

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر شیب، دبی و بافت خاک بر گسترش جبهه رطوبتی در خاک‌های همگن از منبع نقطه‌ای

ناصر رمضان‌عزیزی^۱، عسکری تشکری^{۲*}، عیسی معروف‌پور^۳، صمد امامقلی‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

چکیده

برای بررسی جبهه پیشروی رطوبت خاک، مدل فیزیکی به شکل مکعب مستطیل با ابعاد، ۱۶۰، ۱۲۰ و ۶۰ سانتیمتر به ترتیب طول، ارتفاع و عرض ساخته شد به منظور تأثیر شیب زمین، دبی قطره‌چکان و نوع بافت خاک بر پیشروی جبهه رطوبتی آزمایش‌هایی در سه نمونه خاک با بافت شنی لومی، لومی رسی شنی و رسی در شیب‌ها و دبی‌های متفاوت انجام گردید. نتایج نشان داد که در تمامی آزمایش‌های انجام گرفته بیشترین مقدار حداکثر شعاع خیسیده برای همه شیب‌ها در بافت خاک رسی و پس از آن برای خاک لومی رسی شنی و کمترین مقدار آن برای نمونه خاک شنی لومی ایجاد می‌گردد. حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در آزمایش‌های انجام گرفته بین ۳۷ الی ۱۱۵ سانتیمتر متغیر بوده است. با افزایش دبی قطره‌چکان در شرایط برابر، حداکثر شعاع جبهه رطوبتی افزایش پیدا می‌کند. در تمام آزمایش‌ها با شیب‌های برابر بیشترین عمق نفوذ در محور قطره‌چکان، با حجم ثابت آب کاربردی به ترتیب برای خاک با بافت شنی لومی، لومی رسی شنی و رسی تشکیل شده است. مقدار عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان در آزمایش‌های انجام گرفته بین ۲۷ الی ۶۵ سانتیمتر متغیر بوده است. همچنین با افزایش شیب، عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی تشکیل می‌شود به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود. کمترین مقدار عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی ایجاد می‌گردد برای خاک رسی با دبی قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت در شیب ۲۰ درصد برابر ۴/۵ سانتیمتر و بیشترین مقدار آن برای خاک شنی لومی با دبی قطره‌چکان ۲ لیتر در ساعت و در شیب صفر برابر ۱۹ سانتیمتر می‌باشد. بیشترین درصد مساحت جبهه رطوبتی پایین‌دست قطره‌چکان، در شیب ۲۰ درصد و بافت خاک رسی با دبی قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت، برابر با ۸۱ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، جبهه رطوبتی، دبی قطره‌چکان، سطح شیب‌دار، منبع نقطه‌ای

مقدمه

تبخیر و مرطوب نگه‌داشتن محیط رشد ریشه در حد مطلوب در طول دوره رشد از جمله فواید آن نام برد (علی‌زاده، ۱۳۸۵). سامانه آبیاری قطره‌ای را می‌توان طوری طراحی کرد که در هر نوع توپوگرافی حتی در اراضی با شیب زیاد مورد استفاده قرار گیرد (ضیاء تبار احمدی، ۱۳۷۱). ابعاد جبهه رطوبتی و داشتن اطلاعات دقیق و کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک، در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نقش مهمی دارد (Zhenjie et al., 2017). این ابعاد تأثیر قابل توجهی در کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان زراعی دارند، اگر ابعاد پیاز رطوبتی کمتر از حد مورد نیاز گیاه باشد، گیاه نمی‌تواند آب کافی را جذب نماید که این امر موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴). اگر چنانچه ابعاد پیاز رطوبتی بیش از حد مورد نیاز گیاه باشد باعث تلفات آبیاری می‌شود بنابراین با اصلاح ابعاد پیاز رطوبتی می‌توان راندمان کاربرد را افزایش داد. اولین گام برای تضمین آبیاری با راندمان بالا، اندازه‌گیری ابعاد پیاز رطوبتی است (وجدانی و

استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای که برخی ویژگی‌های آن باعث تمایز این روش، با سایر روش‌های آبیاری شده است که از آن جمله می‌توان به بالا بودن پتانسیل راندمان مصرف آب، مرطوب نکردن تمام سطوح خاک که نتیجه آن کاهش هدر رفت آب به وسیله

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران

۴- دانشیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(Email: tash2447@gmail.com)

* - نویسنده مسئول:

همکاران، ۱۳۸۷).

در ابتدای پیشروی جبهه رطوبتی مؤلفه افقی با سرعت زیاد پیشروی می‌کند ولی با گذشت زمان از این سرعت پیشروی کاسته می‌شود (Clothier et al, 1985).

با افزایش دبی قطره‌چکان سطح خیس شده افزایش می‌یابد و برای بافت خاک سنگین، در شیب‌های بالای ۵ درصد تغییرات سطح خیس شده با افزایش دبی افزایش می‌یابد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۷۷). با افزایش دبی قطره‌چکان سطح خیس شده افزایش پیدا می‌کند. در خاک با بافت سنگین جبهه رطوبتی سطحی‌تر شده و در خاک با بافت سبک عمق جبهه رطوبتی بیشتر می‌شود (پروانک بروجنی و همکاران، ۱۳۸۶).

مطالعات فراوانی روی عوامل مؤثر بر ابعاد جبهه رطوبتی با استفاده از مدل‌های تجربی و عددی انجام شده است (Autovino et al., 2018; Karimi et al., 2019; Karimi et al., 2020; Kumar et al., 2021). این تحقیق با هدف بررسی اثر شیب، دبی و بافت‌های متفاوت خاک نسبت به پیشروی جبهه رطوبتی خاک، خصوصاً در اراضی شیب‌دار با به افت‌های متفاوت و مقایسه آن با حالت مسطح برنامه‌ریزی شده است و با توجه به اینکه در شرایط مزرعه نوع و تعداد قطره‌چکان‌ها برای هر گیاه متفاوت می‌باشد دست یافتن به یک اصول و مبانی کلی در قالب موضوعی علمی می‌تواند علاوه بر گسترش مرزهای دانش، باعث افزایش آگاهی ما از گسترش جبهه رطوبتی در شرایط مختلف باشد.

مواد و روش‌ها

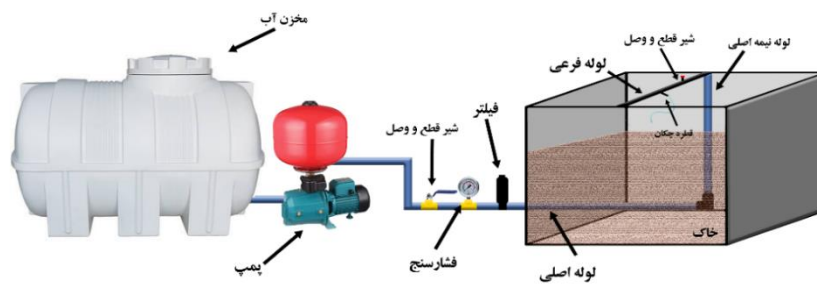
برای بررسی جبهه پیشروی رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای، یک مدل فیزیکی به شکل مکعب و با ابعاد، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ سانتیمتر به ترتیب عرض، ارتفاع و طول ساخته شد. در قسمت عرض برای تخلیه آسان خاک یک درب تعبیه شده تا در مرحله تخلیه خاک با مشکل روبه‌رو نشویم و کار تخلیه با سرعت بیشتری انجام گردد. جنس مدل فلزی بوده فقط قسمت جلوی آن برای مشاهده پیاز رطوبتی، از جنس شیشه سکوریت شفاف با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شده و برای جلوگیری از جریان غیرمعمول بر صفحه شیشه، سطح آن را به وسیله دانه‌های شن و با استفاده از چسب شفاف پوشانده به طوری که دیگر حالت صاف و صیقلی نداشته باشد.

