نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ص. ۸۰-۶۷

Water Management in Agriculture
Vol. 4, No. 1, Spring and Summer 2017, 67- 80

# الگوی توزیع رطوبت در خاک لومی شنی از یک منبع نقطه‌ای زیرسطحی

امیر اسلامی[۱*] و هرمزد نقوی[۲]

## چکیده

با توجه به کاهش کیفیت و کمیت منابع آبی در اغلب استان‌های کشور و لزوم استفاده پایدار از سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار طراحی و اجرای دقیق آن‌ها ضرورت دارد. یکی از روش‌های جدید آبیاری موضعی در کشور، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می‌گردد. اطلاعات دقیق از الگوی توزیع رطوبت در این سامانه در بافت‌های خاک ضروری است. در یک پروژه تحقیقاتی با تیمارهای دبی‌های قطره‌چکان‌ها (۲ و ۳/۶ لیتر در ساعت) و عمق‌های کارگذاری لوله‌های آبده قطره‌چکان‌دار (۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) در یک خاک زراعی فاقد پوشش گیاهی در ایستگاه تحقیقاتی کرمان، تأثیر عمق نصب و تغییرات دبی قطره‌چکان بر الگوی توزیع رطوبت خاک موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بافت خاک لوم شنی و با توجه به خاصیت صعود شعریه خاک عمده حرکت آب از عمق نصب ۳۰ سانتی متری قطره‌چکان به سمت لایه سطحی خاک بوده است. درحالی‌که در عمق نصب ۴۵ سانتی متری قطره‌چکان، شکل منحنی‌های پیاز رطوبتی خاک در جهت افقی و عمودی حالت تقارن داشته‌اند. همچنین افزایش دبی قطره‌چکان از ۲ به ۳/۶ لیتر بر ساعت در عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر سبب افزایش حرکت جانبی آب در خاک شده، اما در عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر به‌طور محسوسی سبب تغییرات رطوبت خاک در لایه‌های پایین‌تر نیز شده است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی توزیع رطوبت، پیاز رطوبتی، قطره‌ای زیرسطحی، کاهش تبخیر

## مقدمه

قرار گرفتن ایران روی کمربند خشک، تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌های به وجود آمده در سالیان اخیر، کشور ما را بیش‌ازپیش نیازمند توسعه روش‌های نوین آبیاری نموده است. چراکه نتیجه آبیاری با روش‌های سنتی در وضعیت بحرانی منابع آب، به دلیل راندمان پایین و تلفات تبخیری زیاد، چیزی به‌جز کاهش بیشتر کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی را در پی نخواهد داشت. هرچند که طی سالیان اخیر پیشرفت‌های قابل‌توجهی در تکنولوژی روش‌های نوین آبیاری به وجود آمده است و توسعه آن‌ها روز به روز در حال افزایش است، لیکن باید دقت نمود که به نظر می‌رسد تنها در صورت حفظ سطوح کشت و به کمک روش‌های نوین آبیاری می‌توان از روند کاهشی منابع آب به‌مرورزمان جلوگیری نمود.

سیستم‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و قطره‌ای زیرسطحی برای محصولات مختلف و شرایط آبیاری متفاوت به کار می‌روند. سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به خاطر قرار ندادن آب در معرض تبخیر، رساندن مستقیم آن به منطقه توسعه ریشه و صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه در آب آبیاری، موجب افزایش قابل‌توجه راندمان آبیاری می‌شوند (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۷). این سیستم‌ها دارای مزایای متعدد و منحصربه‌فرد از نظر مسائل زراعی و حفظ منابع آب‌وخاک می‌باشند. آبیاری زیرسطحی راه‌حل مناسبی برای مقابله با خشک‌سالی‌ها و بحران کمبود آب جهت اراضی فاریاب به شمار می‌آید (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶).

استفاده از پساب تصفیه شده ثانویه حاصل از فرآیند لجن فعال تصفیه خانه جنوب اصفهان در قالب طرحی ۲ ساله، جهت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دو محصول گوجه‌فرنگی و بادمجان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد این روش آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار کلیفرم‌های مدفوعی خاک سطحی و اندام هوایی گیاه و افزایش کارایی مصرف آب شد (نجفی و همکاران، ۱۳۸۵). ملکیان و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر روش آبیاری و همچنین آبیاری با پساب تصفیه‌شده را بر خصوصیات ظاهری و شیمیایی چمن برموداگراس در یک مزرعه تحقیقاتی در اصفهان موردمطالعه قراردادند. در این تحقیق، تأثیر دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی با لوله های

[۱] بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. (* نویسنده مسئول: amireslami.50@gmail.com)

[۲] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. (naghavii@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۲

تراوا و دو نوع آب آبیاری پساب تصفیه‌شده و آب چاه بر مؤلفه‌های رشد گیاه موردبررسی واقع شد. در نهایت مشخص گردید که هرچند آبیاری با پساب بر میزان ارتفاع، عملکرد و جذب املاح توسط چمن تأثیر معنی‌داری داشته است، اما بین دو روش آبیاری از لحاظ اثرگذاری بر این پارامترها اختلاف چندانی وجود ندارد.

سهرابی و گازری (۱۳۷۵) کارایی آبیاری زیرسطحی با لوله‌های تراوا را مورد ارزیابی قراردادند. در این تحقیق لوله‌ها در باغ انگور با بافت خاک رسی و در عمق ۴۰ سانتی‌متری نصب‌شده بودند. نتایج نشان داد که شعاع توسعه رطوبتی بستگی به خصوصیات فیزیکی خاک و شرایط هیدرولیکی سیستم داشته، به‌طوری که این امر برای فشارهای ۰/۵ و ۱/۵ بار در سطح ۱ درصد آماری دارای اختلاف کاملاً معنی‌داری بود. توزیع رطوبت در خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با آب شور در باغات پسته رفسنجان، توسط سیاری و همکاران (۱۳۸۶) بررسی گردید. بررسی‌ها نشان داد بیشترین رطوبت وزنی مربوط به عمق ۶۰ سانتی متری (۱۲/۷۹ درصد) و کمترین مقدار، مربوط به عمق ۳۰ سانتی متری (۸/۴۵ درصد) بود. دلیل آن گسترش و توسعه پیاز رطوبتی از عمق ۳۰ سانتی متری تا سطح زمین ذکرشده است، ولی در عمق ۶۰ سانتی‌متری با توجه به فاصله بیشتر منبع رطوبتی با سطح زمین و در نتیجه کاهش تبخیر، سبب افزایش نگهداشت رطوبت در این عمق گردیده است. محمدی محمدآبادی و همکاران (۱۳۸۷) طی گزارشی نتایج تحقیقات چهارساله خود را درباره تأثیرات تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به زیرسطحی بر درختان بارور پسته کرمان ارائه دادند. در این طرح لوله‌های آبده در فاصله ۹۰ سانتی‌متری تنه درخت و عمق ۵۰ سانتی متری با متوسط دبی هر متر ۵/۴ لیتر بر ساعت نصب شده بودند. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد محصول و کارایی مصرف آب متعلق به تیمار آبیاری زیرسطحی با ۶۰ درصد تبخیر و دور آبیاری ۱۴ روزه می باشد. در تحقیق دیگری توسط دستورانی و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر میزان رشد و تولید درختان پسته رفسنجان بررسی شد. در این آزمایش دو پلات آزمایشی جهت آبیاری سطحی و آبیاری زیرسطحی در عمق ۵۰ سانتی‌متر به کار رفت. نتایج آزمایشی دوساله نشان داد میزان تولید محصول در سیستم زیرسطحی دو برابر و میزان رشد علف‌های هرز یک چهارم روش آبیاری سطحی بود. اسلامی و نقوی (۱۳۸۹) برای بررسی سیستم قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از آب نامتعارف در باغات پسته، مزرعه‌ای در کشکوئیه رفسنجان انتخاب و تیمارهای طرح شامل دو عمق کارگذاری لوله (۵۰ و ۷۰ سانتی‌متر) و سه سطح آب مصرفی (۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی) را پیاده نمودند. با بررسی پروفیل شوری عصارهٔ اشباع خاک مشخص شد که هر چه عمق کارگذاری لوله کمتر باشد تجمع املاح در سطح خاک افزایش می‌یابد.

