Ar
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 570-578

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۵۷۸-۵۷۰

ارائه مدلی برای برآورد ابعاد بخش مرطوب خاک در آبیاری قطره‌ای در خاک‌لایه‌دار به روش آنالیز ابعادی

فرهاد میرزائی اصلی شیرکوهی[۱]، زینب الکثیر[۲*]، احمدرضا معینی قراگوزلو[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

چکیده

در آبیاری قطره‌ای برای بدست آوردن آرایش لاترال‌ها و فواصل بین قطره‌چکان‌ها لازم است شکل پیاز رطوبتی در خاک مد نظر قرار گیرد. توزیع رطوبت در خاک‌های لایه‌دار به دلیل تغییرات در نیروهای اثرگذار (غالباً ثقلی و ماتریک) و تفاوت در حجم منافذ و نفوذپذیری هر لایه، متفاوت با خاک همگن خواهد بود. در تحقیق حاضر ضمن بررسی پیاز رطوبتی در خاک‌های لایه‌دار، به منظور برآورد ابعاد خاک مرطوب، برخی معادلات علمی-تجربی با کمک آنالیز ابعادی و قضیه‌ی π باکینگهام ارائه شد. جهت مشاهده‌ی پیشروی جبهه‌ی رطوبتی، آزمایش‌ها برای شش توالی مختلف از قرارگیری سه بافت خاک سبک، متوسط و سنگین تحت دبی ۴ لیتر در ساعت برای آبیاری قطره‌ای در یک مدل فیزیکی با دیواره‌ی شفاف انجام شد. نتایج نشان داد که الگوی خیس شده تحت تأثیر توالی لایه‌های خاک است. عمق پیشروی خاک در طول مدت آبیاری و برای هر شش تیمار لایه‌بندی خاک تحت دبی ثابت ۴ لیتر در ساعت افزایش یافت. در پایان آبیاری، کمترین عمق پیشروی مربوط به تیمار خاک S_2 (سبک روی متوسط روی سنگین) می‌باشد. بیشترین قطر خیس شده مربوط به تیمار خاک S_2 (دارای کم‌ترین عمق پیشروی) می‌باشد. کمترین قطر خیس شده‌ی خاک در پایان آبیاری مربوط به تیمار S_6 (متوسط روی سنگین روی سبک) می‌باشد که تقریبا عمق پیشروی در این تیمار بیش از تیمارهای دیگر بود. علت این امر را می‌توان اختلاف کم بین بافت‌های متوسط و سنگین دانست. به عبارتی مدت زمان تأخیر جبهۀ رطوبتی برای عبور از مرز مشترک دو لایه کمتر بوده است. اطلاعات بدست آمده در این پژوهش می‌تواند برای طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، پیاز رطوبتی خاک، خاک لایه‌دار، قضیۀ π باکینگهام، منبع نقطه‌ای

مقدمه

در یک سیستم آبیاری قطره‌ای برای انتخاب تعداد قطره چکان برای هر گیاه، فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر باید به شکل پیاز رطوبتی و ابعاد آن توجه لازم مبذول گردد تا هم رطوبت کافی در محدوده گسترش ریشه فراهم آید و هم از فرونشت عمقی یا رواناب سطحی از محدوده ریشه گیاه جلوگیری شود و هم درصد سطح خیس شده در محدوده‌ی قابل قبول قرار گیرد. براساس شکل توزیع رطوبت در خاک می‌توان فاصله قطره‌چکان‌ها را تعیین نمود. به عنوان مثال در خاک‌های شنی به دلیل سرعت عمودی آب و باریک بودن پیاز رطوبتی فاصله قطره‌چکان‌ها را نزدیک‌تر در نظر می‌گیریم در حالی که در خاک‌های رسی به علت حرکت افقی آب و پهن‌تر بودن پیاز رطوبتی فاصله قطره‌چکان‌ها را باید بیشتر در نظر گرفت.

برای اینکه در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای بتوانیم به راندمان مناسبی تری از مصرف آب دست یابیم، فاصله و دبی قطره‌چکان‌ها باید با خصوصیات هیدرولیکی خاک، زمان و مقدار آب لازم برای مصرف گیاه هماهنگ باشد. داشتن اطلاعات مناسب از عرض و عمق خاک خیس شده برای طراحی و مدیریت بهتر سامانه‌های قطره‌ای ضروری است. در شرایط طبیعی در بسیاری موارد ممکن است منطقه توسعه ریشه از خاک غیرهمگن و لایه‌دار تشکیل شده باشد لذا وجود مدل مناسبی جهت تخمین ابعاد توزیع رطوبتی در خاک لایه‌دار امری ضروری می‌باشد.

