نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۳/ ۱۳۹۸

10.22092/jwra.2019.126005.65

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

Ghanbariadivi@sku.ac.ir

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل طراحی و استفاده از این روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تعیین پیاز رطوبتی تحت تاثیر بافت خاک و مشخصات قطره چکان‌ها می‌باشد. به‌منظور بررسی توزیع رطوبت و شوری خاک و تعیین بهترین عمق نصب لوله آبده و فاصله قطره‌چکان‌های آن، خاکی با بافت سنگین (رسی‌سیلتی)، در مزرعه نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با یک ردیف لوله قطره‌چکان‌دار موردبررسی 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 انجام‌شد. 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 ۳۰-۰ سانتی‌متری در طول دوره اندازه‌گیری (یک سال) روندی افزایشی و در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ در این دوره روندی کاهشی داشته همچنین به ازای یک دوره مشخص با 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 دسی¬زیمینس 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. درنهایت بهترین عمق نصب لوله آبده و فاصله قطره‌چکان‌های آن با توجه به گسترش پیاز رطوبتی و توسعه شوری در خاک به ترتیب معادل ۲۰ و ۵۰ سانتی‌متر به‌دست‌آمد.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پیاز رطوبتی، لوله آبده

---

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

* - دریافت:اردیبهشت ۱۳۹۸و پذیرش: مهر ۱۳۹۸

مقدمه

در طول دهه‌های گذشته، استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای درختان دائمی افزایش‌یافته و به‌عنوان یک استراتژی قوی برای مدیریت کارآمد آب در مناطق کم‌آب پیشنهاد شده است (کانسلی و همکاران ۲۰۱٤). 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 کارآیی مصرف آب، کاهش علف‌های هرز و بیماری‌ها، کاهش فرسایش خاک، افزایش کارآیی مصرف کود، امکان حرکت ادوات در زمین در مرحله داشت، انعطاف در طراحی و هزینه‌های آزمایشگاهی کمتر اشاره کرد (ایرماک و همکاران ۲۰۱٦). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، روشی است که اجازه می‌دهد آب به‌طور دقیق در مقادیر کم و به‌طور مستقیم در محیط‌ریشه توزیع‌شده و خاک به‌صورت موضعی مرطوب شود (کومار و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از آبیاری قطره‌ای در کشاورزی موجب مدیریت بهتر آب می‌گردد. بیزاری و همکاران (۲۰۱٤) در تحقیقی در دانشگاه سائوکارلوس 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 ۱/٦ 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 ۱/٦ و ۳/۵ لیتر در ساعت مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق لوله‌های آبده 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 (۲۰۱٦) کارآیی سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی را به ازای سطوح مختلف کاربرد آب در خاک و الگوی توزیع‌رطوبت 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 ٤۰ سانتی‌متری و اعماق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری و هر ۳۰ روز یک‌بار و ۲٤ 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 تعیین‌شده 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 قطره چکان با دبی ۳/۲ لیتر در ساعت انجام دادند. نتایج نشان داد که توزیع عمودی رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (لوله آبده در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک) به‌طور عمده در عمق ٦۰-۰ سانتی‌متری متمرکزشده است، درحالی‌که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کم‌عمق (لوله آبده 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. کارآیی مصرف آب در یونجه به ازای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کم‌عمق بیشتر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عمیق‌تر بوده است، بنابراین عمق ۱۰ سانتی‌متری برای لوله آبده در مناطق خشک و گیاه یونجه

پیشنهاد شد. خان‌محمدی و بشارتی (۲۰۱۳) تحقیقی برای تخمین ابعاد جبهه‌رطوبتی حاصل از یک منبع نقطه‌ای انجام دادند و همچنین قابلیت نرم‌افزار هایدروس دوبعدی 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 مدت‌زمان کارکرد سیستم ارائه نمودند. مقایسه ابعاد جبهه رطوبتی با نتایج به‌دست‌آمده از روابط فوق نشان داد که می‌توان از این روابط برای تخمین ابعاد پیازرطوبتی 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 خیس شدگی 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.

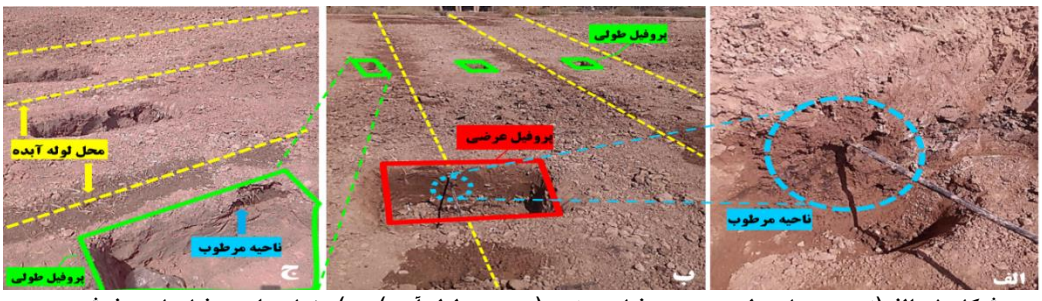
صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی چهارساله، دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) با سه تیمار آبیاری (٤٠، ٦٠ و ٨٠ درصد نیاز آبی) بررسی نمودند. تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان ٦٠ درصد نیاز آبی با کارآیی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی، بهترین تیمار شناخته‌شد. 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 که الگوی توزیع رطوبت یکی از اطلاعات پایه‌ای جهت طراحی و مدیریت یک سیستم آبیاری است. کوک و همکاران (۲۰۰٦) پیشروی جبهه‌رطوبتی در سه نوع خاک مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از حل معادله فیلیپ (۱۹۸٤) 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 کارآیی 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، رطوبت‌اولیه و جرم‌مخصوص 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 (۱/٤ و ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و دو مقدار رطوبت اولیه خاک (۱۲ و ۱۸ درصد وزنی) و قطره‌چکان غیرتنظیم‌کننده فشار انجام‌شد. نتایج نشان داد که فشار کارکرد عامل اصلی میزان دبی قطره‌چکان بوده که با افزایش فشار، دبی نیز افزایش می‌یابد. رطوبت اولیه و جرم‌مخصوص 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 به‌ترتیب شنی > سیلتی‌لوم> رس است. همچنین حساسیت دبی به پارامترهایی نظیر هدایت‌هیدرولیکی 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

