب	۳۰ سانتی‌متر	۲۰ سانتی‌متر	۱۵ سانتی‌متر
توزیع افقی	$\theta = -6.9606x + 20.108$ $R^2 = 0.8997$	$\theta = -2.7125x + 20.085$ $R^2 = 0.9909$	$\theta = -6.1909x + 19.605$ $R^2 = 0.9767$
توزیع عمودی	$\theta = -29.277y^2 + 37.971y + 7.8232$ $R^2 = 0.9929$	$\theta = -18.868y^2 + 18.455y + 15.354$ $R^2 = 0.9733$	$\theta = -17.343y^2 + 22.551y + 11.472$ $R^2 = 0.9954$

X: فاصله افقی از لوله آبده (متر)، Y: فاصله عمودی از سطح خاک (متر)، θ : درصد رطوبت وزنی



شکل ۱۰- الف) مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت با مقادیر برآوردی در راستای افقی. ب) مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت با مقادیر برآوردی در راستای قائم



شکل ۱۱- توزیع شوری به ازای فواصل و اعماق مختلف

زیمنس برمتر در عمق نصب ۳۰ سانتی متر به حدود ۱۰ دسی زیمنس برمتر در عمق نصب ۱۵ سانتی متر افزایش داشته است. مشابه این روند در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی متر نیز مشاهده شده است، به این صورت که از حدود ۵/۳ دسی زیمنس برمتر در عمق نصب ۳۰ سانتی متر به حدود ۹ دسی زیمنس برمتر در عمق نصب ۱۵ سانتی متر افزایش داشته است. مورد دیگری که تقریباً در تمامی روندها (به غیر از چند مورد استثنا) مشاهده می گردد کاهش شوری در عمق های ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ در طول دوره نمونه برداری است. علت این موضوع را می توان به این صورت بیان نمود که در عمق های ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ به علت وجود رطوبت بیشتر، حرکت جریان آب بیشتر به سمت پایین بوده لذا موجب انتقال املاح به لایه های پایین تر گردیده که این موضوع موجب می گردد که شوری خاک به مرور کاهش یابد. البته در این دو عمق نیز مجدد مشاهده گردیده است که با افزایش فاصله افقی از لوله آبدار میزان شوری روندی افزایشی داشته است. بطور کلی بیشترین میزان شوری در تیمار مربوط به فاصله ۵۰ سانتی متر بین قطره چکان ها روی لوله آبدار و در نقطه ای با فاصله افقی ۶۰ سانتی متر از لوله آبدار در لایه با عمق ۱۵ سانتی متری از سطح، معادل ۱۳ دسی زیمینس بر متر بدست آمد.

نتیجه گیری

طبق نتایج مشاهده شد که با فاصله گرفتن از لوله آبدار، مقادیر میانگین رطوبت وزنی روند نزولی دارد. توزیع رطوبت به ازای عمق های مختلف نصب لوله آبدار متفاوت است به این صورت که در تیمار d۳۰ و d۱۵ از سطح تا عمق ۶۰-۹۰ سانتی متری خاک، مقادیر رطوبت روندی افزایشی دارد ولی در تیمار d۲۰ از سطح تا عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری، روند افزایشی بوده و پس از آن کاهش می گردد. در تیمار d۱۵ به علت نزدیکی قطره چکان به سطح خاک، بخشی از جریان به رواناب تبدیل شده و موجب کاهش گسترش عرضی رطوبت در

متوسط ضریب همبستگی در شکل ۱۰- الف و ب به ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۰/۷۸ بوده است؛ بنابراین روابط ارائه شده در جدول ۶، گسترش عرضی رطوبت را دقیق تر برآورد می نمایند.

توزیع شوری

به منظور بررسی روند تغییرات شوری در طول دوره داشت نیشکر در پنج مرحله میزان شوری خاک به ازای فواصل ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی متری از قطره چکان و اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ اندازه گیری شده است. نتایج در شکل ۱۱ ارائه شده است. بر اساس شکل ۱۱ میزان شوری در عمق ۰-۳۰ سانتی متری در طول دوره نمونه برداری روندی افزایشی داشته است. علت افزایش شوری در این ناحیه به علت صعود موئینه و تبخیر رطوبت از سطح خاک است. علت این پدیده را می توان به این صورت بیان نمود که جریان آب از سمت قطره چکان در جهات مختلف وجود داشته که حرکت عرضی جریان موجب گسترش رطوبت در فواصل افقی تا ۶۰ سانتی متری گردیده است. بخشی از این رطوبت به صورت عمقی نفوذ پیدا کرده و بخشی دیگر نیز به صورت موئینه به عمق های بالاتر رفته که به علت تبخیر در سطح خاک موجب شوری لایه سطحی خاک شده است. هر چه که میزان رطوبت در این ناحیه کمتر باشد نسبت صعود موئینگی به نفوذ عمقی بیشتر شده و موجب افزایش شوری در این ناحیه می گردد. به همین علت است که با فاصله گرفتن از لوله آبدار میزان شوری در لایه سطحی خاک روندی افزایشی داشته است. این روند در تمامی شکل ها مشاهده شده است البته در تیمار با عمق لوله ۱۵ سانتی متر به علت اینکه جریان به سطح خاک می رسد و در معرض هوا تبخیر می گردد مقادیر شوری بیشتری در مقایسه با دو عمق دیگر در لایه سطحی خاک اندازه گیری شده است. برای مثال در آخرین مرحله اندازه گیری میزان شوری در تیمار فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی متر در لایه سطحی خاک و در محل قطره چکان از حدود شش دسی-