کلر و همکاران جدولی ارائه کرده‌اند که مساحت خیس شده در زیر هر قطره‌چکان را به ازای دبی ۴ لیتر در ساعت و سه نوع خاک درشت، ریز و متوسط تخمین می‌زنند. نتایج آن‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشد چرا که به ازای دبی‌های کم‌تر یا بیشتر از

۱- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Emil: zeynab.alkasir@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار مذکور سطح خیس شده غیر از مقادیر ذکر شده در جدول می‌باشد. این جدول عمق پیاز رطوبتی را مشخص نمی‌کند، علاوه بر آن جدول ارئه شده توسط آن‌ها فقط سه گروه کلی از خاک‌ها را در نظر می‌گیرد در حالی که ۱۱ کلاس بافت خاک وجود دارد. قطر خاک خیس شده نیز به ازای یک دبی معین نسبت به زمان ثابت نیست، بلکه تغییر می‌کند لذا با استفاده از این گونه جداول امکان برآورد مساحت خیس شده در زمان‌های مختلف آبیاری وجود ندارد (Keller et al., 1990). هاچوم تأثیر حجم مساوی آب آبیاری را بر جبهه رطوبتی ناشی از منبع نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار داد و مشاهده نمود افزایش شدت جریان، موجب افزایش سطح خیس شده و کاهش عمق خیس شده‌ی خاک می‌شود و الگوی خیس‌شدگی دوبعدی برای یک منبع نقطه‌ای در هر زمان، می‌تواند تقریبا به شکل نیم بیضی باشد (Hachum, 1973). کو و توکور آزمایشات مختلفی برای مقایسه میزان رطوبت تحت آبیاری قطره‌ای را بررسی کرده و دریافتند که در خاک‌های با بافت ریز، حرکت جانبی آب نسبت به بافت درشت بیشتر است (Koo and Tucker., 1975). رحیم‌زادگان (۱۹۷۷) مطالعات خود را در مورد حرکت آب در خاک تحت منبع نقطه‌ای انجام داد به این نتیجه رسید که به هنگام شروع جریان آب در خاک، نیروی مویینگی الگوی خیس شدگی را تعیین می‌کند. با افزایش عمق خیس شده، تاثیر نیروی ثقل بیشتر می‌شود (Rahimzadegan, 1977). علی خان و همکاران توزیع آب را در نیمرخ خاک تحت یک منبع نقطه ای سطحی مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که عمق رطوبتی با افزایش بده قطره‌چکان و حجم آب کاربردی، افزایش می‌یابد. در دبی‌های پایین، جبهه رطوبتی عمیق ولی پیشروی کم است. اما در دبی‌های بالاتر، پیشروی افقی افزایش یافته و از عمق نفوذ کمی کاسته می‌شود (khan et al., 1996). توربون و همکاران (۲۰۰۳) شکل توزیع رطوبتی را در خاک با بافت‌ها و ساختمان‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که علاوه بر بافت خاک، ساختمان خاک نیز بر شکل پروفیل رطوبتی تاثیر قابل توجهی خواهد داشت (Thorburn et al., 2003). کوک و همکاران (۲۰۰۳) یک برنامه‌ی نرم‌افزاری تحت عنوان «وت‌آپ» را توسعه دادند که به کمک آن می‌توان الگوی خیس شدگی خاک، حاصل از منبع نقطه‌ای را پیش‌بینی کرد. این مدل به حل تحلیلی معادله‌ی فیلیپ می‌پردازد (cook et al., 2003). تابت و زایانی (۲۰۰۸) نیز تأثیر دبی قطره‌چکان روی پیاز رطوبتی و توزیع رطوبت در خاک متوسط شنی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها روابطی برای تعیین میزان پیشروی جبهه رطوبتی و حجم آن پس از آبیاری ارائه نمودند (Thabet and Zayani., 2008). پلنگی و آخوندعلی (۱۳۸۷) به منظور تخمین شکل ابعاد جبهه رطوبتی ناشی از منبع نقطه‌ای یک پژوهش میدانی در خاک با بافت شنی انجام دادند و حداکثر قطر و عمق پیاز رطوبتی را در زمان‌های مختلف پس از شروع آبیاری برای دبی‌های ۵،۱۰،۲۰،۳۰،۴۰ لیتر در ساعت اندازه‌گیری نمودند و رابطه نیمه تجربی با تأثیر عوامل فیزیکی حاکم بر پیشروی آب در خاک در آبیاری قطره‌ای را به کمک قضیه π باکینگهام و آنالیز ابعادی ارائه دادند. آن‌ها پس از مقایسه‌ی مدل بدست آمده با نتایج مشاهده شده، اظهار کردند که معادلات حاصل، دقت مناسبی در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در خاک‌های همگن و بدون شیب دارند. میرزایی و همکاران (۱۳۸۳) به منظور نمونه‌سازی جبهه رطوبتی، روابطی را با دخالت عوامل فیزیکی موثر بر حجم خاک مرطوب شده در زیر منبع تغذیه خطی و با استفاده از قضیه π باکینگهام و آنالیز ابعادی به دست آوردند. در نهایت این روابط با داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی شد و روابط علمی–تجربی ۱ و۲ به دست آمد که همخوانی بسیار خوبی با نتایج آزمایش‌ها نشان داد. علاوه بر آن معادلات ارائه شده تابعی از زمان هستند و در هر زمان امکان محاسبه قطر و عمق خاک خیس شده وجود دارد.