استفاده از آب‌شور برای آبیاری یک باغ گلابی به‌روش آبیاری قطره ای زیرسطحی موردبررسی قرار گرفت. در این آزمایش میزان کاهش محصول، تأثیر عمق کارگذاری، میزان کاربرد آب و همچنین الگوی پخش رطوبت و شوری اندازه‌گیری و با روش‌های معمول آبیاری قطره‌ای سطحی مقایسه شد. با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته، عمق بهینه نصب قطره چکان ۳۰ سانتی متر و الگوی توزیع رطوبت و شوری در آبیاری زیرسطحی به‌صورت کروی و در آبیاری قطره‌ای به شکل نیم‌کره بود. بالاترین میزان عملکرد محصول نیز متعلق به روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود (Oron et al., 1999).

سینگ و همکاران (۲۰۰۶) از یک مدل شبیه‌سازی بر اساس روش نیمه تجربی و روش تحلیل ابعادی برای تعیین شکل منطقه خیس شده استفاده نمودند. در این آزمایش منبع خطی آب شامل دو نوع لوله متخلخل و نوار تیپ در زیر سطح خاک و در اعماق ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متری قرار داشت و مقادیر محاسباتی عمق و عرض خیس شدگی با داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای در خاک لوم‌شنی مقایسه شد. تجزیه وتحلیل آماری نشان داد که اختلاف معنی داری بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عرض و عمق خیس شدگی وجود نداشت. اثر دبی، عمق کارگذاری لوله ها و مدت زمان مصرف آب بر عرض و عمق خیس شدگی برای مقادیر محاسباتی و مشاهداتی مشابه بودند. راندمان مدل برای عرض و عمق خیس شدگی محاسباتی به ترتیب ۹۶/۴ و ۹۸/۴ درصد برآورد شد. بالا بودن راندمان نشان‌دهنده مناسب بودن مدل برای شبیه‌سازی الگوی خیس شدگی تحت سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی با منبع خطی است. در گزارش تحقیقاتی پاتل و راجپوت (۲۰۰۷) تأثیر عمق نصب لوله های تراوا در زیر پشته‌ها به‌عنوان آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی بر عملکرد سیب‌زمینی در هندوستان طی سه سال متوالی موردبررسی قرار گرفت. در این آزمایش سه سطح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه و ۴ عمق نصب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر لحاظ گردید. اندازه‌گیری‌های الگوی توزیع رطوبت خاک، نشان داد که برای لوله قرارگرفته بر روی سطح زمین و همچنین لوله ۵ سانتی‌متری، بخشی از رطوبت با صعود مویینگی به سطح خاک انتقال می یابد. همچنین حداکثر محصول در هر سال مربوط به عمق نصب ۱۰ سانتی متر و آبیاری کامل گیاه بود. هزینه اجرای سیستم نیز با توجه به مقدار محصول، با افزایش عمق نصب افزایش می‌یافت ( Patel and

Rajput, 2007). در آزمایش تأثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از یک منبع خطی بر خصوصیات دینامیکی خاک، سه نوع خاک شنی لومی، سیلتی و لومی رسی سیلتی در نظر گرفته شد که دو مقدار دبی (۲ و ۴ لیتر بر ساعت) در ۴ زمان مختلف بر آن‌ها اعمال شد. نتایج عددی نشان از وابستگی الگوی توزیع رطوبت به خصوصیات هیدرولیکی خاک داشت. همچنین در یک مدت زمان آبیاری ثابت، کاهش دبی و در نتیجه کاهش عمق کاربرد آب آبیاری موجب عقب‌نشینی عمودی و افقی جبهه رطوبتی گردید. درمجموع تغییرات دبی تأثیری بر تبخیر- تعرق واقعی نداشته و تنها اثر ناچیزی بر نفوذ عمقی گذاشت. در نهایت نتایج شبیه‌سازی نشان داد اگر توسط روش‌های آبیاری زیرسطحی تبخیر از سطح خاک به حداقل برسد آب به‌خوبی در معرض دسترس ریشه گیاه قرار می‌گیرد (Elmaloglou and Diamantopoulos, 2009).

از سوابق تحقیقات می‌توان چنین برداشت نمود که کاربرد سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی بر عملکرد محصول تأثیر مستقیم دارد و همچنین برای استفاده از آب با کیفیت نامتعارف نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی مناسب‌تر و سبب کاهش تبخیر از سطح خاک نیز می گردد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر عمق کارگذاری لوله آبده و تغییرات دبی قطره‌چکان بر الگوی توزیع رطوبت در دو بُعد افق و عمودی از طریق قرائت رطوبت با دستگاه ترایم به مرکزیت محل قطره‌چکان‌ها است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت اجرای طرح

پیاده سازی طرح در زمینی به مساحت ۴۰۰ مترمربع در محل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا انجام شد. آب‌وهوای منطقه از نوع خشک و نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد بوده به‌طوری‌که تعداد روزهای یخبندان ۷۴ روز است که از آبان ماه شروع شده و بیشترین آن در دی‌ماه به تعداد ۲۱ روز می‌باشد. اختلاف دمای شبانه‌روز نسبتاً زیاد بوده که از مشخصات اقلیمی منطقه می‌باشد و متوسط تبخیر از تشت سالیانه ۲۶۸۱ میلی متر، متوسط رطوبت نسبی ۳۳ درصد، متوسط دما ۱۶/۷ درجه سلسیوس، متوسط بارندگی سالیانه معادل ۱۳۰ میلی‌متر می‌باشد.

### پارامترهای خاک

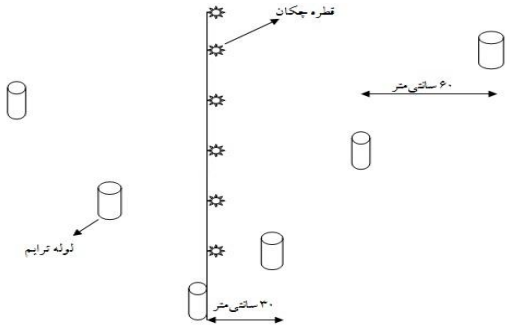
برای تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک پروفیلی به طول ۳ متر، عرض ۱/۵ متر و عمق ۲ متر حفر گردید (شکل ۱). نمونه‌های خاک دست‌خورده و دست‌نخورده از لایه‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. سپس پارامترهای فیزیکی شامل بافت خاک (روش هیدرومتری)، وزن مخصوص ظاهری خاک (روش Core Sampler) و پارامترهای شیمیایی از شامل واکنش خاک (pH متر)، کاتیون ها و آنیون های عصاره اشباع خاک طبق روش های موسسه تحقیقات خاک و آب و در آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان اندازه‌گیری شد.