موضوع نشان دهنده گسترش عرضی بیشتر رطوبت در تیمار d20 در مقایسه با دو تیمار دیگر بوده است. در لایه با عمق ۱۵ و ۴۵ سانتی‌متری، بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d20 اندازه‌گیری گردیده و در لایه ۷۵ سانتی‌متری بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d30 اندازه‌گیری شده است. با افزایش عمق میزان رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و تیمارهای d15، d20 و d30 به ترتیب در عمق‌های ۵۵، ۴۵ و ۶۵ سانتی‌متری از سطح خاک به بیشترین میزان رطوبت رسیده‌اند. متوسط ضریب همبستگی روابط استخراج شده جهت توسعه عرضی و عمودی رطوبت به ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۰/۷۸ بوده است؛ بنابراین روابط ارائه شده، گسترش عرضی رطوبت را دقیق‌تر برآورد می‌نمایند. همچنین میزان شوری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در طول دوره نمونه برداری روندی افزایشی داشت. علت افزایش شوری در این ناحیه به علت صعود موئینه و تبخیر رطوبت از سطح خاک است. البته در تیمار با عمق لوله ۱۵ سانتی‌متر به علت اینکه جریان به سطح خاک می‌رسد و در معرض هوا تبخیر می‌گردد مقادیر شوری بیشتری در مقایسه با دو عمق دیگر در لایه سطحی خاک اندازه‌گیری شد. از طرفی در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ در طول دوره نمونه‌برداری، روند تغییرات شوری کاهشی بوده است. به طوری که بیشترین میزان شوری در تیمار مربوط به فاصله ۵۰ سانتی‌متر قطره‌چکان روی لوله آبدار و در نقطه‌ای با فاصله افقی ۶۰ سانتی‌متر از لوله آبدار در لایه با عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح، معادل ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد.

این تیمار شده است. از مقایسه مقادیر رطوبت در دو تیمار L50 و L60 این مورد مشاهده می‌گردد که مقادیر رطوبت در تیمار L50 بیش از تیمار L60 است که با توجه به هم‌پوشانی بیشتر قطره‌چکان‌ها در تیمار L50 این موضوع موجب گسترش بیشتر رطوبت در اطراف قطره‌چکان شده است. با افزایش عمق نصب لوله، پیاز رطوبتی به سمت عمق‌های پایین‌تر منتقل می‌شود. به‌عنوان مثال با بررسی خط رطوبت ۲۰ درصد در شکل ۶ مشاهده می‌گردد که در تیمار L60 خط رطوبت ۲۰ درصد، در عمق‌های نصب لوله ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب در عمق‌های ۲۵، ۲۸ و ۴۵ سانتی‌متر از سطح خاک رخ داده است. از مقایسه توسعه رطوبت اندازه‌گیری شده با نتایج سوزا و همکاران (۲۰۱۳) مشخص می‌گردد که توسعه پیاز رطوبتی با توزیع ریشه هماهنگی مناسبی داشته و می‌تواند رطوبت موردنیاز گیاه را تأمین نماید؛ که در این میان تیمارهایی با عمق نصب لوله ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر هماهنگی مناسب‌تری با توزیع ریشه نیشکر در خاکی با بافت سنگین دارد به‌خصوص تیمار d20، زیرا علاوه بر اینکه توزیع عرضی رطوبت در این تیمار بیش از تیمار d15 بوده، در تیمار d20 رواناب سطحی نیز وجود نداشته و تلفات تبخیر از سطح خاک نیز در آن کمتر است. با افزایش فاصله افقی از لوله آبدار ابتدا رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و به این مفهوم که حداکثر مقدار رطوبت دقیقاً در زیر قطره‌چکان شکل نگرفته و مقداری در جهت عرضی جابجا شده است. این میزان جابجایی در تیمار d20 برابر ۳۰ سانتی‌متر و در تیمارهای d15 و d30، ۱۵ سانتی‌متر بوده است که این

فهرست منابع

۱. صداقتی ن، حسینی‌فرد س ج و محمدی محمدآبادی ا، ۱۳۹۱. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحه-های ۵۸۵ تا ۵۷۵.