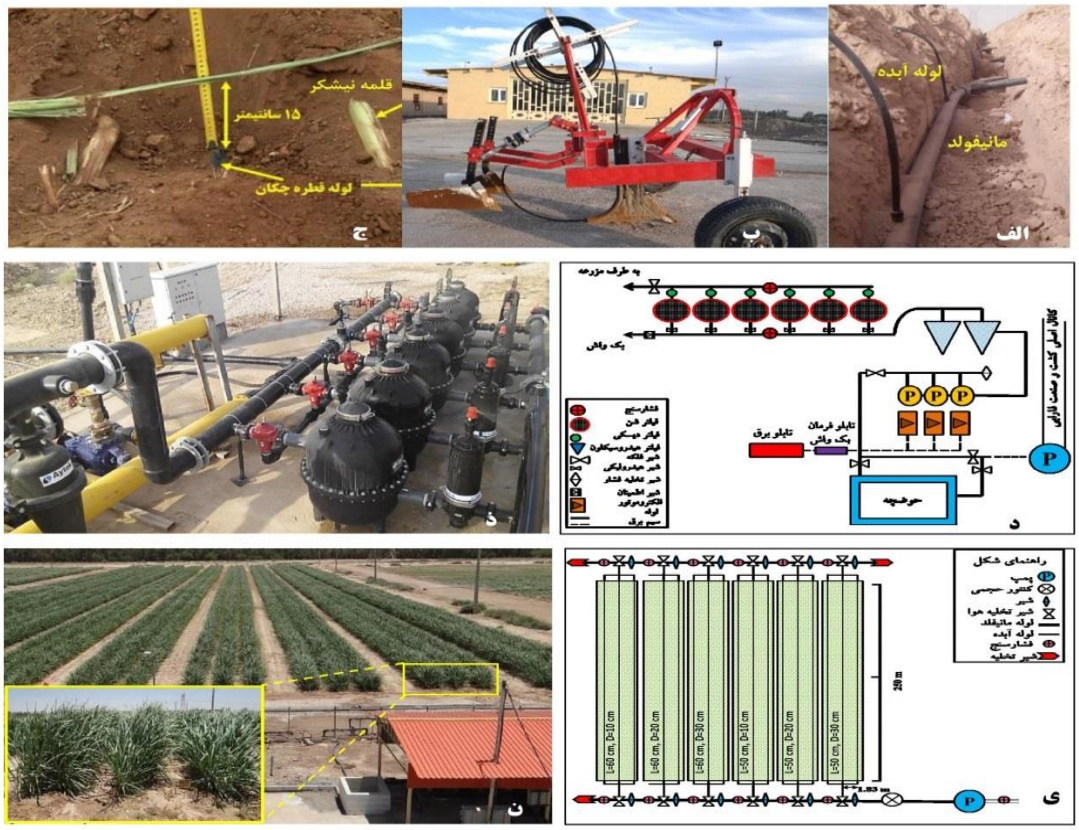
سایر روش‌های آبیاری کاهش یابد، کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آینده نزدیک افزایش خواهد یافت (شاجو و همکاران ۲۰۱۷). برای بهینه‌سازی دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نیازمند است پیش‌بینی دقیقی از هندسه پروفیل رطوبتی و توزیع آب در خاک موجود باشد (زار ۱۹۹۶). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کارآیی مصرف آب بالایی دارد، یعنی محصولات بیشتری در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری به‌ازای یک واحد آب مصرفی، تولید می‌شود. مقادیر کارآیی مصرف آب به‌وسیله پارامترهای طراحی سیستم مثل عمق لوله آبده، دبی قطره‌چکان، وضعیت اشباع خاک و مدت‌زمان آبیاری مشخص می‌شود (باتناگر و سیرواستاوا ۲۰۰۳). آبیاری مکرر کمک می‌کند تا رطوبت‌خاک 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 آبده 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 آبده 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 مختصات جغرافیایی ٤٨ درجه و ۳۳ دقیقه طول‌شرقی و ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه عرض‌شمالی 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 آبده 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 سانتی متر. جهت بررسی توزیع رطوبت در محل قطره چکان‌ها، پروفیل‌های عرضی و طولی حفر شد و ابعاد پیاز رطوبتی اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه لوله آبده با دبی قطره‌چکان ۳/۸ لیتر در ساعت موجب رواناب در سطح خاک گردید لذا لوله آبده با دبی قطره چکان 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 آبده به مانیفولد، دستگاه لوله-گذار، موقعیت قلمه نسبت به لوله، شماتیکی از نقشه اجرای طرح به همراه ایستگاه فیلتراسیون و تیمارهای آزمایشی نشان داده‌شده است. در جدول ۱ تا ۵ مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبده، خصوصیات هیدرولیکی قطره‌چکان مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب و پارامترهای هواشناسی آورده شده است.



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



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

به‌منظور تعیین اثر عمق کارگذاری لوله آبده و نیز فاصله قطره‌چکان‌ها بر پیاز رطوبتی، تیمارها در سه عمق کارگذاری لوله آبده برابر ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر (d۱۵، d۲۰ و d۳۰) و دو فاصله قطره‌چکان ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر (L۵۰ و L۶۰) مجموعا شش تیمار در سه تکرار انجام گردیده است. طول لوله‌های آبده ۲۳۹/۵ متر بوده و فاصله آن‌ها از یکدیگر با توجه به کشت نیشکر ۱/۸۳ متر در نظر گرفته‌شد. قلمه‌های نیشکر بافاصله ۴۰ سانتی‌متری از یکدیگر کشت‌شد و لوله آبده در وسط دو ردیف قلمه و در زیر سطح خاک قرارگرفت. 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) استفاده‌شد. به‌منظور کارگذاری لوله‌های آبده در مزرعه، دستگاه لوله‌گذار مناسب کشت نیشکر طراحی و ساخته شد. لوله‌های آبده از نوع کنترل فشار و آنتی‌سیفون با قطر خارجی ۱۶ میلی‌متر بود. نمونه‌برداری در هر مرحله از مقابل قطره‌چکان و به فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری در یک طرف لوله و در اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ 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 ترایم تا عمق ۹۰ سانتی‌متری جهت قرائت رطوبت با استفاده از دستگاه *TDR* نصب‌شده که در پنج نوبت در طول دوره آزمایش (تقریباً هر دو ماه) مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و درنهایت 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 اندازه گیری‌ها در

فاصله ۸۰ متری از لوله مانیفلد انجام شده است؛ که به منظور بررسی میزان یکنواختی دبی قطره‌چکان‌ها به ازای شش نقطه به روش حجم-زمان در طول لاترال‌ها اندازه گیری شد و طبق رابطه (۱) ضریب یکنواختی (Cu) محاسبه گردید که در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین در جدول ۱ تا ٤ به ترتیب مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبده، مشخصات قطره‌چکان، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه طرح و پارامترهای هواشناسی منطقه ارائه‌شده است.

$$Cu = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}\right) \qquad (۱)$$

که در آن:

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

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی و اجرایی لوله‌های آبده

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

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

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

ابعاد فیلتر ورودی (mm^2)	مسیر جریان (mm)			ضریب تغییرات ساخت CV (0.5-5 bar)	ضریب جریان k	توان x	دبی قطره‌چکان (l/hr)
	عمق	عرض	طول				
۰/۱۹۷ * ۲۴	۱/۱۵	۰/۷۶	۸۹	۳/۰۸۸	۱/۱۹۲	۰/۰۳	۱/۲

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

عمق نمونه (cm)	EC (dS/m)	pH	مشخصات فیزیکی خاک				کاتیون ها (meq/l)				(SAR)
			ρ_b (gr/cm³)	%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

EC (µS/cm)	pH	مجموع مواد معلق	سختی کل	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم محلول	آنیونها (meq/l)				مجموع آنیونها	کاتیونها (meq/l)			مجموع کاتیونها
		TDS	TH			کربنات	بیکربنات	کلر	سولفات	Sum Anions	سدیم	منیزیم	کلسیم	Sum Cations
		(mg/l)	(mg/l)	SAR	SSP	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}		Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	
۱۸۶۴	۷/۷۹	۱۰۰۰	۳۷۷	۵/۶	۵۹/۲	۰	۳/۴۰	۸	۶/۴۰	۱۷/۸۰	۱۰/۹۹	۲/۱۴	۵/۴۴	۱۸/۵۷