برای طراحی سامانه آبیاری، آب موردنیاز از لوله‌کشی آب شهری به داخل مخزن ذخیره ریخته شده و به وسیله پمپ به لوله هدایت می‌شود. از لوله پلی‌اتیلن ۳۲ میلی‌متری برای لوله اصلی، ۲۰ میلی‌متری برای نیمه اصلی و ۱۶ میلی‌متری برای لوله‌های لترال استفاده شده است. در شکل ۱ تمام اجزای بکار رفته در سامانه آبیاری نشان داده شده است. شکل ۲ مدل فیزیکی در حین کار نشان می‌دهد.

بیشتر زمین‌های کشاورزی تحت کشت در اکثر مناطق دنیا دارای شیب بیش از ۵ درصد می‌باشند (Bodhinayake and Xioa, 2004). توپوگرافی و شیب زمین روی خصوصیات هیدرولیکی خاک از قبیل توزیع رطوبت و شدت نفوذپذیری اثر دارد (Patel and Rajput, 2009). اگر دبی قطره‌چکان زیاد باشد آب در سطح زمین جاری خواهد شد همچنین مقدار شیب زمین در یکنواختی توزیع آب، تأثیر فراوان خواهد داشت (علیزاده، ۱۳۸۰). با افزایش شیب زمین، مساحت و حجم پیاز رطوبتی در مدت‌زمان آبیاری ثابت افزایش می‌یابد. توزیع جبهه پیشروی در بالادست و پایین‌دست پیاز رطوبتی در شیب صفر درصد، متقارن ولی در اراضی شیب‌دار نامتقارن می‌باشد (محمدمدی و همکاران، ۱۳۹۱). در اراضی شیب‌دار الگوی خیس شدگی برای یک منبع نقطه‌ای در هر زمان می‌تواند بیضی باشد به طوری که شکل حجم خیس شده به صورت یک نیم بیضی می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴؛ Hachum et al, 1976). اثر شیب بر میزان نفوذ و مقدار رواناب سطحی نشان می‌دهد که با افزایش شیب زمین مقدار نفوذ آب در خاک کاهش می‌یابد (Haggard et al, 2005; Huat et al, 2006). در حالت‌های شیب‌دار پیشروی جبهه رطوبتی در پایین‌دست قطره‌چکان بیشتر از بالادست آن می‌باشد. در بافت سنگین اثر شیب نمایان تر از بافت سبک است از عوامل کشیده شدن الگوی خیس شده به سمت شیب، جمع شدن نیروی ثقل و مویینه در پایین‌دست قطره‌چکان و بازدارنده بودن نیروی ثقل در بالادست آن می‌باشد (تیشه زن و موسوی، ۱۳۸۵). با افزایش شیب، مساحت پیاز رطوبتی افزایش و عمق خیس شدگی در محور قطره‌چکان کاهش پیدا می‌کند و درصد پیاز رطوبتی در پایین‌دست قطره‌چکان به حدود ۸۰ درصد افزایش می‌یابد (تمجید و همکاران، ۱۳۹۲).

شریفی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی اثر شیب زمین، دبی قطره‌چکان و مدت‌زمان آبیاری در خاک با بافت لومرسی سیلتی را مورد بررسی قرار دادند و با توجه به تغییرات الگوی خیس شده در اراضی شیب‌دار مشاهده کردند که در اثر شیب، پیاز رطوبتی به سمت پایین‌دست منحرف و کشیده‌تر شده است همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان، از سرعت گسترش رطوبت کاسته می‌شود.

هنگام شروع پیشروی جبهه رطوبتی، نیروی موئینگی الگوی خیس شدگی را کنترل نموده و با افزایش عمق خیس شدگی، تأثیر نیروی ثقل بیشتر می‌شود. جبهه خیس شده با دبی‌های کم نسبتاً عمیق‌تر و با دبی‌های بیشتر، پیشروی افقی افزایش می‌یابد (Rahimzadegan, 1977). هنگام آبیاری در زمین‌های دارای شیب، مؤلفه افقی جریان که به صورت سطحی می‌باشد، غالب بوده و مؤلفه عمودی با افزایش شیب کاهش می‌یابد (Hoover, 1985).



شکل ۱- نمای مدل فیزیکی به همراه اتصالات مربوطه



شکل ۲- مدل فیزیکی در حین کار

مواد آلی و هر نوع مواد زائد دیگری باشد تهیه گردید و با سرند کردن خاک‌ها، سنگ‌ریزه‌ها از آن تفکیک گردید. طبق مثلث بافت خاک و به روش هیدرومتری نمونه خاک‌ها به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. در هنگام پر کردن مدل، خاک به صورت لایه به لایه به ضخامت حدود ۱۰ سانتیمتر روی آن ریخته شده و با یک ماله چوبی به آرامی کوبیده شده است. در تمام مراحل آزمایش متراکم کردن خاک‌ها به یک اندازه بوده است.

شیب طولی خاک ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد و شیب عرضی صفر درصد بود. آزمایش‌ها با ۳ دبی ۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت انجام شد. از قطره-چکان‌های تنظیم شونده فشار شرکت نتافیم در این تحقیق استفاده شده است. برای کنترل بهتر بر روی نقطه ریزش قطره‌چکان از یک لوله نازک (شلنگ سرم پزشکی) استفاده شده و نقطه خروجی آن را در فاصله حدوداً ۲ سانتیمتری از سطح خاک و شیشه قرار داده شده است.

در این تحقیق ۳ نوع خاک با بافت‌های مختلف به طوری که فاقد

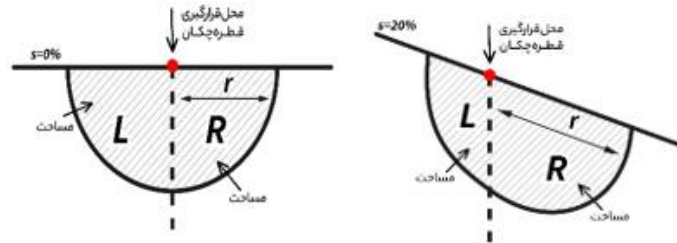
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق

هدایت هیدرولیکی $K_s (\frac{cm}{hr})$	چگالی ظاهری $\rho_b (\frac{gr}{cm^3})$	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	نمونه خاک
۰/۸	۱/۳۵	۴۷	۲۴	۲۹	رسی	بافت سنگین
۰/۹۵	۱/۳۹	۲۹	۱۸	۵۳	لومی رسی شنی	بافت متوسط
۰/۹۶	۱/۵۵	۱۱	۵	۸۴	شنی لومی	بافت سبک

۱۸۰ دقیقه ترسیم شد. حجم آب آبیاری تمامی آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۴ لیتر بود. در هر آزمایش خطوط تراز در دوره‌های زمانی ذکر شده با استفاده از ماژیک وایت بورد بر روی شیشه سکوریت ترسیم می‌شود. با فراهم کردن تصاویر الگوی خیس شده‌گی و با

جبهه پیشروی قطره‌چکان ۲ لیتر در ساعت در ۸ دوره زمانی ۵، ۲۵، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ دقیقه، قطره‌چکان ۴ لیتر در ساعت در ۷ دوره زمانی ۵، ۲۵، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ دقیقه و قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت در ۶ دوره زمانی ۵، ۲۵، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و

دست قطره‌چکان نشان داده شده است که در آن (r) حداکثر شعاع جبهه رطوبتی، (R) مساحت جبهه رطوبتی در جهت پایین دست قطره-چکان و (L) مساحت جبهه رطوبتی در جهت بالادست قطره‌چکان در حالت مسطح و شیب‌دار می‌باشد.