۲. میرزایی ف، لیاقت ع، سهرابی ت و امید م، ۱۳۸۴. نمونه‌سازی جبهه‌رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحه‌های ۵۹ تا ۵۳.
۳. نوروزیان ز، صدرالدینی ع، ناظمی ا و دلیرحسن نیار، ۱۳۹۵. بررسی تجربی و عددی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌های لایه‌ای مسطح و شیب دار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۴/۲، صفحه‌های ۲۷ تا ۱۳.
4. Abdallah EB and Mohamed EA, 2013. Soil moisture distribution paern under surface and subsurface drip irrigation system in sandy soil using neutron scae ring technique. Irrigation sciences.
 5. Bhatnagar PR and Srivastava RC, 2003. Gravity-fed drip irrigation system for hilly terraces of the northwest Himalayas. Irrig. Sci. 21: 151-157.
 6. Bizari DR, Grecco KL, Oliveira PD, Querido DCM and Souza CF, 2014. Soil solution distribution under subsurface drip fertigation determined using TDR technique. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. 8.2: 139-146.
 7. Cook FJ, Fitch P, Thorburn PJ, Charlesworth, PB and Bristow KL, 2006. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. Environmental Modelling & Software. 21.9: 1353-1359.
 8. Douh B, Boujelben A, Khila S, and Mguidiche A, 2013. Effect of subsurface drip irrigation system depth on soil water content distribution at different depths and different times after irrigation. Larhyss Journal. 13: 7-16.
 9. Fan W and Li G, 2018. February. Effect of soil properties on Hydraulic characteristics under subsurface drip irrigation. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 121.5: p. 052042.
 10. Kumar D, Kumar A, Sarkar S, Mohodi D, Thakuria P and Das J, 2015. Optimal design of fl ow rate in drip irrigation system to enhance the tomato cultivation. International Journal of Agriculture. Environment and Biotechnology 8.1: 11-19.
 11. Maurice B, Emile N and Charlotte U, 2016. Assessment of Wetting Pattern and Moisture Distribution under Point Source Drip Irrigation in NYAGATARE – RWANDA. International Journal of Innovation and Scientific Research. 26.2: 484-493.
 12. Irmak S, Djaman K and Rudnick DR, 2016. Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield, and water use efficiency and yield response factors. Irrig. Sci. 34: 271-286.
 13. Shaju N, 2017. Soil Moisture Distribution Status and Wetting Pattern under SDI. International Journal of Engineering Science. 4748.
 14. Sousa A, Matsura EE, Elaiuy ML, Dos Santos, LN, Montes CR and Pires RCDM, 2013. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent aplication by subsurface drip system. Engenharia Agrícola. 33.4: 647-657.
 15. Souza CF and Bizari DR, 2018. SOIL SOLUTION DISTRIBUTION IN SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN SUGARCANE. Engenharia Agrícola. 38.2: 217-224.
 16. Wang S, Jiao X, Guo W, Lu J, Bai Y and Wang L, 2018. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. PloS one. 13.4: p.e0195965.
 17. Zur B, 1996. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. Irrigation Science. 16.3: 101-105.

Distribution of Moisture and Salinity in Subsurface Drip Irrigation of Sugarcane

J. Kermannezhad and E. GhanbariAdivi ¹ *

Ph.D Student, Dept. of Water Engineering, Lorestan University, KhoramAbad, Iran and Expert of Sugar Cane Research and Education Institute, Khozestan, Iran.

Kermannezhad@gmail.com

Assistant Professor, Water Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Ghanbariadi@sku.ac.ir

Abstract

One of the most important design factors in using subsurface drip irrigation method is determining the moisture distribution for the soil texture and the characteristics of drippers. In this study, the distribution of moisture and salinity in a heavy textured soil (silty-clay) was investigated under subsurface drip irrigation of a sugar cane plantation. The results were used to determine the best installation depth for drip pipe and distance of drippers on it in two-row cane crop cultivation. The experiments were carried out at a discharge rate of 1.2 liters per hour, three depths of drip pipe (15, 20, 30 cm), and two drippers spacing (50 and 60 cm), in three replicates. The soil moisture content was between the field capacity and the permanent wilting point, with maximum moisture advance of 60 cm horizontal and 90 cm vertical from drip pipe in all treatments. During the investigation period, soil salinity in the 0-30 cm layer was increasing, while at depths of 30-60 cm and 60-90 cm, a decreasing rate was observed. Generally, soil salinity increased with distance from drip pipe. The highest soil salinity in the different (13 dS/m) treatments was related to dripper spacing of 50 cm and at a point with a horizontal distance of 60 cm from the drip pipe at a depth of 15 cm. Also, to estimate the amount of soil moisture, some relations between distance from the pipe and moisture content were developed in two directions i.e. horizontal and vertical. It was shown that these relations have acceptable results in horizontal and vertical directions. Finally, the best depth of installation of the drip pipe and its drippers spacing were obtained as 20 cm and 50 cm, respectively, by considering the expansion of the wetted bulb and the development of salinity in the soil.

Keywords: Drip pipe, Soil texture, Wetted bulb

¹- Corresponding author: Water Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

* -Received: May 2019, and Accepted: October 2019