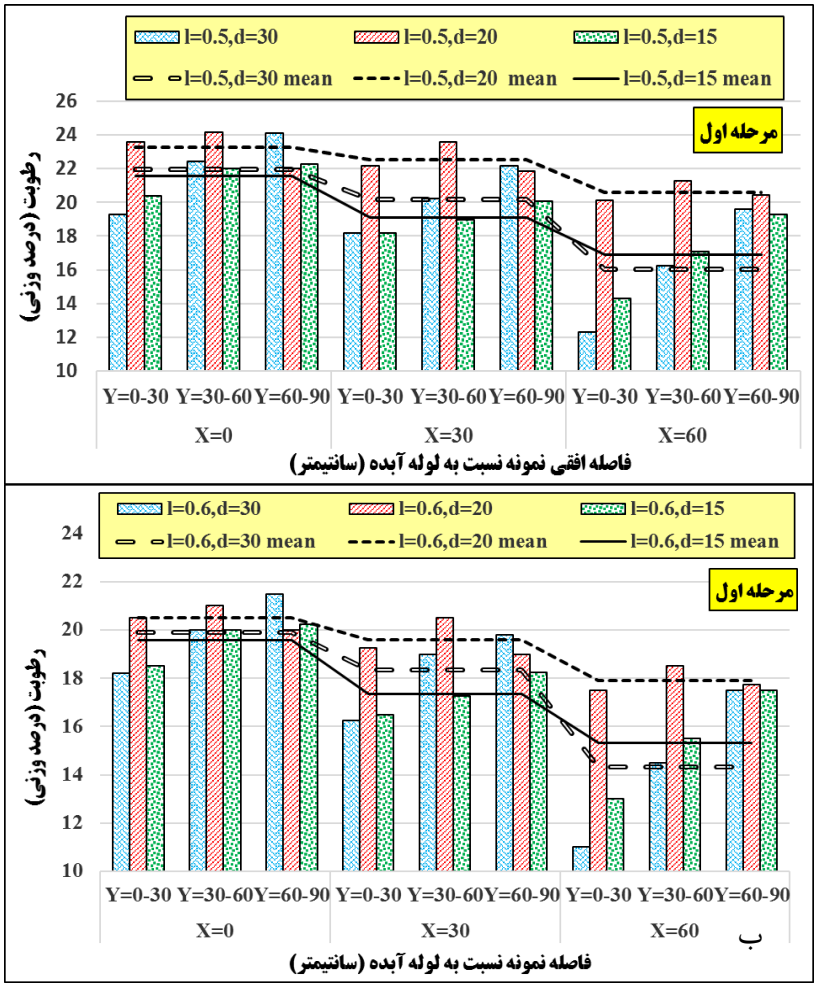
جدول ۵- مقادیر متوسط پارامترهای مهم هواشناسی در منطقه مطالعاتی (۱۳۹۶-۱۳۷۶)

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

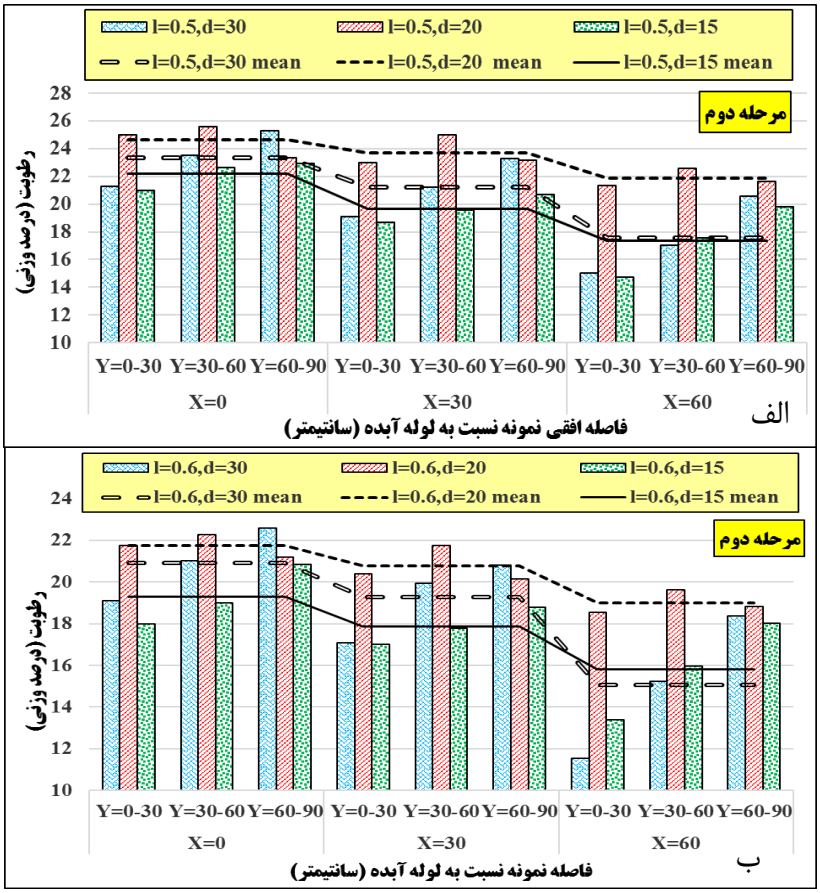
نتایج و بحث

توزیع رطوبت در خاک

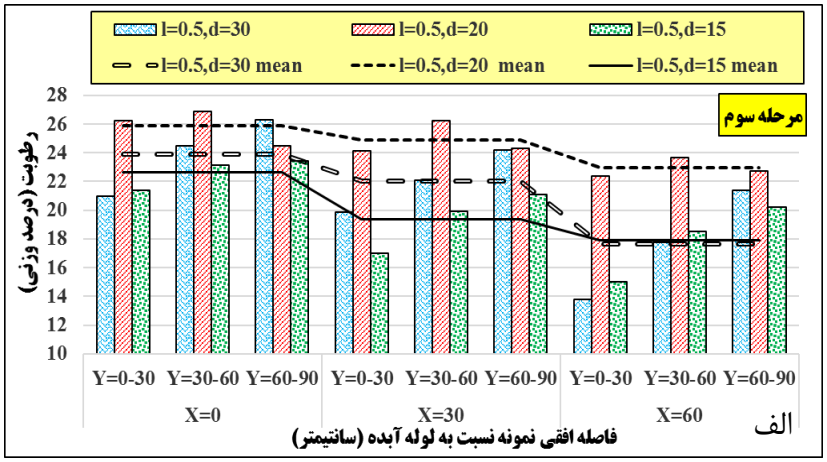
اندازه‌گیری نمونه‌های رطوبتی ۲۴ ساعت پس از آبیاری به ازای اعماق و فواصل مختلف از لوله آبده، در سه مرحله در طول فصل کشت انجام‌شده است. در شکل ۳، نتایج به‌دست‌آمده در تیمارهای مختلف ارائه‌شده است. نمونه‌برداری‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر از لوله آبده و در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری و در سه تیمار با عمق لوله آبده ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری انجام‌شده است.