**شکل ۱- حفر پروفیل برای برداشت نمونه دست‌نخورده خاک از لایه‌های مختلف ۳۰ سانتی‌متری تا حداکثر عمق ۱۲۰ سانتی‌متری**

### عملیات آماده‌سازی زمین

زمین این طرح، مربع شکل به ضلع ۲۰ متر بود. ابتدا کانال اصلی در وسط زمین به طول ۲۰ متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر حفر شد. سپس کانال‌های فرعی حفر و لوله‌های آبده نصب شدند. با توجه به اینکه قرائت رطوبت توسط دستگاه ترایم صورت می گرفت، به این منظور برای هر کانال فرعی ۶ چاهک به قطر ۴۵ میلی‌متر و عمق ۱۲۵ سانتی‌متر در اطراف آن ابتدا با آگر و سپس برای سهولت کار توسط دستگاه پرفوراتور (نوعی دستگاه حفاری که مته هایی تا ۵ متر دارد و توسط هوای پرفشار تولیدشده با یک موتور دیزلی کار می کند) حفر گردید. به منظور جلوگیری از تأثیر تیمارها بر یکدیگر، لوله‌های ترایم که از جنس PVC بودند، به‌صورت یک‌درمیان و با فواصل مشخص از یکدیگر در خاک کار گذاشته شدند. لوله اول در مجاورت قطره‌چکان و لوله‌های بعدی تا پنجمین لوله در فواصل افقی ۳۰ سانتی متری از یکدیگر و فاصله لوله پنجم از لوله ششم ۶۰ سانتی‌متر در اطراف لوله‌های آبده پخش شدند. تمام این

لوله های دسترسی دقیقاً روبروی یک قطره چکان قرارگرفته است (شکل ۲).



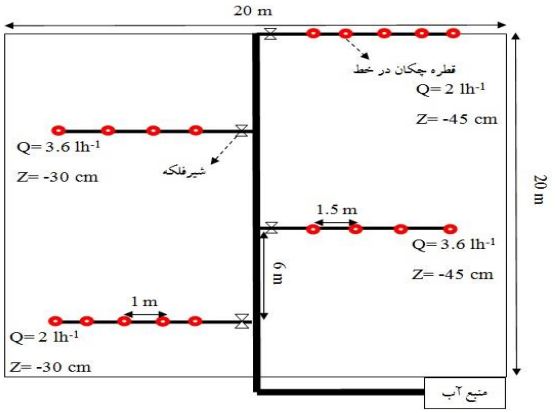

**شکل ۲- نحوه آرایش لوله‌های ترایم در اطراف لوله آبده زیرسطحی**

## سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

برای پیاده سازی تیمارهای طرح تعداد ۴ کانال فرعی حفر و همگی به کانال اصلی متصل گردیدند. طول کانال اصلی برابر با ۲۰ متر و در وسط زمین قرار داشت و کانال های فرعی به طول ۸ متر، در دو طرف کانال اصلی (کانال فرعی اول و دوم در سمت چپ و کانال فرعی سوم و چهارم در سمت راست) قرار داشتند (شکل ۳). در کانال فرعی اول که لوله قطره چکان دار در عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک نصب شد، تعداد ۵ قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر بر ساعت به‌صورت در خط و با فواصل یک متری از یکدیگر قرار داشتند. در کانال فرعی دوم لوله آبده در همان عمق ۳۰ سانتی‌متری ولی با ۴ عدد قطره‌چکان با دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت و فاصله ۱/۵ متری از یکدیگر نصب گردید. در کانال فرعی سوم نیز لوله آبده با قطره‌چکان‌های ۳/۶ لیتر بر ساعت و در عمق ۴۵ سانتی متری قرار گرفت و در کانال فرعی آخر لوله آبده با قطره‌چکان‌های ۲ لیتر بر ساعت، در عمق ۴۵ سانتی متری نصب شد. لوله های خط فرعی همگی از جنس پلی‌اتیلن و قطر ۱۶ میلی‌متر بودند.

## اندازه‌گیری رطوبت و برنامه‌ریزی آبیاری

قرائت رطوبت خاک تا عمق ۱۲۰ سانتیمتری خاک و در ۴ لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر و ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری صورت گرفت. از طرفی با استفاده از لوله های دسترسی که در فواصل عرضی ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ سانتیمتری لوله‌های فرعی و قطره‌چکان‌ها قرار داشت، میزان رطوبت حجمی خاک در بُعد عرضی نیز اندازه‌گیری می‌شد. مدل دستگاه اندازه‌گیری رطوبت استفاده‌شده در این آزمایش TRIME-FM-2 بود که شامل یک میله دوشاخه برای اندازه گیری رطوبت و یک قسمت قرائت کننده می باشد. برای قرائت رطوبت خاک با این دستگاه باید قبلاً لوله های دسترسی در خاک کارگذاری شده باشد. سنجنده رطوبت از طریق این لوله های تا عمق موردنظر به داخل خاک هدایت می شود. پس از رسیدن سنجنده دستگاه به عمق مورد نظر، دستور اندازه گیری رطوبت خاک به دستگاه داده می شود. با توجه به اینکه لوله های دسترسی (شفاف) مخصوص دستگاه به تعداد لازم موجود نبود، از لوله PVC با قطر ۵۰ میلی متر برای قرائت رطوبت استفاده گردید؛ بنابراین نیاز بود در ابتدا استفاده از این لوله ها واسنجی شود. بدین منظور یک لوله شفاف مخصوص دستگاه و یک لوله PVC تا عمق ۹۰ سانتی متری در یک کرت آزمایشی مستقل کارگذاری شدند که این کرت آبیاری کامل شد. در این کرت آزمایشی مستقل رطوبت در لایه های مختلف توسط دستگاه ترایم، در توسط با ارسال سنجنده دستگاه در هر دو لوله که در نزدیکی یکدیگر نصب شده بودند قرائت گردید... همچنین رطوبت وزنی خاک در ضخامت های گفته شده تعیین شد. نمونه های دست خورده خاک از سه لایه ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری پس از غرقاب کردن اطراف لوله ها توسط آگر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. با اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری و رطوبت وزنی، رطوبت های حجمی محاسبه و با اعداد حاصل از قرائت دستگاه ترایم (رطوبت حجمی) در هر دو لوله دسترسی شفاف و PVC مورد مقایسه قرارگرفته و ضرایب تابع رگرسیون برای واسنجی دستگاه از روش تاپ و همکاران (۱۹۸۰) به دست آمد (اقتباس از مزیدی و همکاران، ۱۳۸۸).




**شکل ۳- آرایش و عمق نصب لوله‌های آبده به همراه مشخصات قطره‌چکان‌ها در اطراف لوله اصلی**

برنامه‌ریزی آبیاری به نحوی صورت گرفت که در هر روز، آبیاری یک تیمار (لوله آبده) انجام گردد. به‌این‌ترتیب دور آبیاری ۴ روز و در هر روز برای ثبت بهتر تغییرات رطوبت به مدت ۴

ساعت از ساعت ۱۳-۹ آبیاری با فشار ثابت انجام و در پایان هر روز حجم آب داده شده به هر تیمار نیز از طریق کنتور حجمی تعیین می گردید. اولین قرائت رطوبت قبل از آغاز هر آبیاری (برای تعیین رطوبت اولیه) و پس ازآن هر ۳۰ دقیقه یک بار قرائت صورت می پذیرفت و فاصله بین دو قرائت آخر نیز یک ساعت در نظر گرفته شد. پس از اتمام ۴ ساعته آبیاری میزان رطوبت در یک، دو و سه روز پس‌ازآن نیز اندازه‌گیری می‌گردید.

برای کنترل میزان آب داده‌شده به زمین، از یک کنتور حجمی ۳ مترمکعبی با دقت یک لیتر و برای آگاهی از فشار آب در طول آبیاری، از یک فشارسنج با دقت ۰/۲ بار و قابلیت اندازه‌گیری تا ۶ بار در محل منبع آب که در ۲ متری زمین قرار داشت و به آب شهر متصل بود، بهره گرفته شد.

### ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک

برای بررسی بهتر تغییرات رطوبت تیمار های طرح در اعماق مختلف اقدام به‌رسم منحنی‌های رطوبتی خاک یا پیاز رطوبتی به کمک نرم‌افزار SURFER گردید. لازم به ذکر است با توجه به تعدد اطلاعات برداشت شده با استفاده از این داده ها منحنی کالیبراسیون، تخمین رطوبت خاک با استفاده از لوله های دسترسی سنجنده PVC نسبت به لوله های دسترسی شفاف و نسبت به رطوبت وزنی محاسبه شد.

## نتایج و بحث

### خصوصیات خاک محل آزمایش

خصوصیات فیزیکی لایه های خاک محل آزمایش، شامل بافت، جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع هر یک از این لایه ها تا عمق ۱۲۰ سانتی متری در جدول (۱) آورده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود بافت خاک لوم شنی است که این بافت تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری سطح خاک ادامه دارد. نتایج جدول نشان می‌دهد که با افزایش عمق، درصد رس و سیلت زیاد و در مقابل درصد شن کاهش می‌یابد اما همان‌گونه که مقادیر درصد ذرات نشان می‌دهد، تغییرات فوق قابل‌توجه نمی‌باشند.

### واسنجی دستگاه ترایم

پس از برازش داده‌های حاصل از برداشت رطوبت با استفاده از لوله دسترسی PVC و لوله دسترسی شفاف متعلق به دستگاه ترایم با داده‌های رطوبت وزنی معادله واسنجی زیر با $R2 = 0.98$ به دست آمد (معادله ۱) که با نتیجه مزیدی و همکاران (۱۳۸۸) برای خاک‌های سبک مطابقت داشت.

$$\theta v = 1.134\ \theta p + 3.227 \quad (1)$$

که در آن: $\theta v$ رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و $\theta p$ رطوبت اندازه گیری شده با دستگاه ترایم و لوله دسترسی PVC می‌باشد.

### برآورد میزان تغییرات رطوبت

همان طور که در روش تحقیق ذکر شد میزان رطوبت حجمی در فواصل عرضی مختلف از لوله آبده و در لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متر خاک، قبل از آبیاری و زمان های مختلف بعد از آبیاری اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه در تمامی تیمارها بیشترین میزان تغییر رطوبتی در محل قطره‌چکان (نزدیک لوله آبده) صورت پذیرفته است، لذا آن را به‌عنوان منبع نقطه‌ای در نظر گرفته و نتایج تنها در این محل موردبررسی واقع‌شده است.

### قطره‌چکان ۲ (L/hr) و عمق نصب ۳۰ (cm)

نتایج تغییرات رطوبتی در زمان های مختلف قبل و بعد از آبیاری و در مقابل میانگین عمق هر لایه خاک (۱۵، ۴۵، ۷۵ و ۱۱۵ سانتی‌متر) برای تیمار عمق کارگذاری ۳۰ و دبی قطره‌چکان ۲ لیتر در ساعت در شکل ۴ ترسیم‌شده است.

**جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان**

| لایه (cm) | بافت خاک | | | کلاس بافت خاک | جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$) | هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm.d^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | شن | سیلت | رس | | | |
| ۰-۳۰ | ۵۵ | ۳۰ | ۱۵ | لوم شنی | ۱/۵۴ | ۲۱/۹۴ |
| ۳۰-۶۰ | ۵۳ | ۳۲ | ۱۵ | لوم شنی | ۱/۵۷ | ۲۰/۳۴ |
| ۶۰-۹۰ | ۵۲ | ۳۳ | ۱۶ | لوم شنی | ۱/۵۳ | ۱۷/۸۹ |
| ۹۰-۱۲۰ | ۵۱ | ۳۳ | ۱۷ | لوم شنی | ۱/۵۶ | ۱۶/۰۲ |

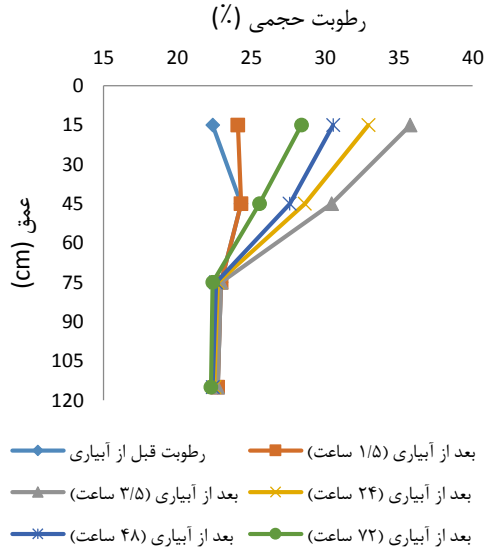
با مشاهده این شکل ملاحظه می شود که با توجه به عمق کارگذاری قطره چکان (۳۰ سانتی متر)، میزان رطوبت در لایه سطحی خاک در تمام زمان های پس از آبیاری بیش از رطوبت خاک قبل از آبیاری بوده است. به‌طوری‌که میزان این افزایش

در ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری به ترتیب حدود ۱/۷، ۱۳، ۱۰/۵، ۸ و ۶ درصد بوده که بیشترین آن در نزدیک زمان انتهای آبیاری (۳/۵ ساعت بعد از آبیاری) به‌دست‌آمده است. با اندازه گیری رطوبت در روزهای بعد از آبیاری مشاهده می‌شود که رطوبت سطحی به‌مرور کاهش می‌یابد و بعد از گذشت ۷۲ ساعت بعد از آبیاری به مقدار ۲۸٪ می‌رسد که بااین‌حال، بیش از رطوبت اولیه خاک باقی‌مانده است.

با توجه به مساحت کناری منحنی های توزیع رطوبت (به سمت محور سمت چپ که معادل کل رطوبت خاک در آن منطقه می‌باشد) به نظر می‌رسد که کاهش رطوبت در این عمق مربوط به حرکت به سمت بالای آب در خاک می‌باشد. عدم افزایش سطح زیر منحنی در سایر زمان‌های قرائت‌شده، نشان می دهد میزان رطوبت خاک در زمان ۳/۵ ساعت پس از آبیاری به سمت پایین و تحت نیروی ثقل حرکت نکرده است؛ بنابراین به‌احتمال‌زیاد حرکت رو به بالا (صعود شعریه ای) اتفاق افتاده است. سایر محققین نیز به نتیجه‌ای مشابه این تحقیق دست‌یافته اند (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶؛ اسلامی و نقوی، ۱۳۸۹؛ Patel and Rajput, 2007).

بررسی رطوبتی در لایه دوم خاک (۶۰-۳۰ سانتی متر) نشان داد که میزان افزایش رطوبت در ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نسبت به رطوبت قبل از آبیاری به ترتیب حدود ۰، ۶، ۴، ۳ و ۱ درصد بوده که بیشترین آن در نزدیک زمان انتهای آبیاری (۳/۵ ساعت بعد از آبیاری) به‌دست‌آمده است. در لایه‌های سوم و چهارم خاک تغییرات رطوبت نسبت به رطوبت اولیه خاک در همان لایه‌ها بسیار ناچیز به دست آمد. دلیل این مورد علاوه بر صعود شعریه آب، ساعت نسبتاً کم آبیاری، ۴ ساعت، می باشد که سبب شده حجم آب واردشده به خاک در لایه ۶۰-۰ توزیع شود (شکل ۴). بدین ترتیب، در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی با توجه به عمق مؤثر ریشه هر گیاه و تنظیم ساعت آبیاری از نفوذ عمقی آب جلوگیری به عمل می آید. البته باید توجه داشت که شرایط اقلیمی و میدانی، از جمله بافت خاک، نیز بر روی صعود تحت تأثیر تبخیر اثر می‌گذارد و باید در هنگام طراحی یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در نظر گرفته شوند. گزارش‌های (Ayars et al., 2001; Kandelous and Simunek, 2007; Patel and Rajput, 2007 و دستورانی و همکاران، ۱۳۸۷) مؤید این امر می‌باشند.