شکل ۳- نمادهای استفاده شده برای ابعاد جبهه رطوبتی در این تحقیق

سنگین سطحی‌تر بوده و برای خاک با بافت سبک جبهه رطوبتی، عمیق‌تر از بافت متوسط و سنگین می‌باشد که با نتایج پروانک بروجنی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

نتایج به دست آمده از شکل ۵ نشان داد که در اوایل آزمایش مؤلفه افقی با سرعت زیادتری در جهت شیب پیشروی می‌کند ولی با گذشت زمان از سرعت پیشروی کاسته می‌شود که با نتایج شریف نیا و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. در تمامی حالات مقدار حداکثر شعاع جبهه پیشروی در بافت سنگین از بافت سبک بیشتر می‌باشد و در کل می‌توان بیان کرد که در بافت سنگین اثر شیب در تشکیل حداکثر شعاع جبهه رطوبتی، نمایان‌تر از بافت متوسط و سبک است که با نتایج تیشه زن و موسوی (۱۳۸۵)، مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۷۷) مطابقت دارد.

بررسی عمق جبهه رطوبتی در راستای قطره‌چکان

نتایج مربوط به گسترش عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان در ۳ نمونه بافت خاک و شیب‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد، دبی ۲،۴ و ۸ لیتر بر ساعت و در حجم آبیاری ثابت ۲۴ لیتر در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کمترین میزان عمق خیس شده در زیر قطره‌چکان مربوط به خاک با بافت سنگین (رسی) بوده و بیشترین میزان عمق خیس شده جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان مربوط به نمونه خاک با بافت سبک (شنی لومی) می‌باشد. بیشترین عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر در ساعت، برای خاک سبک در شیب صفر برابر ۶۵ سانتیمتر و کمترین عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان با دبی ۸ لیتر در ساعت برای خاک سنگین در شیب ۲۰ درصد برابر ۳۷ سانتیمتر می‌باشد. در تمامی حالت‌ها با شیب‌های برابر بیشترین عمق نفوذ در راستای قطره‌چکان با حجم ثابت آب کاربردی به ترتیب برای خاک با بافت سبک، متوسط و سنگین اتفاق می‌افتد. همان‌طوری که در شکل شماره ۷ نشان داده

وارد کردن مختصات نقاط در کاغذ شطرنجی و همچنین با استفاده از نرم‌افزار اتوگد و اکسل (2016) الگوی ابعاد جبهه رطوبتی محاسبه و ترسیم گردید. در شکل ۳ نمادهای استفاده شده برای حداکثر شعاع جبهه رطوبتی و مساحت جبهه رطوبتی در جهت پایین دست و بالا-

نتایج و بحث

بررسی حداکثر شعاع جبهه رطوبتی

نتایج مربوط به تأثیر شیب زمین و نوع بافت خاک بر پیشروی جبهه رطوبتی در ۳ نمونه خاک (سبک، متوسط و سنگین) در شیب‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد و با دبی ۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت و برای حجم آب آبیاری ثابت ۲۴ لیتر در شکل ۴ نشان داده شده است. کمترین مقدار حداکثر شعاع جبهه رطوبتی برای دبی قطره‌چکان ۲ لیتر در ساعت در خاک با بافت سبک و دارای شیب صفر، برابر ۳۷ سانتیمتر می‌باشد و بیشترین مقدار حداکثر شعاع جبهه رطوبتی برای دبی قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت در خاک با بافت سنگین و با شیب ۲۰ درصد، برابر ۱۱۵ سانتیمتر می‌باشد.

نتایج به دست آمده از شکل ۴ نشان می‌دهد که در هر سه نمونه خاک در حالت شیب‌دار، حداکثر شعاع جبهه رطوبتی به طرف پایین دست قطره‌چکان بیشتر از حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در قسمت بالادست آن می‌باشد، همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شیب، شعاع جبهه رطوبتی در قسمت پایین دست جبهه رطوبتی برای حجم آب آبیاری یکسان با افزایش همراه بوده است. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، تمجید و همکاران (۱۳۹۲) و Patel and Rajput (2009) مطابقت لازم را دارد. در تمامی آزمایش‌های انجام گرفته بیشترین مقدار حداکثر شعاع خیس شده برای تمامی حالت‌های شیب، برای بافت خاک سنگین و پس از آن برای خاک متوسط و کمترین مقدار آن برای نمونه خاک سبک ایجاد می‌گردد. با افزایش دبی قطره‌چکان در شرایط برابر، حداکثر شعاع جبهه رطوبتی افزایش پیدا می‌کند این افزایش در حالت شیب‌دار و برای بافت خاک سنگین بیشتر از خاک با بافت متوسط و پس از آن برای خاک با بافت سبک می‌باشد. جبهه رطوبتی در خاک با بافت