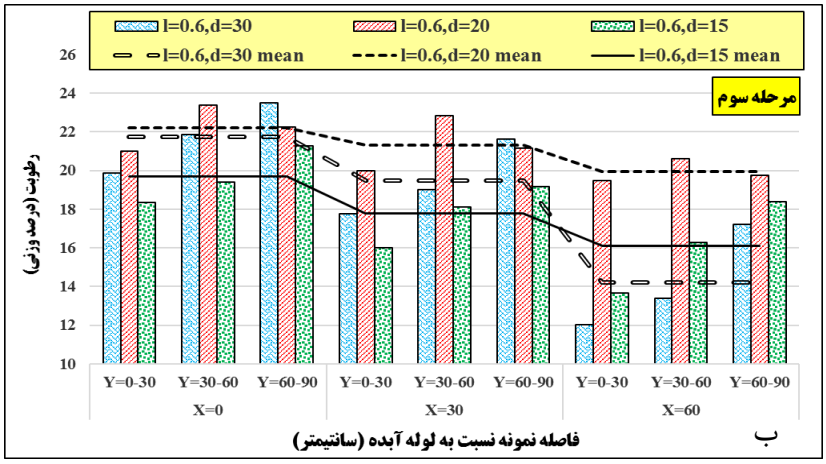


شکل۳-الف) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۵۰ سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله اول) ب) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله اول)



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 سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله سوم) ب) رطوبت خاک در تیمار فاصله قطره چکان ۶۰ سانتی‌متر به‌ازای سه عمق نصب لوله (مرحله سوم)

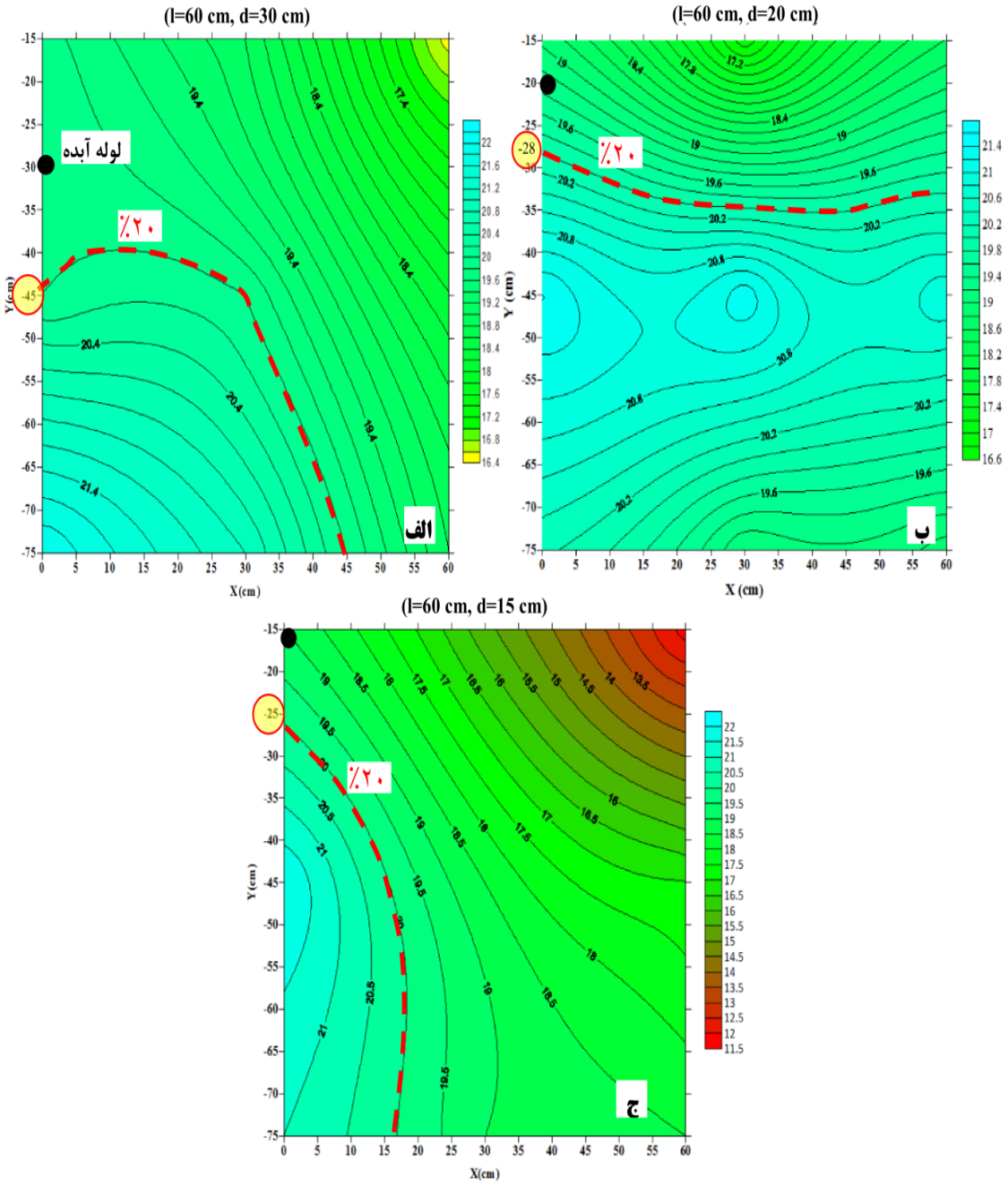
همانطور که مشاهده شد با فاصله گرفتن از لوله آبده، مقادیر میانگین رطوبت وزنی روند نزولی داشت. علت این پدیده را می‌توان به این صورت بیان نمود که با فاصله گرفتن از لوله و توسعه پیاز رطوبتی، آب در حجم خاک بیشتری توسعه یافته و رطوبت کمتری به نقاط دورتر می‌رسد، این کاهش مقادیر رطوبت به‌طور واضح در خطوط میانگین شکل ۳ تا ۵ نشان داده‌شده است. در شکل‌های ۳ تا ۵ در برخی نقاط مقادیر رطوبت کمتر از حد پژمردگی دائم بود زیرا این نقاط در فاصله افقی ۶۰ سانتی‌متری از لوله آبده و در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک قرار داشته و الگوی خیس شدگی به نحوی است که جریان عرضی تا این ناحیه نمی‌رسد. نکته دیگری که مشاهده می‌گردد شکل متفاوت توزیع رطوبت به ازای عمق‌های متفاوت نصب لوله آبده می‌باشد. به این‌صورت که در تیمار d۳۰ و d۱۵ از سطح تا عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک مقادیر رطوبت روندی افزایشی داشته، ولی در تیمار d۲۰ از سطح تا عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر روند افزایشی بوده و پس‌ازآن کاهشی می‌گردد. علت این موضوع را به این صورت قابل توضیح است که در تیمار d۳۰ بیشترین میزان رطوبت در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری سطح خاک ایجادشده بنابراین مقدار رطوبت از سطح تا عمق روندی افزایشی دارد. در تیمار d۲۰ بیشترین مقدار رطوبت در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری ایجادشده لذا از سطح تا این عمق مقادیر رطوبت روندی افزایشی و پس‌ازآن روندی کاهشی داشته است. در تیمار d۱۵ به علت نزدیکی قطره‌چکان 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 به‌صورت عمقی توسعه‌یافته و به همین علت در شکل ۳، مقادیر رطوبت از سطح به عمق خاک روندی افزایشی دارد. میزان حجم آب داده‌شده در مرحله یک، دو و سه به ترتیب ۸، ۱۱ و ۱۴ میلی‌متر در واحد سطح بوده است. این تفاوت در عمق آب آبیاری، موجب تغییر در مقدار رطوبت نقاط مختلف شده و این روند در شکل‌های ارائه‌شده به ازای مراحل یک تا سه نیز مشاهده‌شده است. از مقایسه مقادیر رطوبت در دو تیمار L۵۰ و L۶۰ این مورد مشاهده می‌گردد که مقادیر رطوبت در تیمار L۵۰ بیش از تیمار L۶۰ است. با توجه به هم-پوشانی بیشتر قطره‌چکان‌ها در تیمار L۵۰ این موضوع موجب گسترش بیشتر رطوبت در اطراف قطره‌چکان شده است.