$$d = 2.123\, q^{0.54}.k_s{}^{-0.08}.t^{0.46} \quad (۱)$$

$$z = 2.281\, q^{0.42}.k_s{}^{0.17}.t^{0.58} \quad (۲)$$

و t مدت زمان آبیاری می‌باشد.

بررسی‌های گسترده‌ای با هدف تخمین ابعاد خیس شده‌ی خاک تحت منبع نقطه‌ای انجام شده و معادلاتی در این زمینه ارائه گردیده است. اما در اغلب روابط لستخراج شده به جهت سهولت کار، خاک همگن و هموژن فرض شده است حال آنکه در شرایط طبیعی، در بسیاری موارد ممکن اسن منطقه‌ی توسعه ریشه از خاک غیرهمگن و لایه‌دار تشکیل شده باشد. از طرفی تعمیم معادلات و مدل‌های مربوط به خاک همگن برای خاک‌های لایه‌دار چندان منطقی به نظر نمی‌رسد چرا که هنگام عبور آب از مرز مشترک دو بافت مختلف، جبهۀ رطوبتی رفتار کاملاً متفاوتی نسبت به خاک همگن خواهد داشت. همچنین پیشروی جبهه رطوبتی در جهت افقی و عمودی نیز تغییرات چشمگیری خواهد داشت. لذا وجود مدل مناسبی جهت تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در خاک لایه‌دار امری ضروری می‌باشد. بنابراین انجام آزمایش‌های تجربی در مزرعه و ایجاد روابطی بین بافت خاک، بده قطره‌چکان، حجم آب نفوذیافته به زمین، حجم خاک خیس شده، قطر و عمق پیاز رطوبتی به منظور دستیابی به روابطی تجربی که بتواند در طراحی و مدیریت یک سیستم آبیاری کمک نماید، ضروری می‌باشد. در این پژوهش، با انجام آزمایش‌های متعدد عملی و مشاهدات عینی، بررسی ابعاد و شکل پیاز رطوبتی در خاک لایه‌دار تحت منبع نقطه‌ای صورت می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

تئوری

یکی از روش‌هایی که در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک مطرح

www.SID.ir

Archive of SID

است روش آنالیز ابعادی است. آنالیز ابعادی یک روش عمومی برای ایجاد ارتباط بین پارامترهای فیزیکی مهم به پدیده‌هایی که آنها را از طریق تحلیلی نمی‌شناسیم است. در این روش با استفاده از قضیه‌ی π باکینگهام و بدست آوردن تعدادی اعداد بی‌بعد و ارتباط بین آنها، معادلاتی حاصل می‌شود که می‌تواند امکان برآورد الگوی جبهه پیشروی و چگونگی توزیع رطوبت و عناصر را فراهم نماید. براساس قوانین حاکم بر حرکت آب در خاک، استنباط این است که شکل هندسی حجم خاک مرطوب شده در اطراف یک منبع تغذیه نقطه‌ای به سرعت نفوذپذیری نهایی (I_b) ، دبی گسیلنده (q) ، کل آب ورودی به خاک (v) و مدت زمان آبیاری بستگی دارد. حداکثر قطر خیس شده‌ی خاک (D) و حداکثر عمق پیشروی جبهه رطوبتی (Z) دو ویژگی مهم برای توصیف حجم خاک مرطوب شده هستند. میرزایی و همکاران (۱۳۸۴) با در نظر گرفتن I_b و q به عنوان متغیرهای تکراری و t، d، z، وv به عنوان متغیرهای غیرتکراری، اعداد بی بعد را تشکیل داده و پس از حل معادلات مربوطه و تعیین ضرائب، سه معادله برای اعداد بی بعد V^*، Z^*، D^* بدست آورد.