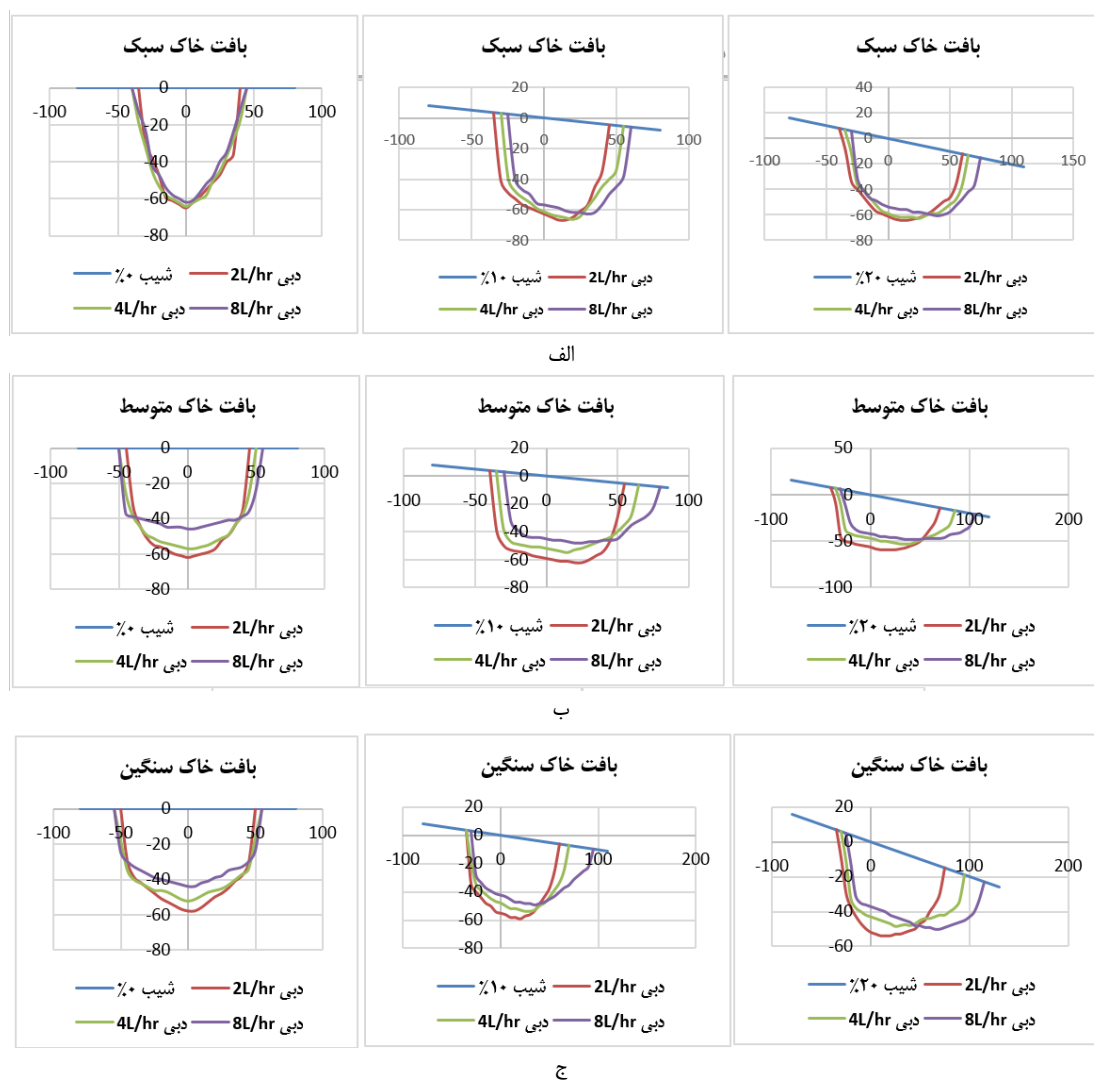
سانتیمتری نسبت به سطح زمین ایجاد شده است. بیشترین عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در آن تشکیل می‌شود مربوط می‌شود به بافت سبک و در شیب صفر درصد که برابر ۱۹ سانتی‌متر می‌باشد و کمترین عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی تشکیل می‌شود مربوط می‌شود به خاک سنگین با شیب ۲۰ درصد که برابر با ۴/۵ سانتیمتر می‌باشد.

نتایج نشان داد که با افزایش دبی در شرایط برابر آزمایش، عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی ایجاد می‌گردد، کاهش می‌یابد. با افزایش شیب، عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی ایجاد می‌گردد کمتر شده، بنابراین هر چه شیب بیشتر شود عمق حداکثر شعاع جبهه رطوبتی به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود که این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات پروانک بروجنی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

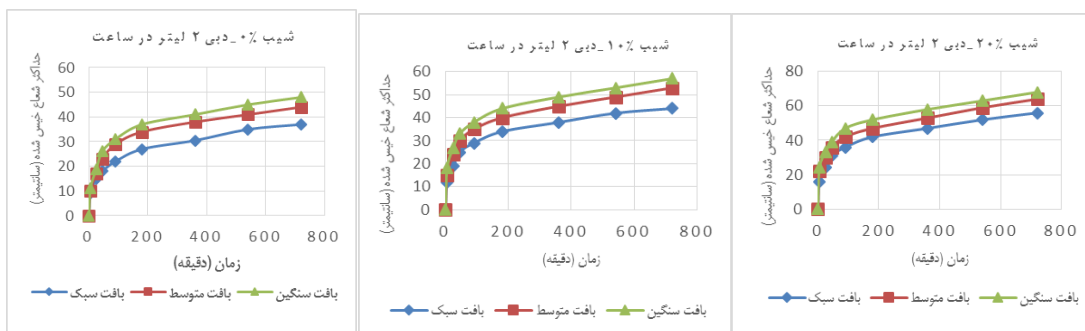
شده با افزایش شیب، عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان کاهش اندکی پیدا می‌کند که این نتیجه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات (محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، تمجید و همکاران (۱۳۹۲)، Hoover (1985)، Haggard et al (2005)، Huat et al (2006) مطابقت دارد.

مقایسه عمق حداکثر شعاع جبهه رطوبتی

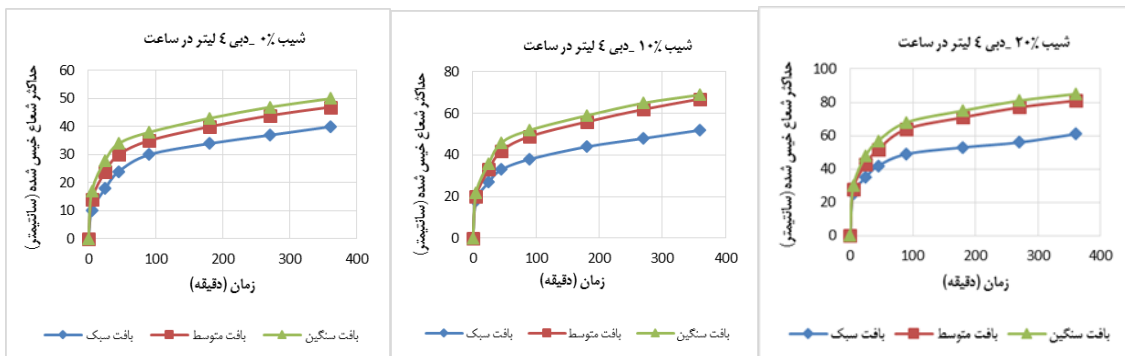
نتایج مربوط به اندازه‌گیری عمق حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در سه نمونه خاک و در شیب‌ها و دبی‌های مختلف برای حجم آب آبیاری ثابت ۲۴ لیتر در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که این عمق برای خاک با بافت سبک در فاصله‌ی بین ۸/۵ تا ۱۹ سانتیمتری، برای خاک با بافت متوسط در فاصله‌ی بین ۶ تا ۱۷ سانتیمتری، برای خاک با بافت سنگین در فاصله‌ی بین ۴/۵ تا ۱۴