ترسیم پروفیل‌های رطوبتی

به‌منظور ارائه واضح‌تر توزیع پیاز رطوبتی در خاک با استفاده از نرم‌افزار سورفر[1] نسخه ۱۴ خطوط هم رطوبت تیمار L۶۰ به‌صورت دوبعدی ترسیم‌شده است.

[1] Surfer v.14

با توجه به اینکه نمونه‌ها در بازه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ دسته‌بندی‌شده‌اند، لذا به‌منظور واردکردن داده‌ها در نرم‌افزار سورفر از عمق‌های ۱۵-، ۴۵-و ۷۵- سانتی‌متر به‌عنوان نماینده هر بازه استفاده‌شده است. به همین علت در محور عمودی حداقل و حداکثر عمق به ترتیب ۱۵-، ۷۵- سانتی‌متر نشان داده‌شده است. با استفاده از مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی ٪۲۵/۱ (وزنی)، رطوبت نقطه پژمردگی دائم ٪ ۱۲/۸۵ و تخلیه مجاز رطوبتی نیشکر (۶۰ 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) مشخص‌شده است. در شکل ٤ (الف تا ج) با استفاده از مقادیر میانگین رطوبتی سه مرحله، به‌صورت دوبعدی توزیع رطوبت ارائه‌شده است.

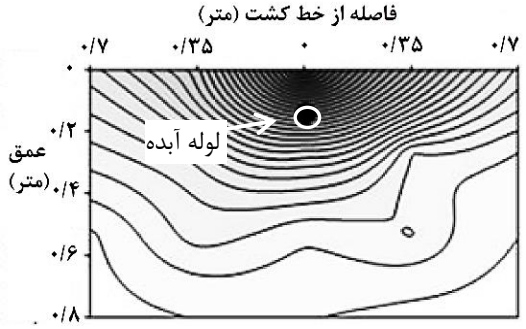


شکل ۶ -مقادیر دوبعدی میانگین سه مرحله رطوبت وزنی نسبت به محل لوله در تیمار L۶۰. الف) لوله آبده در عمق ۳۰ سانتی‌متر، ب) لوله آبده در عمق ۲۰ سانتی‌متر، ج) لوله آبده در عمق ۱۵ سانتی‌متر

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 ٤ نشان داده‌شده است به‌عنوان‌مثال با بررسی خط رطوبت ۲۰ درصد مشاهده می‌گردد که در تیمار L٦٠ خط رطوبت ۲۰ درصد، در عمق‌های نصب لوله ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب در عمق‌های ۲۵، ۲۸ و ٤٥ سانتی‌متر از سطح خاک رخ‌داده است. نکته دیگری که از شکل ٤ استنباط می‌گردد، این است که در تیمار d۲۰ و d۱۵ محدوده رطوبت ماکزیمم در عمق ٦٠-۳۰ سانتی‌متری و در تیمار d۳۰ این محدوده در عمق ۹۰-٦٠ سانتی‌متری است. وانگ و همکاران، توزیع رطوبت ماکزیمم در حالت عمق نصب لوله در ۲۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متری را به ترتیب در عمق ٦٠-۰ سانتی‌متری و ۳۰-۰ سانتی‌متری گزارش نموده‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۱۸).

مقایسه توسعه پیازچه رطوبتی با پراکنش ریشه نیشکر

سوزا و همکاران (۲۰۱۳) در مزرعه سانتاهلنا شهر سائوپائلو کشور برزیل به بررسی گسترش ریشه نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاکی با بافت سنگین پرداختند. در این تحقیق لوله آبده در عمق ۰/۱٦ متری از سطح خاک نصب شده و دبی قطره‌چکان‌ها ۱/۷۵ لیتر در ساعت و فاصله آن‌ها روی لوله آبده ۵۰ سانتی‌متر بوده است. طبق نتایج، ۸۰ درصد گسترش ریشه نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٤٠ سانتی‌متری پراکنده شده است.

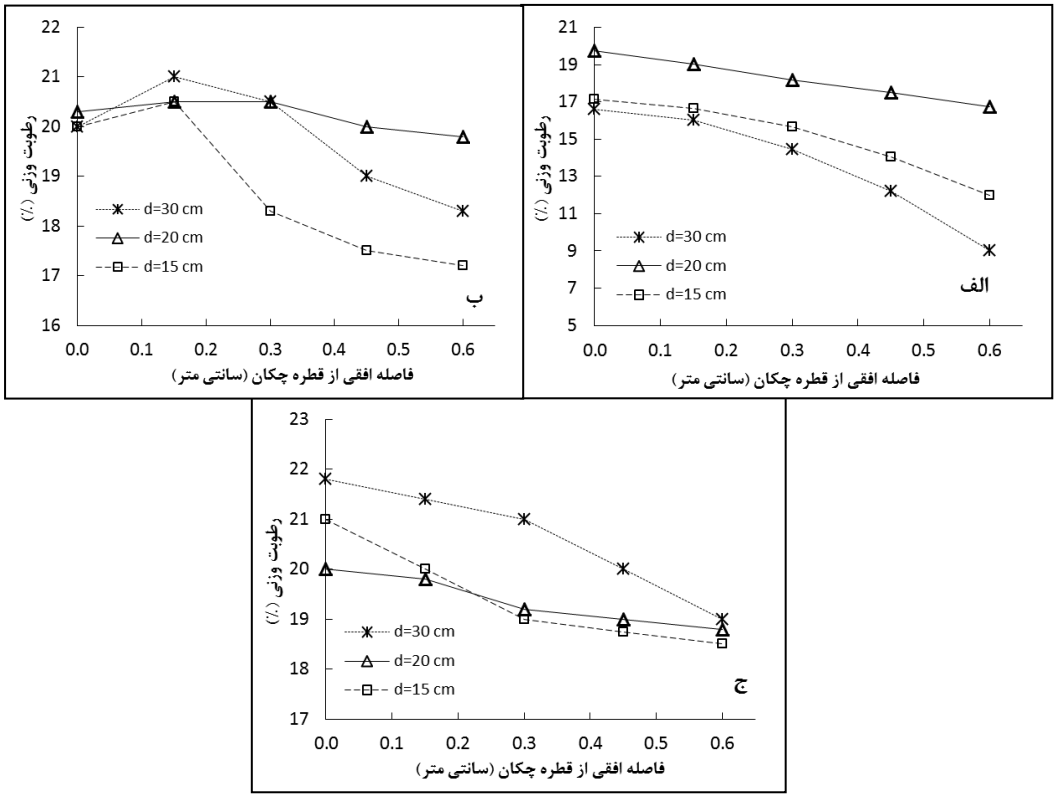


شکل ۷-توسعه ریشه نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (سوزا و همکاران، ۲۰۱۳)