همچنین پیاز رطوبتی یا منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک توسط نرم افزار SURFER برای تمامی تیمارها و تنها برای زمان ۳/۵ ساعت بعد از آبیاری ترسیم شده است. در شکل ۵ پیاز رطوبتی که برای تیمار قطره چکان ۲ لیتر بر ساعت و عمق نصب ۳۰ سانتی متری رسم شده است، حاکی از این است که با این مدت آبیاری و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر بیشتر رطوبت به سطح زمین آمده و از عمق ۶۰ سانتی متر به پایین تر تغییرات رطوبتی مشاهده نمی‌گردد. همچنین در اطراف قطره چکان نیز حداکثر تغییرات تا فاصله ۳۰ سانتی متری قطره-چکان مشاهده می‌شود.




**شکل ٤- تغییرات درصد رطوبت حجمی در اعماق، زمان‌ها و در محل قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر**

## قطره‌چکان ۲ (L/hr) و عمق نصب ٤٥ (cm)

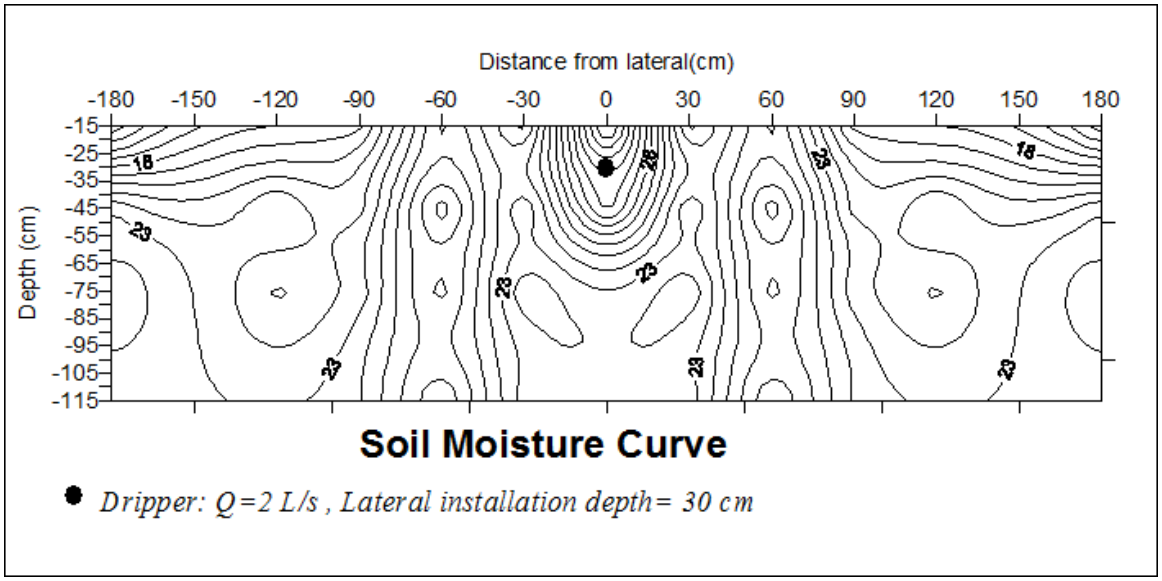
با نصب لوله قطره‌چکان‌دار در عمق ۴۵ سانتی‌متری میزان رطوبت حجمی در اعماق مختلف اندازه گیری و نتایج آن در شکل ۶ آورده شده است. مشاهده این شکل نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات رطوبتی در لایه دوم خاک، عمق نصب قطره‌چکان، اتفاق افتاده است.

میزان رطوبت در لایه سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) در تمام زمان های پس از آبیاری بیش از رطوبت خاک قبل از آبیاری بوده است، هرچند که درصد این افزایش ناچیز می باشد. به طوری که میزان این افزایش در ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری به ترتیب حدود ۰/۳، ۲/۴، ۳/۹، ۳ و ۲/۶ درصد بوده که بیشترین آن در ۲۴ ساعت بعد از آبیاری به دست آمده است که حاکی از صعود مویینگی و حرکت رو به بالای آب می‌باشد.

بررسی رطوبتی در لایه دوم خاک (۶۰-۳۰ سانتی‌متر) نشان داد که میزان افزایش رطوبت در ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نسبت به رطوبت قبل از آبیاری به ترتیب حدود

۰/۶، ۶/۵، ۵/۷ و ۵/۳ درصد بوده است. تغییرات رطوبت در لایه سوم خاک (۹۰-۶۰ سانتی متر) در ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نسبت به رطوبت قبل از آبیاری به ترتیب حدود ۰، ۰/۳، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۸ درصد مشاهده شده است. در لایه چهارم خاک (۱۲۰-۹۰ سانتی متر) نیز میزان این تغییرات در ساعات مذکور به ترتیب ۰، ۰/۱، ۰/۱، ۰/۴ و ۰/۴ درصد به‌دست‌آمده است.

ملاحظه می‌شود که در این تیمار حرکت روبه بالا و پایین آب وجود دارد و در ساعات بعد از آبیاری، ۲۴ تا ۷۲ ساعت، علاوه بر تبخیر از لایه سطحی درصدی از آب نیز نفوذ عمقی داشته است. درصورتی که در عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر حرکت رو به بالای آب نسبت به نفوذ عمقی غالب بود؛ بنابراین توزیع رطوبت در عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر حالت کروی‌تری نسبت به عمق نصب ۳۰ سانتی متری به خود می گیرد (شکل های ۵ و ۷). همچنین ماندگاری رطوبت در این عمق فرصت مناسبی برای جذب آب بیشتر توسط گیاهانی که بیشترین حجم ریشه‌ای را در این عمق دارند، فراهم خواهد کرد. توجه به سطح کناری منحنی توزیع رطوبت در زمان‌ها و عمق‌های موردمطالعه نشان می‌دهد که پس از اتمام آبیاری مقداری از آب خاک ابتدا به صورت افقی تا ۲۴ ساعت پس از آبیاری و سپس در زمان های بعدی به سمت عمق خاک (تحت نیروی ثقل) حرکت کرده است. این نتیجه با گزارش‌های اُران و همکاران، (۱۹۹۹) و پاتل و راجپوت، (۲۰۰۷) کاملاً مطابقت داشت.