$$D^* = d\left(\frac{I_b}{q}\right)^{0.5}$$
$$Z^* = z(\frac{I_b}{q})^{0.5} \quad (۳)$$
$$V^* = v(\frac{I_b}{q})^{0.5}$$

میرزایی همچنین پس از ترسیم مقادیر D^* و Z^* در مقابل V^* روابط بین آنها را به شرح رابطه (۴) و (۵) بدست آورد.

$$D^* = A_1 \cdot V^{*n_1} \quad (۴)$$
$$Z^* = A_2 \cdot V^{*n_2} \quad (۵)$$

که در آن n_1، n_2، A_1 و A_2 ضرایب ثابت می‌باشند.

چنانچه به جای D^*و V^*در رابطه (۴) مقادیر مساوی آنها از رابطه (۳) جایگزین شود و به جای V (حجم آب کاربردی) مقدار مساوی آن یعنی q.t جایگزین گردد، به دو رابطه نهایی (۶) و (۷) برای برآورد ماکزیمم قطر و حداکثر عمق مرطوب شده ی خاک خواهیم رسید. که در این تحقیق به عنوان معادلات پایه در نظر گرفته شدند.

$$D = A_1 V^{n_1}\left(\frac{I_b}{q}\right)^{1.5n_1-0.5} \quad (۶)$$

$$Z = A_2 V^{n_2}(\frac{I_b}{q})^{1.5n_2-0.5} \quad (۷)$$

در معادلات فوق ضرایب ثابت با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آیند. در پژوهش حاضر ضرایب مربوطه برای شش نوع خاک لایه‌دار به طور جداگانه تعیین شدند. با مشخص شدن ضرایب معادلات، امکان برآورد قطر و عمق مرطوب شده در خاک‌های لایه‌دار در زمان‌های مختلف آبیاری برای دبی ۴ لیتر در ساعت فراهم می‌گردد.

مدل فیزیکی

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقات آب گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران انجام شد. در این تحقیق، از یک مدل فیزیکی به شکل مکعب مستطیل از جنس ورقه‌های شفاف پلاکسی گلاس و با ابعاد طول برابر ۳، عرض برابر ۰/۵ و ارتفاع ۱/۲۲ استفاده شده است. با توجه به وزن زیاد خاک داخل محفظه این مدل روی شاسی آهنی مقاوم مستقر شد. و وجود چرخ‌های فلزی، امکان جابجایی مدل را در صورت ضرورت فراهم نمود. شکل ۱ شمای کلی مدل فیزیکی را نشان می‌دهد.کلیه ی لوازم و تجهیزات یک سیستم آبیاری قطره ای متناسب با شرایط واقعی، در مدل شبیه سازی شده است. آب از مخزن ذخیره و به وسیله ی پمپ، از طریق لوله‌ی پلی‌اتیلن با قطر ۵۰ میلی‌متر (به عنوان لوله اصلی) و لوله با قطر ۲۰ میلیمتر (به عنوان لوله نیمه اصلی) به لاترال‌ها منتقل می‌شود. هر لاترال به قطر ۱۶ میلی‌متر داخل محفظه گردید. محفظه‌ی مدل فیزیکی به سه قسمت تفکیک شده به طوری‌که عرض و عمق هر سه محفظه‌ی مکعب شکل، یکسان بود. جهت تامین آب از یک منبع پلاستیکی عمودی با حجم ۲۵۰ لیتر استفاده گردید. فشار مورد نیاز به وسیله‌ی یک عدد پمپ سانتریفیوژ تامین گردید.

در تحقیق حاضر از سه بافت خاک سبک، متوسط و سنگین استفاده گردید. در مورد هر خاک، با کمک روش هیدرومتری، درصد اجزای تشکیل دهنده‌ی خاک یعنی شن، سیلت و رس مشخص شده، سپس با استفاده از روش پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا بافت هر خاک جداگانه تعیین گردید. نتایج آزمایش هیدرومتری در جدول ۱ آمده است.