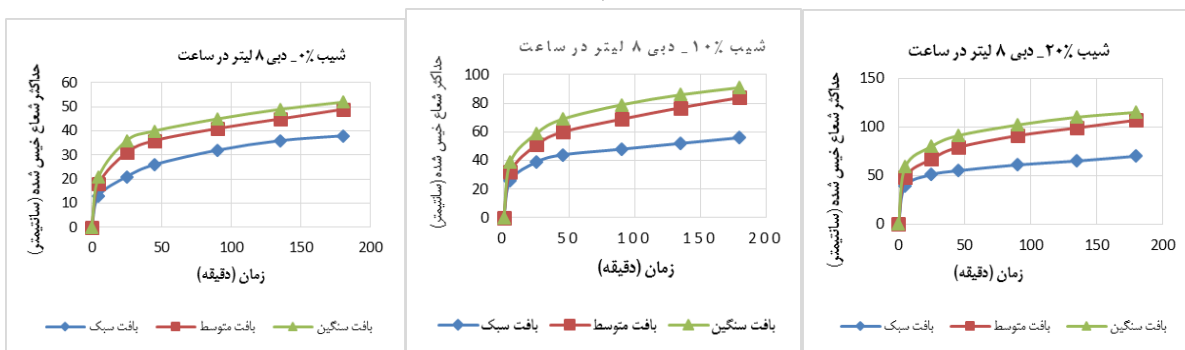
شکل ۸- تأثیر میزان دبی و شیب بر گسترش جبهه رطوبتی در خاک (الف) بافت شنی لومی، (ب) بافت لومی رسی شنی و (ج) بافت رسی



الف



ب



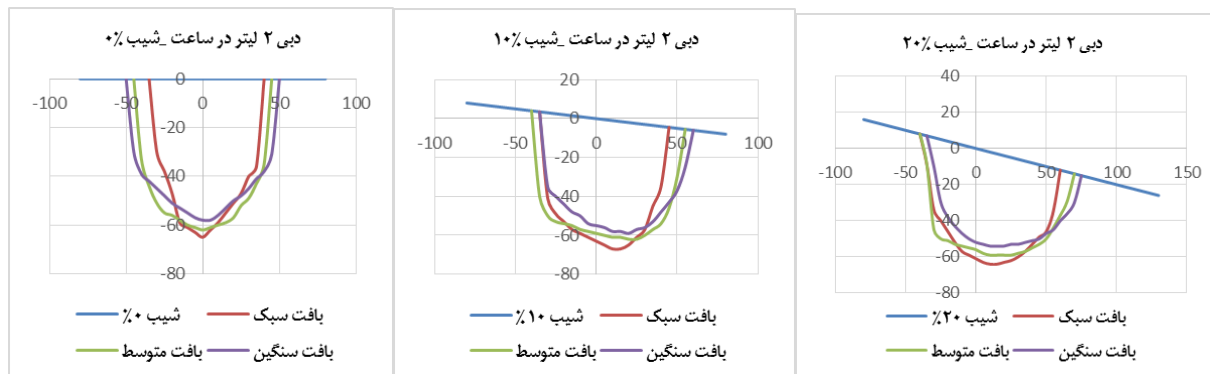
ج

شکل ۵- پیشروی حداکثر شعاع خیس شده در مدت آزمایش (الف) دبی ۲ لیتر در ساعت، (ب) دبی ۴ لیتر در ساعت و (ج) دبی ۸ لیتر در ساعت

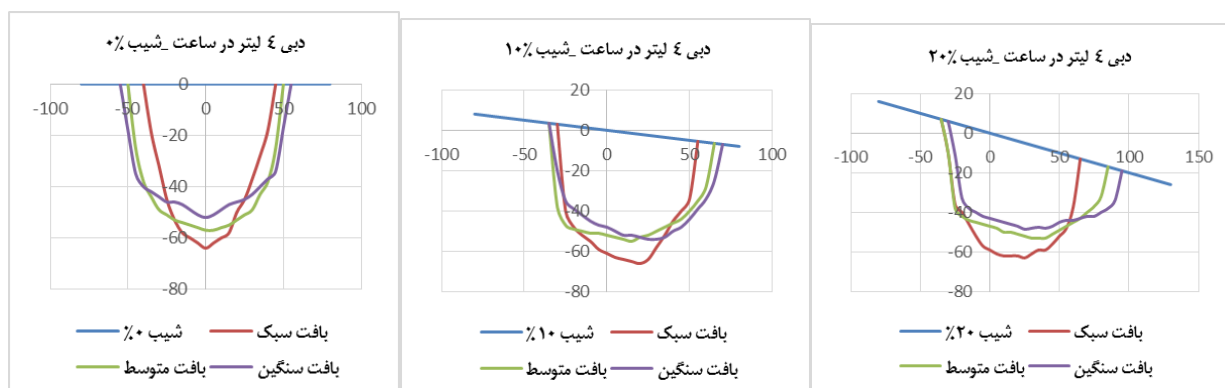
بررسی مساحت جبهه رطوبتی

نتایج مربوط به مساحت جبهه رطوبتی در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مساحت جبهه رطوبتی برای شرایط برابر به ترتیب برای بافت خاک سبک، متوسط و سنگین افزایش می‌یابد به طوری که مساحت جبهه رطوبتی برای دبی ۴ لیتر در ساعت و شیب ۱۰ درصد از ۳۷۰۰ سانتی‌متر مربع برای خاک سبک، به ۴۲۰۰ سانتی مترمربع در بافت خاک متوسط و ۴۴۰۰ سانتی‌مترمربع برای بافت خاک سنگین تغییر می‌کند. با افزایش دبی از ۲ به ۴ و ۸ در شرایط برابر، از مساحت جبهه رطوبتی کاسته می‌گردد به طوری که مساحت

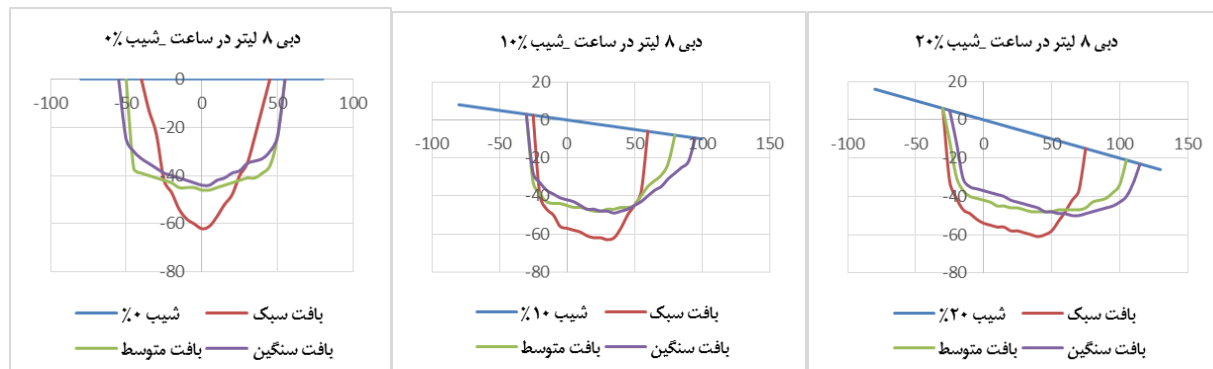
جبهه رطوبتی برای بافت متوسط از ۴۳۵۰ سانتی‌مترمربع برای دبی ۲ لیتر در ساعت، به ۴۲۰۰- برای دبی ۴ لیتر در ساعت و ۳۸۵۰ سانتی مترمربع در دبی ۸ لیتر در ساعت تغییر می‌کند. مساحت جبهه رطوبتی برای بافت خاک سبک و دبی ۲ لیتر در ساعت از ۳۵۰۰ سانتی‌مترمربع در شیب صفر، به ۳۹۰۰ سانتی-متر-مربع در شیب ۱۰ درصد و ۴۵۰۰ سانتی‌مترمربع در شیب ۲۰ درصد تغییر کرده است نتایج نشان دادند که با افزایش شیب بر میزان مساحت جبهه رطوبتی افزوده شده که این نتایج با تحقیقات محمدی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد.