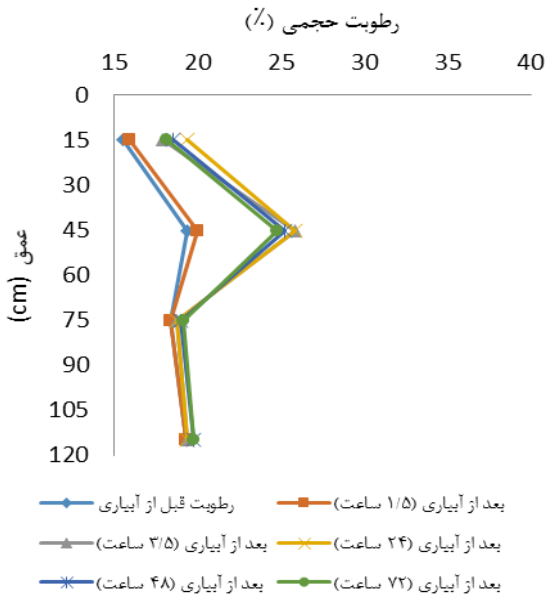



**شکل ۵- منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر در ۳/۵ ساعت بعد از آبیاری**

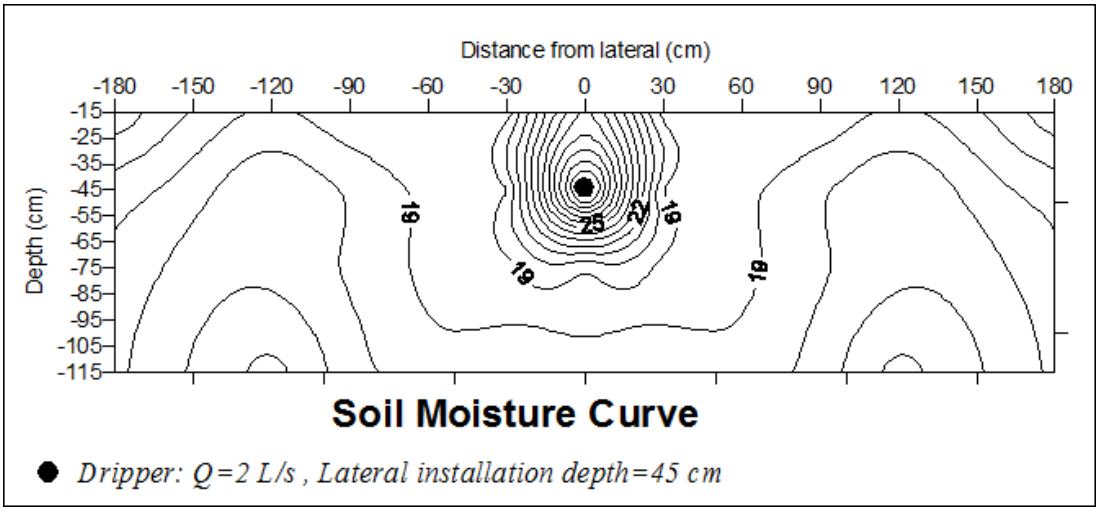
در شکل ۷ پیاز رطوبتی یا منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در این تیمار و با گذشت ۳/۵ ساعت از شروع آبیاری ترسیم شده است. همان‌طور که از این نمودار پیداست تجمع پیاز رطوبتی خاک تحت شرایط آبیاری مورد تحقیق در محل نصب قطره چکان می‌باشد. همچنین شکل پیاز رطوبتی نسبت به تیمار نصب ۳۰ سانتی‌متری با همین دبی متقارن تر است. بدین معنی که تغییرات رطوبت در تمامی جهات افقی و عمودی به یک میزان اتفاق افتاده است.

### قطره‌چکان ۳/۶ (L/hr) و عمق نصب ۳۰ (cm)

تغییرات رطوبتی در لایه‌های مختلف خاک در تیمار سوم در شکل ۸ ترسیم شده است که تغییرات پروفیل رطوبتی بسیار شبیه به شکل ۴ می باشد. با این تفاوت که با افزایش میزان دبی قطره چکان از ۲ با ۳/۶ لیتر در ساعت و با ورود حجم آب بیشتر، میزان درصد تغییرات پروفیل رطوبتی نسبت به تیمار اول افزایش یافته است. در لایه اول خاک تغییرات رطوبتی در ساعات ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ بعد از آبیاری به ترتیب ۵، ۱۷/۵، ۱۳/۶، ۱۰ و ۹/۵ درصد حاصل شده است. بیشترین تغییرات رطوبتی نزدیک زمان انتهای آبیاری اتفاق افتاده است که در مقایسه با تیمار اول در همین زمان ۵/۱ درصد افزایش را نشان می دهد. در لایه دوم خاک میزان تغییرات رطوبتی در ساعات موردنظر به ترتیب ۰، ۶، ۴/۵، ۳/۵ و ۳/۲ درصد به‌دست‌آمده است. در لایه‌های ۳ و ۴ خاک نیز مشابه با نتایج تیمار اول تغییرات میزان رطوبت بسیار ناچیز بود.




**شکل ٦- درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق، زمان‌ها و در محل قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت و عمق نصب ٤٥ سانتی‌متر**



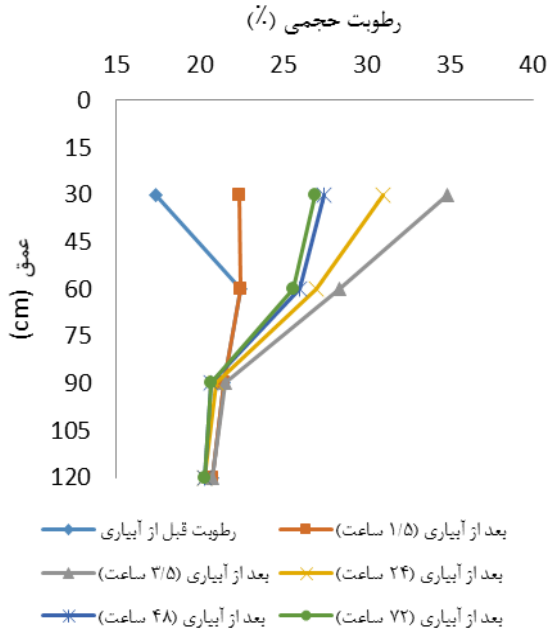

**شکل ۷- منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق و فواصل مختلف از محل قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت و عمق نصب ٤٥ سانتی‌متر در ۳/۵ ساعت بعد از آبیاری**

در شکل ۹ پیاز رطوبتی یا منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در این تیمار و با گذشت ۳/۵ ساعت از شروع آبیاری ترسیم شده است. همان‌طور که از این نمودار پیداست شکل پیاز رطوبتی حاکی از این است که با این مدت آبیاری و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر روند غالب حرکت آب رو به بالا می‌باشد. همچنین شکل پیاز رطوبتی نسبت به تیمار قطره¬چکان ۲ لیتری گستردگی بیشتری دارد. به طوری که تغییرات رطوبتی در جهت افقی تا ۴۵ سانتی‌متری و در جهت عمودی تا ۷۵ سانتی‌متری وجود دارد.

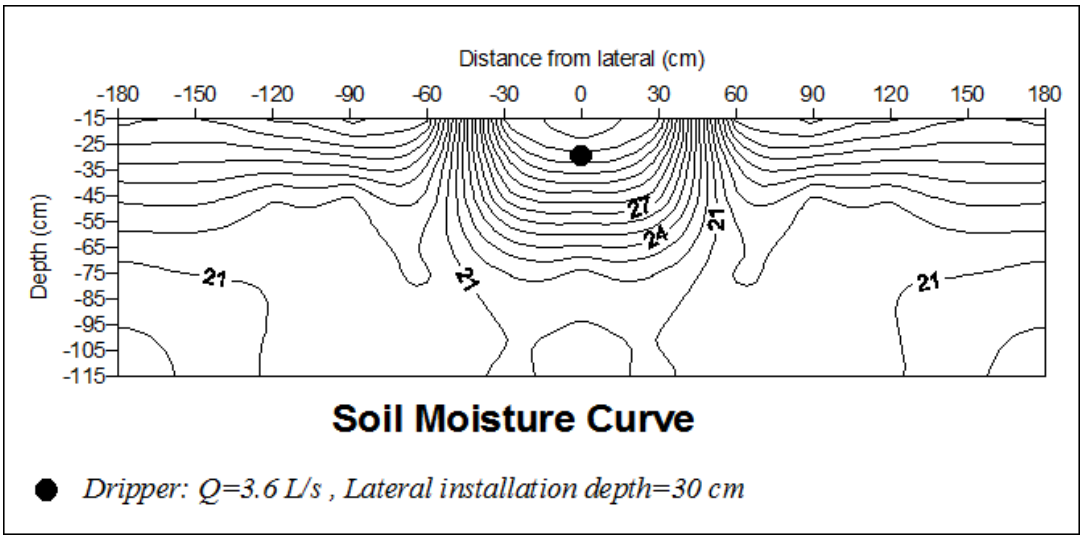
### قطره‌چکان ۳/٦ (L/hr) و عمق نصب ٤٥ (cm)

بررسی پروفیل رطوبتی در تیمار چهارم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. میزان تغییرات رطوبتی نسبت به رطوبت اولیه در لایه اول خاک در ساعت های ۱/۵، ۳/۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ بعد از آبیاری به ترتیب حدود ۱، ۲/۸، ۴/۲، ۳/۳ و ۳ درصد به‌دست آمده است. در لایه دوم خاک (محل نصب قطره چکان) که بیشترین تغییرات رطوبتی مشاهده می شود میزان این افزایش در ساعات موردنظر به ترتیب ۳/۲، ۸/۲، ۷/۹، ۷/۲ و ۶/۸ درصد برآورد شده است.