با توجه به شکل ۷ و مقایسه با پیاز رطوبتی ارائه‌شده در شکل ٦ مشخص می‌شود 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 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

به‌منظور تعیین رابطه‌ای جهت تخمین رطوبت در اطراف قطره‌چکان با استفاده از میانگین مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در فواصل افقی ۰، ۱۵، ۳۰، ٤٥ و ٦٠ سانتی‌متری از لوله آبده و در عمق‌های ۱۵، ٤٥ و ۷۵ سانتی‌متری با استفاده از دستگاه TDR، روابطی بین فاصله و مقدار رطوبت در دو جهت افقی و عمودی برآورد شد که در جدول ٦ ارائه‌شده است. در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب تغییرات عرضی رطوبت در لایه‌های افقی خاک (لایه با عمق ۱۵، ٤٥ و ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک) و تغییرات عمقی رطوبت در لایه‌های عمودی خاک (لایه با فواصل افقی ۰، ۳۰ و ٦٠ سانتی‌متری از لوله آبده) در تیمار L٦٠ ارائه شده است.



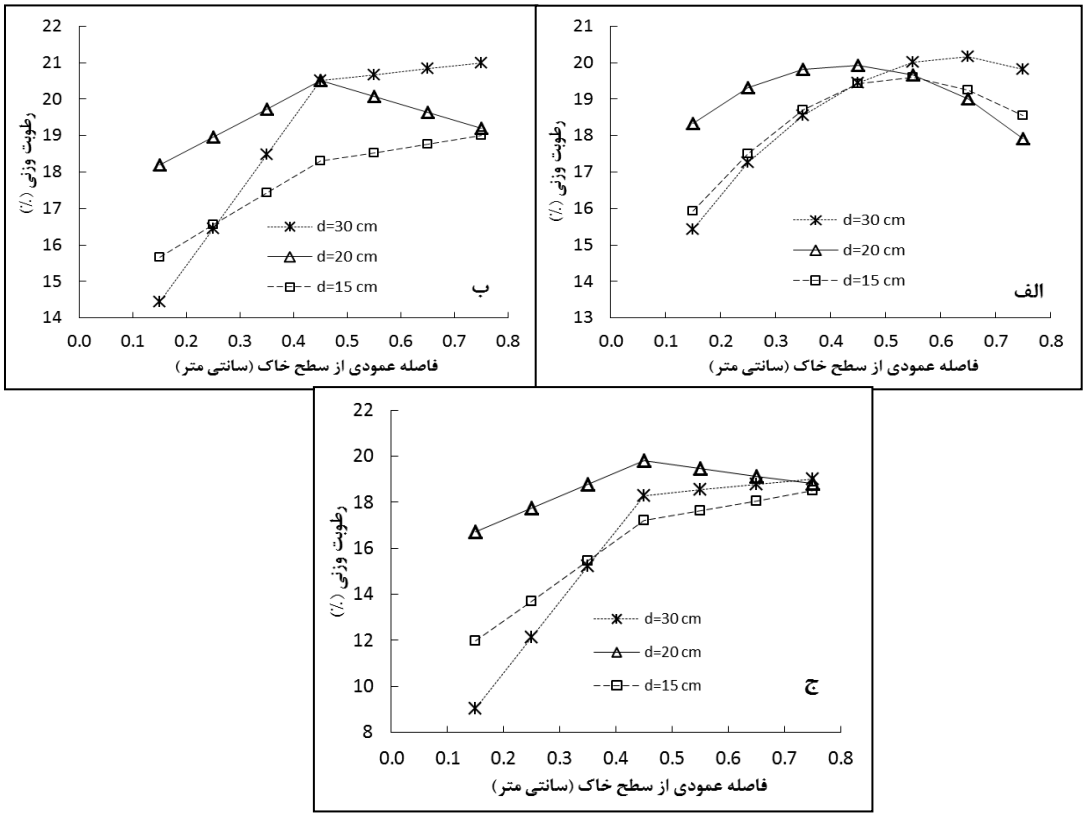
شکل ۸- توزیع عرضی رطوبت در لایه‌های افقی خاک الف) عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک، ب) عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک، ج) عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک

در شکل ۸-الف به‌ازای فواصل افقی مختلف بیشترین مقادیر رطوبت به‌ترتیب مربوط به تیمار d۲۰، d۱۵ و d۳۰ بوده است. علی‌رغم این‌که در تیمار d۲۰، لوله در عمق پایین‌تری نسبت به تیمار d۱۵ نصب‌شده، ولی میزان رطوبت در سطح خاک بیش از دو تیمار دیگر شده است. علت اینکه میزان رطوبت در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک در تیمار d۲۰ بیشتر از تیمار d۱۵ بوده است را می‌توان به این موضوع نسبت داد که در تیمار d۱۵، در محل قطره-چکان رطوبت به سطح خاک رسیده و در این ناحیه از سطح خاک تبخیر می‌گردد، بنابراین توزیع عرضی رطوبت در تیمار d۱۵ کاهش می‌یابد. از طرفی در تیمار d۳۰، قطره‌چکان در عمق پایین‌تری نسبت به تیمار d۲۰ قرارگرفته و رطوبت کمتری به لایه ۱۵ سانتی‌متری خاک رسیده است. در شکل ۸ (ب) با افزایش فاصله افقی از لوله آبده ابتدا رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و به این مفهوم که حداکثر مقدار رطوبت دقیقا در زیر قطره‌چکان شکل نگرفته و مقداری در جهت عرضی جابجا شده است. این میزان جابجایی در تیمار d۲۰ برابر ۳۰ سانتی‌متر و در تیمارهای d۱۵ و d۳۰ ۱۵ سانتی‌متر بوده است که این موضوع نشان دهنده گسترش عرضی بیشتر رطوبت در تیمار d۲۰ در مقایسه با دو تیمار دیگر بوده است. در شکل ۸-ج مشاهده می‌گردد که رطوبت در تیمار d۳۰ نسبت به دو تیمار دیگر بیشتر بوده است زیرا لوله آبده 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 تقریبا در لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d۲۰ اندازه‌گیری گردیده و در لایه ۷۵ سانتی‌متری بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d۳۰ اندازه‌گیری شده است.

در شکل ۹-الف با افزایش عمق میزان رطوبت افزایش‌یافته و سپس روندی کاهشی داشته است. تیمارهای d۱۵، d۲۰ و d۳۰ به‌ترتیب در عمق‌های ۵۵، ٤٥ و ٦٥ سانتی‌متری از سطح خاک به بیشترین میزان رطوبت

رسیده‌اند. در این شکل نیز تیمار d۲۰ در عمق کمتری نسبت به تیمار d۱۵ به حداکثر رطوبت خود رسیده است. علت این اتفاق به‌دلیل نزدیکی قطره‌چکان به سطح خاک در تیمار d۱۵ 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 آبده در تیمار d۲۰، حداکثر رطوبت این تیمار در عمق کمتری نسبت به تیمار ۱۵ تشکیل شود. در رابطه با تیمار d۳۰ نیز با توجه به اینکه لوله آبده در عمق پایین‌تری قرارگرفته، حداکثر رطوبت در عمق پایین‌تری نسبت به دو تیمار دیگر شکل‌گرفته است. در شکل ۹-ب مشاهده می‌گردد که با افزایش عمق در تیمار d۱۵ و d۳۰ مقادیر رطوبت افزایش یافته‌اند ولی در تیمار d۲۰ با افزایش عمق تغییرات 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 d۲۰ بیشینه رطوبت در عمق حدود ۴۵ سانتی متری خاک تشکیل شده و بصورت عرضی تا حدود فاصله افقی ۶۰ سانتی‌متری از لوله آبده گسترش یافته است. برای رطوبت‌های ثبت شده با TDR روابط جدول ۶ بدست آمده است.