الف



ب



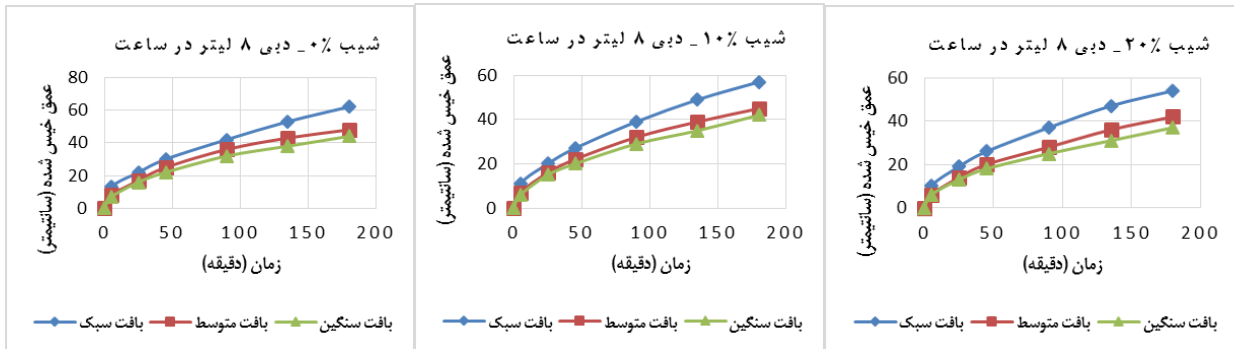
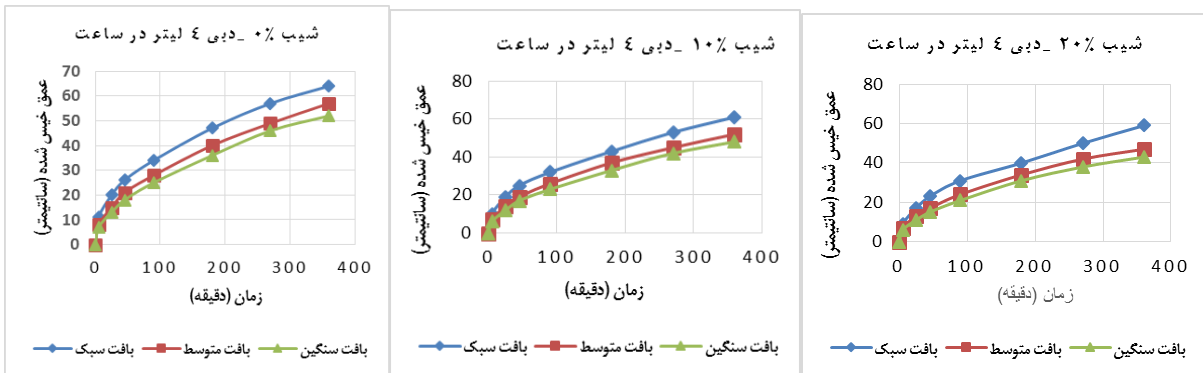
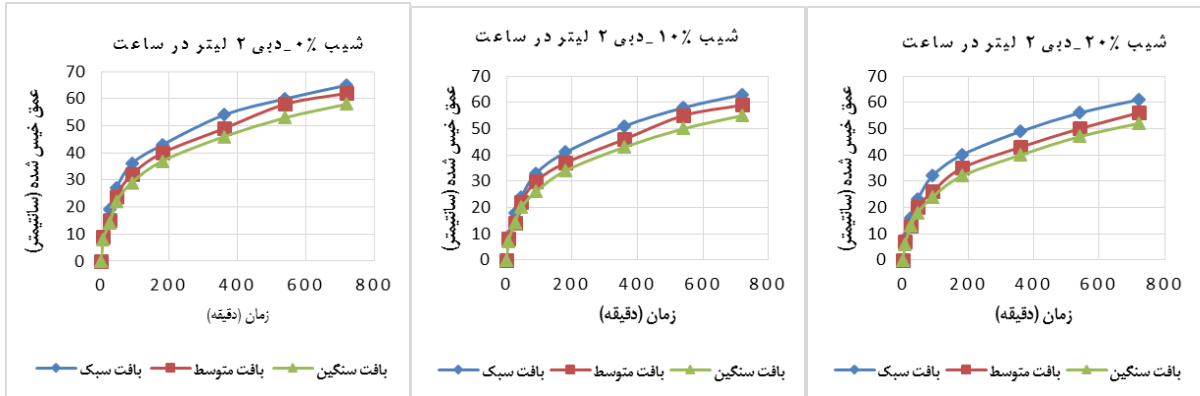
ج

شکل ۶- تأثیر بافت خاک و شیب بر پیشروی جبهه رطوبتی در خاک

(الف) دبی ۲ لیتر در ساعت، (ب) دبی ۴ لیتر در ساعت و (ج) دبی ۸ لیتر در ساعت

جدول ۲- درصد مساحت جبهه رطوبتی دو طرف قطره چکان در بافت خاک سبک

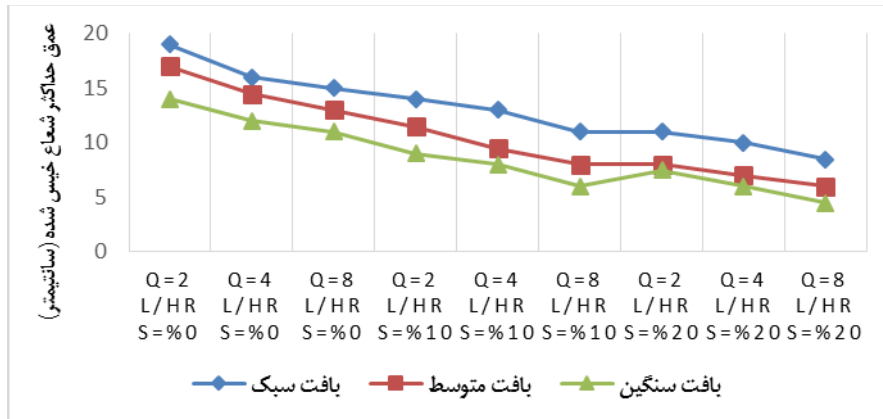
شیب ۲۰٪		شیب ۱۰٪		شیب ۰٪		دبی (L/hr)
L	R	L	R	L	R	
۳۷	۶۳	۴۰	۶۰	۴۹	۵۱	۲
۳۲	۶۸	۳۸	۶۲	۴۸	۵۲	۴
۲۸	۷۲	۳۴	۶۶	۵۱	۴۹	۸