همچنین با توجه به افزایش دبی قطره‌چکان از ۲ به ۳/۶ لیتر در ساعت در این تیمار، در لایه سوم و چهارم خاک نیز میزان تغییرات رطوبتی نسبت به تیمار دوم بیشتر مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که در لایه سوم خاک میزان افزایش رطوبت نسبت به رطوبت اولیه خاک در ساعات اندازه گیری به ترتیب ۰، ۱/۲، ۱/۱، ۱/۳ و ۱/۵ درصد و در لایه چهارم خاک ۰، ۱، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۲ درصد می‌باشد.




**شکل ۸- تغییرات درصد رطوبت حجمی در اعماق، زمان‌ها و در محل قطره‌چکان ۳/٦ لیتر بر ساعت و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر**

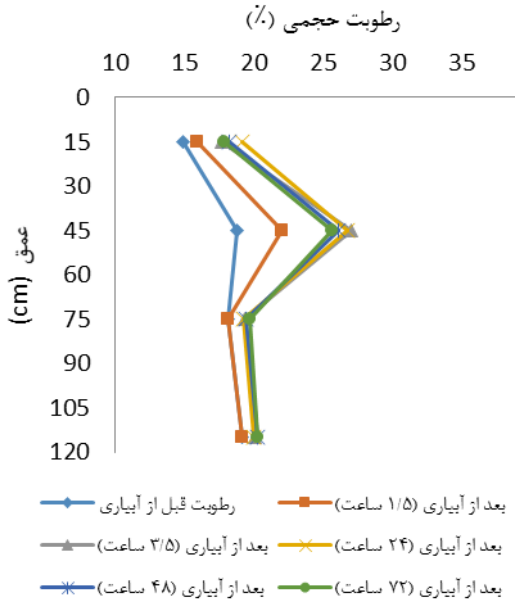



**شکل ۹- منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق و فواصل مختلف از محل قطره‌چکان ۳/٦ لیتر بر ساعت و عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر در ۳/۵ ساعت بعد از آبیاری**

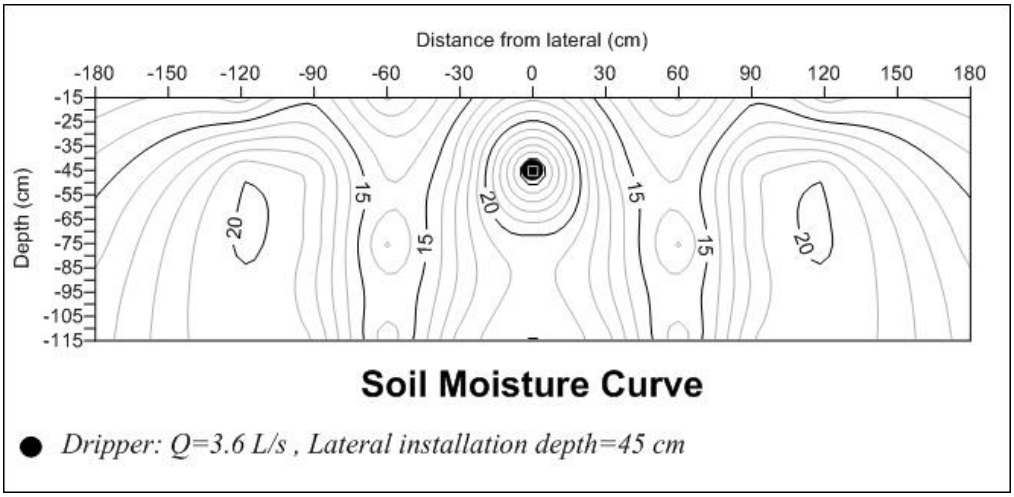
ملاحظه می گردد که با افزایش دبی، در نزدیک زمان انتهای آبیاری (۳/۵ ساعت بعد از آبیاری) تغییرات رطوبتی در تیمار چهارم نسبت به تیمار دوم ۲۶ درصد افزایش یافته است (شکل‌های ۶ و ۱۰). همچنین تغییرات رطوبتی در لایه سوم و چهارم خاک در این تیمار نسبت به تیمار سوم، عمق ۳۰ سانتی‌متر، افزایش یافته که حاکی از نفوذ عمقی آب می‌باشد. از طرفی، بیشترین درصد افزایش رطوبت در لایه اول خاک در ۲۴ ساعت بعد از آبیاری اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد حرکت آب در اثر صعود مویینگی در این زمان به حداکثر خود رسیده و از آن به بعد در اثر تبخیر سطحی روند کاهشی را طی

می‌کند. Patel and Rajput (۲۰۰۷) نیز در تحقیقات خود نتیجه گرفتند که یکنواختی افزایش رطوبت در اطراف قطره‌چکان، ۲۴ ساعت پس از آغاز آبیاری می‌باشد که درواقع متناسب با شعاع تأثیر قطره‌چکان است.

در شکل ۱۱ پیاز رطوبتی یا منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در این تیمار و با گذشت ۳/۵ ساعت از شروع آبیاری ترسیم شده است. همان طور که از شکل مشاهده می شود، پیاز رطوبتی مانند تیمار دوم نسبت به تیمار های نصب ۳۰ سانتی متر کروی تر است. در این مدت آبیاری بیشترین تغییرات رطوبتی در همان عمق ۴۵ سانتی‌متر می‌باشد.




**شکل ۱۰- تغییرات درصد رطوبت حجمی در اعماق، زمان‌ها و در محل قطره‌چکان ۳/٦ لیتر بر ساعت و عمق نصب ٤٥ سانتی‌متر**




**شکل ۱۱- منحنی تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق و فواصل مختلف از محل قطره‌چکان ۳/٦ لیتر بر ساعت و عمق نصب ٤٥ سانتی‌متر در ۳/۵ ساعت بعد از آبیاری**

## نتیجه‌گیری

این پروژه شامل اجرای یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک زراعی فاقد پوشش گیاهی، به‌منظور بررسی تأثیر عمق نصب و تغییرات دبی قطره‌چکان بر الگوی توزیع رطوبت در این خاک می¬باشد. تیمارهای طرح عبارت‌اند از: دو نوع قطره چکان با دبی ۲ و ۳/۶ لیتر بر ساعت و دو عمق کارگذاری لوله آبده ۳۰ و ۴۵ سانتی متر. میزان تغییرات رطوبت با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج ترایم قرائت گردید. با بررسی

میزان رطوبت و تغییرات آن در لایه‌های مختلف خاک و در تیمارهای طرح مشخص شد که:

۱- تغییر دبی قطره‌چکان از ۲ به ۳/۶ لیتر بر ساعت سبب افزایش الگوی خیس شدگی خاک شده است. به‌طوری که این افزایش در عمق نصب ۳۰ سانتی متر در جهت افقی بوده و در عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر بیشتر به‌صورت نفوذ عمقی بروز داشته است.