به‌منظور 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 استفاده‌شده است. در شکل ۱۰ مقایسه مقادیر رطوبت واقعی و برآورد شده به ازای توزیع افقی و عمودی رطوبت ارائه شده است.

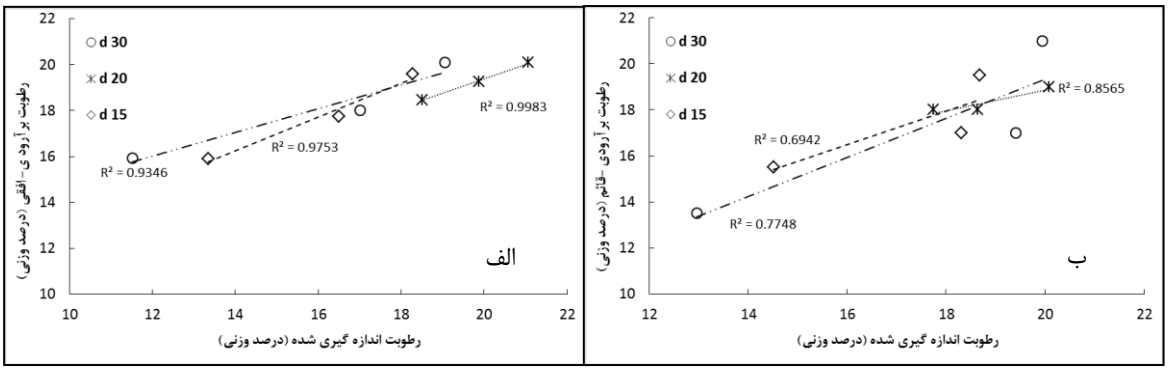


شکل ۹- تغییرات عمقی رطوبت در لایه های عمودی خاک الف) فاصله افقی ۰ سانتی متری از لوله آبده، ب) فاصله افقی ۳۰ سانتی متری از لوله آبده، ج) فاصله افقی ۶۰ سانتی متری از لوله آبده

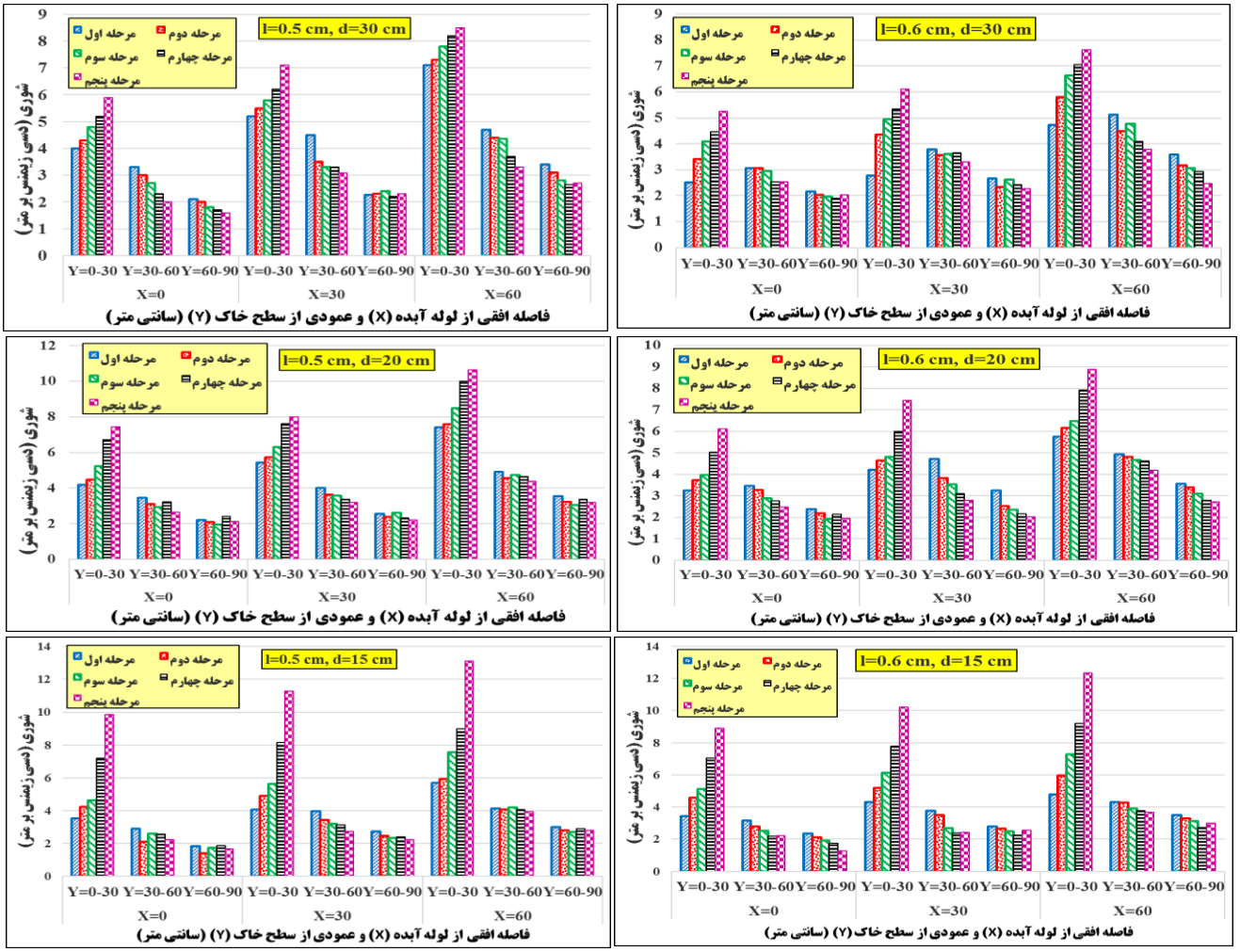
جدول ۶- روابط برآورد شده جهت تخمین مقدار رطوبت در دو جهت افقی و قائم

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

متوسط ضریب همبستگی در شکل ۱۰- الف و ب به ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۰/۷۸ بوده است؛ بنابراین روابط ارائه‌شده در جدول ٦، گسترش عرضی رطوبت را دقیق‌تر برآورد می‌نمایند.