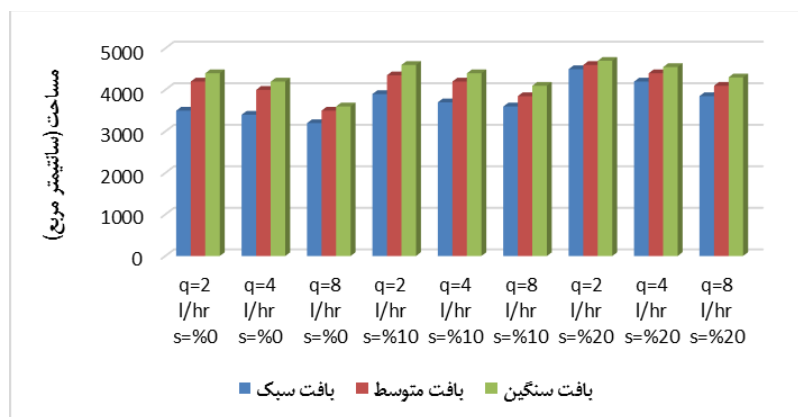
شکل ۷- عمق خیس شده زیر قطره‌چکان در طول مدت آزمایش (الف) دبی ۲ لیتر در ساعت، (ب) دبی ۴ لیتر در ساعت و (ج) دبی ۸ لیتر در ساعت

جدول ۳- درصد مساحت جبهه رطوبتی دو طرف قطره‌چکان در بافت خاک متوسط

دبی (L/hr)	شیب ۰٪		شیب ۱۰٪		شیب ۲۰٪	
	L	R	L	R	L	R
۲	۳۴	۶۶	۳۸	۶۲	۴۹	۵۱
۴	۳۰	۷۰	۳۵	۶۵	۵۱	۴۹
۸	۲۴	۷۶	۳۰	۷۰	۴۸	۵۲



شکل ۸- عمق حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در دبی‌ها و شیب‌های مختلف



شکل ۹- مساحت جبهه رطوبتی ایجادشده با ۲۴ لیتر آب پس از اتمام زمان آبیاری

مقایسه درصد مساحت دو طرف قطره‌چکان

درصد مساحت جبهه رطوبتی پایین دست و بالادست قطره‌چکان‌ها در دبی‌ها و شیب‌های مختلف در جداول ۲ الی ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شیب بر میزان مساحت پایین دست قطره‌چکان (R) افزوده می‌شود و همچنین از میزان مساحت بالادست قطره‌چکان (L) کاسته می‌شود. در خاک‌های شیب‌دار در شرایط برابر با افزایش دبی قطره‌چکان به مساحت قسمت پایین دست قطره‌چکان افزوده و از مساحت قسمت بالای قطره‌چکان کاسته می‌شود. درصد مساحت جبهه رطوبتی پایین دست قطره‌چکان (R) برای دبی ۸ لیتر در ساعت و شیب ۲۰ درصد برای بافت خاک سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر ۷۲، ۷۶ و ۸۱ درصد می‌باشد. درصد مساحت جبهه

رطوبتی بالادست قطره‌چکان (L) برای دبی ۴ لیتر در ساعت و شیب ۱۰ درصد برای بافت خاک سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر ۳۸، ۳۵ و ۳۱ درصد می‌باشد.

در سطوح مسطح جبهه رطوبتی به شکل دایره می‌باشد اما در سطوح شیب‌دار جبهه رطوبتی به شکل بیضی در آمده و هنگامی که جبهه رطوبتی به شکل بیضی درمی‌آید، مساحت خیس شده در پایین دست قطره‌چکان بیش تر از مساحت خیس شده در بالادست قطره‌چکان می‌شود که این نتیجه با تحقیقات حیدری و همکاران (۱۳۹۴)، محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، شریف نیا و همکاران (۱۳۸۹) و Moncef and Khemaies (2016) مطابقت دارد.

جدول ۴- درصد مساحت جبهه رطوبتی دو طرف قطره‌چکان در بافت خاک سنگین

دبی (L/hr)		شیب ۱۰٪		شیب ۲۰٪	
L	R	L	R	L	R
۲	۵۲	۴۸	۴۸	۳۴	۶۶
۴	۵۱	۴۹	۴۹	۳۱	۶۹
۸	۴۸	۵۲	۴۸	۲۷	۷۳

نتیجه‌گیری

شیب زمین یکی از اصلی‌ترین عوامل گسترش جبهه رطوبتی در قسمت پایین‌دست قطره‌چکان و عامل بازدارنده گسترش آن در قسمت بالادست قطره‌چکان می‌باشد. گسترش رطوبت در اراضی دارای شیب برخلاف اراضی با شیب صفر، در جهت نیروی ثقل نمی‌باشد. در اراضی مسطح نیروی ماتریک موجب گسترده‌گی رطوبت در جهت افقی و نیروی ثقل جبهه رطوبتی را به سمت پایین هدایت می‌کند ولی در سطح شیب‌دار گسترش رطوبت در جهت بالادست تحت تأثیر دو نیروی ماتریک و ثقل بوده که نیروی ماتریک رطوبت را به سمت بالادست هدایت می‌کند اما نیروی ثقل از حرکت به سمت بالا- دست جلوگیری می‌کند. همچنین به علت عدم غلبه‌ی نیروی ماتریک بر نیروی ثقل در حرکت روبه بالا، از پیشروی در بالادست سطوح شیب‌دار کاسته می‌شود. در بافت خاک سنگین اثر شیب بر پیشروی جبهه رطوبتی به سمت پایین‌دست نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشتر است که به دلیل سرعت نفوذ کمتر و ایجاد رواناب در جهت شیب می‌باشد. بیشترین مقدار حداکثر شعاع خیس شده برای همه شیب‌ها برای بافت خاک سنگین (رسی) و کمترین مقدار آن برای نمونه خاک سبک ایجاد گردید. لذا توصیه می‌شود که در شیب‌های زیاد و خاک‌های با بافت سنگین از قطره‌چکان‌های با دبی کمتر استفاده شود تا زمان بیشتری برای نفوذ داشته باشد و با این روش نفوذ عمقی بیشتر شده و از رواناب نیز جلوگیری شود.

کمترین میزان عمق خیس شده در زیر قطره‌چکان مربوط به خاک با بافت سنگین (رسی) بوده و بیشترین میزان عمق خیس شده جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان مربوط به نمونه خاک با بافت سبک می‌باشد. با افزایش شیب، عمق جبهه رطوبتی در زیر قطره‌چکان کاهش اندکی پیدا می‌کند و به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تأثیر شیب در بافت‌های یکسان خاک بر حداکثر شعاع جبهه پیشروی، بیشتر از عمق خیس شده در زیر قطره‌چکان می‌باشد. با افزایش شیب، عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در آن تشکیل می‌شود کمتر شده به عبارت دیگر هر چه شیب بیشتر شود عمقی که در آن حداکثر شعاع جبهه رطوبتی در آن تشکیل می‌شود به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود.

الگوی خیس شده رطوبت خاک به دلایل مدیریت بهینه مصرف آب، افزایش راندمان کاربرد آب و جلوگیری از هدر رفت آب دارای اهمیت می‌باشد لذا توصیه می‌شود در پژوهش‌های بعدی از دبی‌ها و حجم آب کاربردی متفاوت و همچنین استفاده از خاک‌های ناهمگن با نوع قرارگیری متفاوت چه به صورت افقی و عمودی در آزمایش‌ها استفاده شود تا با کنار هم قرار دادن این نتایج به یک دید کلی از پیشروی جبهه رطوبتی در شرایط مختلف برسیم.