۲- عمق نصب لاترال بیشترین تأثیر را در میزان تغییرات رطوبت و روند حرکت آب در خاک داشته است. به طوری که شکل پیاز رطوبتی در دو عمق نصب ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر کاملاً متفاوت می‌باشد. در عمق نصب ۳۰ سانتی متر بیشترین رطوبت در لایه سطحی خاک مشاهده می‌گردد درحالی‌که در عمق نصب ۴۵ سانتی متری بیشترین میزان رطوبت در همان عمق اتفاق افتاده است.

۳- بیشترین تغییرات رطوبتی در نزدیک محل قطره چکان اتفاق می‌افتد و هر چه از لوله آبده فاصله گرفته شود تغییرات رطوبتی بسیار ناچیز می شود. نتایج نشان داد که در این بافت خاک و با مدت زمان ۴ ساعت آبیاری، این تغییرات در دبی ۲ لیتر بر ساعت حداکثر تا ۳۰ سانتی متری و در دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت حداکثر تا ۵۰ سانتی متری قطره چکان صورت گرفته است.

۴- با توجه به بافت خاک (لوم شنی) صعود شعریه از عمق نصب ۳۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ۴۵ سانتی‌متری بیشتر اتفاق می‌افتد.

۵- استفاده از آبیاری زیرسطحی تبخیر از سطح خاک را نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی کاهش می‌دهد به‌خصوص در عمق نصب ۴۵ سانتی‌متری.

۶- میزان رطوبت در تیمار عمق نصب ۳۰ سانتی متر و در هر دو دبی قطره‌چکان با افزایش زمان آبیاری در لایه سطحی خاک افزایش پیدا می‌کند.

بنابراین پیشنهاد می‌شود در استفاده از آبیاری زیرسطحی به بافت خاک و نوع گیاهان مورداستفاده دقت کافی شود. چنانچه از این نوع آبیاری برای جوانه‌زنی بذر و گیاهانی که ریشه سطحی دارند استفاده گردد بهتر است لوله‌های آبده (حاوی قطره‌چکان) در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک کارگذاری گردند. همچنین برای کاهش تبخیر از سطح خاک و رساندن رطوبت به اعماق پایین‌تر بهتر است برای آبیاری درختان یا محصولات زراعی باریشه عمیق این لوله‌ها در عمق ۴۵ سانتی‌متری قرار گیرند. همچنین پیشنهاد می شود برای بررسی دقیق‌تر صعود شعریه آب از اعماق خاک این تحقیق در بافت‌های متفاوت انجام شود و چنانچه امکان پذیر باشد میزان رطوبت در نزدیک یک قطره‌چکانی که مثلاً در عمق ۴۵ سانتی‌متری کارگذاری شده است، اندازه گیری تا با تغییر ساعات آبیاری میزان تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف خاک و در جهات افقی و عمودی خاک به دست آید.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله لازم است نویسندگان از آقای مهندس مسعود افشار جهانشاهی که در خصوص مسائل مرتبط با نصب و پیاده‌سازی طرح کمک شایانی نمودند تشکر و قدردانی به عمل‌آورند.

## مراجع

اسلامی، ا.، و نقوی، ه. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده از آب باکیفیت نامتعارف در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کانال کود باغات پسته. گزارش پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۵۸ صفحه.

دستورانی، م.ت.، صادق زاده، م.ع. و حشمتی، م. ۱۳۸۷. بررسی کارایی آبیاری زیرسطحی در میزان رشد و تولید درختان پسته. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب‌وخاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ص ۴۷-۳۶.

سهرابی، ت.، و گازری، ن. ۱۳۷۵. بررسی کارایی آبیاری زیرزمینی با لوله‌های لاستیکی تراوا. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب‌وخاک کشور، تهران.

سیاری، ن.، قهرمان، ب. و داوری، ک. ۱۳۸۶. بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغ‌های پسته (مطالعه موردی: اراضی رفسنجان با آب های شور). پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۷، شماره ۳، ص ۷۷-۶۵.

محمدی محمد آبادی ا.، حسینی فرد، س.ج. و صداقتی، ن. ۱۳۸۷. اثرات تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطحی بر درختان بارور پسته در کرمان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۲، شماره ۴۳، ص ۴۵-۲۹.

ملکیان ر.، حیدرپور، م.، مصطفی‌زاده فرد، ب. و عابدی کوپایی، ج. ۱۳۸۷. تأثیر آبیاری سطحی و زیرسطحی با پساب تصفیه شده بر خصوصیات چمن برمودا‌گراس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، شماره ۴، ص ۵۵-۴۵.

نجفی پ.، موسوی، س.ف. و فیضی، م. ۱۳۸۵. تأثیر کاربرد آبیاری قطره ای زیرسطحی با پساب فاضلاب در آبیاری دو محصول گوجه فرنگی و بادمجان. مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰، شماره ۱، ص ۱۶۳-۱۵۵.

مزیدی م.، معروف پور، ع. و بهرام نژاد، ب. ۱۳۸۸. بررسی دقت مدل های انعکاس سنجی حوزه زمانی برای برآورد رطوبت. مجله پژوهش آب ایران، سال ۳، شماره ۵، ص ۵۲-۴۱.

Ayars, J.E., R.A. Schoneman, F. Dale, B. Meso and P. Shouse. (2001). Managing subsurface drip irrigation in the presence of shallow ground water. Agricultural Water Management, 47:243-264.

Elmaloglou, S., and E. Diamantopoulos. 2009. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. Agricultural Water Management, 96:1587-1595.

Kandelous, M. M., and J. Simunek. 2010. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation systemunder field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. Agricultural Water Management, 97:1070-1076.

Oron, C.J., Y. Demalach, L. Gillerman, I. David and V.P. Raco. 1999. Improved saline water under subsurface drip irrigation. Agricultural Water Management, 39(1): 19-33.

Patel, N. and T.B.S. Rajput. 2007. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. Agricultural Water Management, 88:209-223.

Singh, D. K., T.B.S. Rajput, H.S. Sikarwar, R. N. Sahoo and T. Ahmad. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. Agricultural Water Management, 83:130-134.

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 4, No. 1, Spring and Summer 2017, 67-80**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ص. ۸۰-۶۷**

# Moisture Distribution Pattern in Sandy Loam Soil from a Subsurface Point Source

A. Eslami[1*] and H. Naghavi[2]

## Abstract

Due to the decline in the quality and quantity of water resources in most part of country a sustainable use of pressurized irrigation systems is required. Herein subsurface drip irrigation as one of the micro irrigation system has been introduced, which reduces evaporation from the surface of soil. Hence, a research project with two treatments of emitter discharge (2, 3.6 liters per hour) and 2 depths of emitter installation from soil surface (30 and 45 cm) were conducted in a soil devoid of vegetation in Kerman research station. The aim of the project was study the effect of the installation depth and discharge of emitter on variation of soil moisture distribution. The results showed that in sandy loam soil texture and according to the properties of soil capillaries, major of water movement has been from emitter installation depth on 30 cm toward soil surface layer. While at emitter installation depth on 45 cm, curves of soil moisture pattern in horizontal and vertical direction were symmetric modes. Also, the emitter discharge increased from 2 to 3.6 lph at a depth of 30 cm, increases the lateral movement of water in the soil, but in the installation depth of 45 cm, significantly due to changes has been in soil moisture in the lower layers as well.

**Keywords:** Reduce evaporation, subsurface drip irrigation, wet distribution pattern, wet zon.

[1] Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars, AREEO, Shiraz, Iran (*Corresponding Author: amireslami.50@gmail.com)
[2] Research Assistant of Soil and Water Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center of Kerman; AREEO, Kerman, Iran.

Received: Feb 13, 2017
Accepted: Sep 13, 2017