توزیع شوری

به‌منظور بررسی روند تغییرات شوری در طول دوره داشت نیشکر در پنج مرحله میزان شوری خاک به ازای فواصل ۰، ۳۰ و ٦۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان و اعماق ۰-۳۰، ۳۰-٦۰ و ٦۰-۹۰ اندازه‌گیری شده است. نتایج در شکل ۱۱ ارائه شده است.بر اساس شکل ۱۱ میزان شوری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در طول دوره نمونه‌برداری 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 می‌توان به این صورت بیان نمود که جریان آب از سمت قطره‌چکان در جهات مختلف وجود داشته که حرکت عرضی جریان موجب گسترش رطوبت در فواصل افقی تا ٦۰ سانتی-متری گردیده است. بخشی از این رطوبت به‌صورت عمقی نفوذ پیداکرده و بخشی دیگر نیز به‌صورت موئینه به عمق‌های 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 می‌گردد. به همین علت است که بافاصله گرفتن از لوله آبده میزان شوری در لایه سطحی خاک روندی افزایشی داشته است. این روند در تمامی شکل‌ها مشاهده‌شده 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 شده است. برای مثال در آخرین مرحله اندازه‌گیری میزان شوری در تیمار فاصله قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر در لایه سطحی خاک و در محل قطره‌چکان از حدود شش دسی-زیمنس‌برمتر در عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر به حدود ۱۰ دسی‌زیمنس‌برمتر در عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر افزایش داشته است. مشابه این روند در تیمار فاصله قطره‌چکان ٦۰ سانتی‌متر نیز مشاهده‌شده است، به این صورت که از حدود ۵/۳ دسی‌زیمنس‌برمتر در عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر به حدود ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر در عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر افزایش داشته است. مورد دیگری که تقریباً در تمامی روندها (به‌غیراز چند مورد استثنا) مشاهده می‌گردد کاهش شوری در عمق‌های ۳۰-٦۰ و ٦۰-۹۰ در طول دوره نمونه‌برداری است. علت این موضوع را می‌توان به این صورت بیان نمود که در عمق‌های ۳۰-٦۰ و ٦۰-۹۰ به علت وجود رطوبت بیشتر، حرکت جریان آب بیشتر به سمت پایین بوده لذا موجب انتقال املاح به لایه‌های پایین‌تر گردیده که این موضوع موجب می‌گردد که شوری خاک به‌مرور کاهش یابد. البته در این دو عمق نیز مجدد مشاهده گردیده است که با افزایش فاصله افقی از لوله آبده میزان شوری روندی افزایشی داشته است. بطور کلی بیشترین میزان شوری در تیمار مربوط به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین قطره‌چکان‌ها روی لوله آبده و در نقطه‌ای با فاصله افقی ٦۰ سانتی‌متر از لوله آبده در لایه با عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح، معادل ۱۳ دسی¬زیمینس بر متر بدست آمد.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج مشاهده شد که بافاصله گرفتن از لوله آبده، مقادیر میانگین رطوبت وزنی روند نزولی دارد. توزیع رطوبت به ازای عمق‌های مختلف نصب لوله آبده متفاوت است به این صورت که در تیمار d۳۰ و d۱۵ از سطح تا عمق ۹۰-٦۰ سانتی‌متری خاک، مقادیر رطوبت روندی افزایشی دارد ولی در تیمار d۲۰ از سطح تا عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متری، روند افزایشی بوده و پس از آن کاهشی می‌گردد. در تیمار d۱۵ به علت نزدیکی قطره‌چکان به سطح خاک، بخشی از جریان به رواناب تبدیل‌شده و موجب کاهش گسترش عرضی رطوبت در

این تیمار شده است. از مقایسه مقادیر رطوبت در دو تیمار L٥٠ و L٦٠ این مورد مشاهده می‌گردد که مقادیر رطوبت در تیمار L٥٠ بیش از تیمار L٦٠ است که با توجه به هم‌پوشانی بیشتر قطره‌چکان‌ها در تیمار L٥٠ 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 ٢٠ درصد در شکل ٦ مشاهده می‌گردد که در تیمار L٦٠ خط رطوبت ٢٠ درصد، در عمق‌های نصب لوله ١٥، ٢٠ و ٣٠ سانتی‌متر به ترتیب در عمق‌های ٢٥، ٢٨ و ٤٥ سانتی‌متر از سطح خاک رخ‌داده است. از مقایسه توسعه رطوبت اندازه‌گیری شده با نتایج سوزا و همکاران (٢٠١٣) 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 ١٥ و ٢٠ سانتی‌متر هماهنگی مناسب‌تری با توزیع ریشه نیشکر در خاکی با بافت سنگین دارد به‌خصوص تیمار d٢٠، زیرا علاوه بر اینکه توزیع عرضی رطوبت در این تیمار بیش از تیمار d١٥ بوده، در تیمار d٢٠ رواناب سطحی نیز وجود نداشته و تلفات تبخیر از سطح خاک نیز در آن کمتر است. با افزایش فاصله افقی از لوله آبده ابتدا رطوبت افزایش یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و به این مفهوم که حداکثر مقدار رطوبت دقیقا در زیر قطره‌چکان شکل نگرفته و مقداری در جهت عرضی جابجا شده است. این میزان جابجایی در تیمار d٢٠ برابر ٣٠ سانتی‌متر و در تیمارهای d١٥ و d٣٠، ١٥ سانتی‌متر بوده است که این موضوع نشان دهنده گسترش عرضی بیشتر رطوبت در تیمار d٢٠ در مقایسه با دو تیمار دیگر بوده است. در لایه با عمق ١٥ و ٤٥ سانتی‌متری، بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d٢٠ اندازه‌گیری گردیده و در لایه ٧٥ سانتی‌متری بیشترین مقدار رطوبت در تیمار d٣٠ اندازه‌گیری شده است. با افزایش عمق میزان رطوبت افزایش‌یافته و سپس روندی کاهشی داشته است و تیمارهای d١٥، d٢٠ و d٣٠ به ترتیب در عمق‌های ٥٥، ٤٥ و ٦٥ سانتی‌متری از سطح خاک به بیشترین میزان رطوبت رسیده‌اند. متوسط ضریب همبستگی روابط استخراج شده جهت توسعه عرضی و عمودی رطوبت به ترتیب برابر ٠/٩٧ و ٠/٧٨ بوده است؛ بنابراین روابط ارائه‌شده، گسترش عرضی رطوبت را دقیق‌تر برآورد می‌نمایند. هم‌چنین میزان شوری در عمق ٠-٣٠ 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 ١٥ 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 ٦٠-٣٠ و ٩٠-٦٠ در طول دوره نمونه‌برداری، روند تغییرات شوری کاهشی بوده است. به طوری‌که بیشترین میزان شوری در تیمار مربوط به فاصله ٥٠ سانتی‌متر قطره‌چکان روی لوله آبده و در نقطه‌ای با فاصله افقی ٦٠ سانتی‌متر از لوله آبده در لایه با عمق ١٥ سانتی‌متری از سطح، معادل ١٣ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد.

فهرست منابع

١. صداقتی ن، حسینی‌فرد س‌ج و محمدی محمدآبادی ا، ١٣٩١. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک، جلد ٢٦، شماره ٣، صفحه-های ٥٨٥ تا ٥٧٥.

۲. میرزایی ف، لیاقت ع، سهرابی ت و امید مح، ۱۳۸٤. نمونه‌سازی جبهه‌رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۲٦، شماره ۳، صفحه‌های ۵۹ تا ۵۳.

۳. نوروزیان ز، صدرالدینی ع، ناظمی ا و دلیرحسن نیا ر، ۱۳۹۵. بررسی تجربی و عددی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره ای زیرسطحی در خاک‌های لایه‌ای مسطح و شیب دار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲٦، شماره ٤/۲، 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 ١ *

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
Ghanbariadivi@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 can 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

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

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