منابع

- اسماعیلی، ا.، سلطانی محمدی، ا. و برومند نسب، س. ۱۳۹۴. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای نواری در اراضی شیب‌دار. مجله علمی کشاورزی، علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹ (۱): ۱۹۰-۱۸۱.
- پروانک بروجنی ک.، فتحی نافچی ر. و موسوی س. ف. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر بافت خاک و دبی آب آبیاری بر الگوی نفوذ آب از یک منبع نقطه‌ای. ۳ (۱۰): ۱۰۱-۸۶.
- تمجید، م.، بیگلویی، م. ح.، خالدیان، م. ر.، مرید نژاد، ع. و محمدی، ع. ۱۳۹۲. مقایسه رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. نشریه دانش آب‌و خاک. ۲۴ (۴): ۲۷۳ - ۲۴۶.
- تیشه زن، پ. و موسوی، ف. ۱۳۸۵. بررسی پیشروی جبهه رطوبتی تحت منبع نقطه‌ای در خاک‌های مطبق با سطوح شیب‌دار، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران.
- حیدری، ز.، فراستی، م. و قبادیان، ر. ۱۳۹۴. اثر شیب بر پیاز رطوبتی خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و شبیه‌سازی با مدل HYDRUS-2D مدیریت آب آبیاری. ۵ (۲): ۲۸۸ - ۲۷۷.
- شریف نیا، ر.، میرزایی، ف. و لیاقت، ع. م. ۱۳۸۹. بررسی سطح و حجم خاک خیس شده در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۲): ۱۹۲ - ۱۸۲.
- ضیاء تبار احمدی، م. ۱۳۷۱. آبیاری قطره‌ای. چاپ اول، انتشارات دانشگاه مازندران، ۳۳۹ صفحه.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. جلد دوم، چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۶۷ صفحه.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۰. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. دانشگاه امام رضا (ع) مشهد. ۱۶۸-۱۵۷ و ۳۸۵-۳۸۴.
- محمدی، ع.، بیگلویی، م. ح.، خالدیان، م. ر.، مرید نژاد، ع. و رجبی، ج. ۱۳۹۱. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۷ (۶۶): ۱۲۱-۱۰۹.
- مصطفی‌زاده، ب.، موسوی، ف. و شریف بیان‌الحق، م. ح. ۱۳۷۷. پیشروی جبهه رطوبتی از منبع رطوبتی در سطوح شیب‌دار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۲ (۳): ۲۲-۱۳.
- وجدانی، ن.، بناوند، ع.، مکوندی، ک. و سخایی راد، ح. ۱۳۸۷. تعیین

- Huat, B.B., Ali, F.H. and Low, T.H. 2006. Water infiltration characteristics of unsaturated soil slope and its effect on suction and stability. *Geotechnical and Geological Engineering*. 24(5): 1293-1306.
- Karimi, B. and Alinazari, F. 2019. Simulation of full shape of wetting bulb in subsurface drip irrigation system with nonlinear regression model. 33. 327-338.
- Karimi, B., Mohammadi, P., Sanikhani, H., Salih, S. Q., & Yaseen, Z. M. 2020. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: An enhanced empirical model and artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 178: 105767.
- Kumar, D. S., Sharma, R. and Brar, A. S. 2021. Optimising drip irrigation and fertigation schedules for higher crop and water productivity of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Irrigation Science*. 1-14.
- Moncef, H. and Khemaies, Z. 2016. An analytical approach to predict the moistened bulb volume beneath a surface point source. *Agricultural Water Management*. 166: 123-129.
- Patel, N. and Rajput, T.B.S. 2009. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management*. 95(12): 1335-1349.
- Rahimzadegan, R. 1977. Water movement in field soil from a point source. M.Sc. Thesis, Utah State Univ., Logan, Utah, USA. 1657-1671.
- Zhenjie, Q., Jiusheng L. and Weixia Z. 2017. Effects of lateral depth and irrigation level on nitrate and *Escherichia coli* leaching in the North China Plain for subsurface drip irrigation applying sewage effluent. *Irrigation Science*. 35(6): 469-482.
- فاصله بهینه بین قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای با استفاده از پیاز رطوبتی (مطالعه موردی شبکه آبیاری قطره‌ای دشت هارکله لالی در استان خوزستان). دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران. اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- Autovino, D. Rallo, G. and Provenzano, G. 2018. Predicting soil and plant water status dynamic in olive orchards under different irrigation systems with Hydrus-2D: Model performance and scenario analysis. *Agricultural Water Management*. 203: 225-235.
- Bodhinayake, W., Si, B.C. and Xiao, C. 2004. New method for determining water-conducting macro- and mesoporosity from tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 68(3): 760-769.
- Clothier, B., Scotter, D. and Harper, E. 1985. Three dimensional infiltration and trickle irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering-ASCE*, 25(2) 479-501.
- Hachum, A.Y., Willardson, L.S. and Alfaro, J.F. 1976. Water movement in soil from trickle source. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 102(2): 179-192.
- Haggard, B.E., Moore, P.A. and Brye, K.R. 2005. Effect of slope on runoff from a small variable slope box-plot. *Journal of Environmental hydrology*. 13(25): 1-8.
- Hoover, J.R. 1985. Evaluation of flow pathways in a sloping soil cross section. *Transactions of the ASAE*. 28(5): 1471-1475.

Effects of Slope, Flow Rate and Soil Texture on Expansion of the Wetting front in Homogeneous Soils from a Point Source

N. Ramzani Azizi¹, A. Tashakori^{2*}, E. Maroufpoor³, S. Emamgholizadeh⁴

Received: Jun. 16, 2021

Accepted: Aug. 09, 2021

Abstract

A cuboid-shaped physical model with the dimensions of 160 cm×120 cm×60 cm in length, height and width, respectively, was built to study the advance of the wetting front. Experiments were conducted in three soil samples with loamy sand, sandy clay loam and clay textures at different slopes and emitter flow rates to determine the impacts of land slope, emitter flow rate, and soil texture on the advance of the wetting front. The results indicated that, in all the experiments, the largest value for the maximum wetted radius at all slopes was observed in the soil with clay texture followed by that with sandy clay loam and the smallest in the soil with loamy sand texture. The maximum wetting front radius in the experiments varied from 37 to 115 cm. When the other conditions were kept constant, the maximum wetting front radius increased at higher emitter flow rates. When the slope was kept constant, the maximum infiltration depths at the location of the emitter axis at constant volume of irrigation water were that of the soil with loamy sand texture followed by the soil with sandy clay loam texture with the soil with clay texture having the minimum infiltration depth. The depth of the wetting front under the emitter in the experiments varied from 37 to 65 cm. In addition, at higher slopes, the depth at which the maximum wetting front radius occurred was closer to the ground surface. The minimum depth at which the largest wetting front radius occurred was 4.5 cm in the clay soil at emitter rate of 8 L/h and 20% slope and the maximum was 19 cm in the loamy sand soil at emitter flow rate of 2 L/h and 0% slope. The highest percentage of wetted soil downstream of the emitter (81%) was that of the soil with clay texture at emitter flow rate of 8 L/h and 20% slope.

Keywords: Emitter Flow Rate, Point Source, Soil Texture, Sloping Surface, Wetting Front

1- Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

(* - Corresponding Author: Email: tash2447@gmail.com)