جهت ایجاد منبع نقطه‌ای با دبی مشخص در سطح خاک، از قطره‌چکان‌های تنظیم شونده فشار و خود شوینده «نتافیم» استفاده شد. در هر قسمت از محفظه‌ی مدل تنها یک قطره‌چکان قرار گرفت. تیمارهای لایه‌بندی خاک ازقرارگیری سه بافت کلی سبک، متوسط و سنگین به صورت ۶ حالت مختلف در نظر گرفته شدند (جدول ۲). به عنوان مثال تیمار S_1، به این شکل است که سه بافت خاک سبک، سنگین و متوسط به ترتیب از بالا به پایین به صورت لایه لایه روی هم قرار گرفته‌اند و جریان خروجی از قطره‌چکان که در روی سطح خاک قرار گرفته است پس از پایان آبیاری حجمی از خاک لایه‌دار را مرطوب می‌کند که بزرگترین قطر و بیشترین عمق آن اندازه‌گیری می‌شود. اثر دبی قطره‌چکان، ۴ لیتر در ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تعیین دقیق ابعاد پیاز رطوبتی، جبهه‌ی پیشروی رطوبت در گام‌های زمانی بر روی صفحه پلاکسی گلاس علامت‌گذاری شد. بدیهی است پس از قطع آبیاری، نفوذ و توزیع مجدد آب در خاک ادامه می‌یافت. لذا پس از ۲۴ ساعت، مجددا جبهه رطوبتی با ماژیک علامت‌گذاری شد. قبل از شروع آبیاری و یکبار

www.SID.ir

Archive of SID

خیس شدن خاک، فشار ورودی سیستم روی ۱۰ متر آب ثابت شد. در پایان هر آزمایش به وسیله‌ی دوربین که روی پایه با مترهای چسبانده در جهات افقی و عمودی مدل تراز می‌گردید، عکس‌هایی گرفته شد. در نهایت به کمک نرم-افزار گرافر، مختصات کلیه‌ی نقاط ترسیمی از جبهه رطوبتی استخراج و به نرم‌افزار اکسل منتقل گردید. نمودار پیشروی جبهه رطوبتی در هر گام زمانی رسم شده و همچنین به وسیله‌ی مختصات نقاط، بیشترین عمق پیشروی و قطر خیس شده‌ی خاک در زمان‌های مختلف محاسبه شد.

شکل ۱- تصویر مدل فیزیکی آزمایش

جدول ۱- درصد اجزای تشکیل دهنده بافت‌های خاک

نمونه خاک	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت	بافت
متوسط	۳۸	۲۷	۳۵	رسی لومی
سبک	۷۱	۵	۲۴	شنی لومی
سنگین	۲۰	۴۳	۳۷	رسی

جدول ۲- شش تیمار لایه‌بندی خاک

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
متوسط	متوسط	سنگین	سنگین	سبک	سبک
سنگین	سبک	سبک	متوسط	متوسط	سنگین
سبک	سنگین	متوسط	سبک	سنگین	متوسط

نتایج و بحث

بررسی اثر بافت خاک روی عمق مرطوب شده خاک لایه‌دار

شکل ۲نشان دهنده‌ی افزایش عمق پیشروی خاک در طول مدت آبیاری و برای هر شش تیمار لایه‌بندی خاک تحت دبی ثابت ۴ لیتر در ساعت می‌باشد. این نمودار نشان می‌دهد در پایان آبیاری، کمترین عمق پیشروی مربوط به تیمار خاک S_2 (سبک روی متوسط روی سنگین) می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که در این خاک، تا عمق ۲۰ سانتی‌متری، سرعت پیشروی عمودی بیش از تیمارهای دیگر است اما پس از آن نرخ حرکت عمقی به شدت کند شده است.

در خاک‌هایی که لایه فوقانی سبک‌تر از لایه تحتانی است، هنگامی که جبهه‌ی رطوبتی به مرز دو لایه می‌رسد، پیشروی عمودی بسیار کند شده و حجم آب ورودی، صرف توسعه‌ی افقی پیاز رطوبتی می‌گردد. در مورد تیمارهای S_3 و S_4 که لایه‌ی اول آن‌ها خاک سنگین است، همانطور که انتظار می‌رفت، تا عمق ۲۰ سانتی‌متری پیشروی کندتر از دیگر تیمارها است. در این خاک‌ها با وجود اینکه لایه زیرین سبک‌تر از لایه فوقانی بوده، عمق خیس شده‌ی نهایی کم‌تر از تیمارهای S_5 و S_6 است. علت این امر را نیز می‌توان تأخیر در عبور از مرز مشترک بین دو لایه دانست. هنگامیکه آب از لایه‌ی سنگین‌تر به لایه‌ی سبک می‌رسد، لازم است نیروی وزن آب

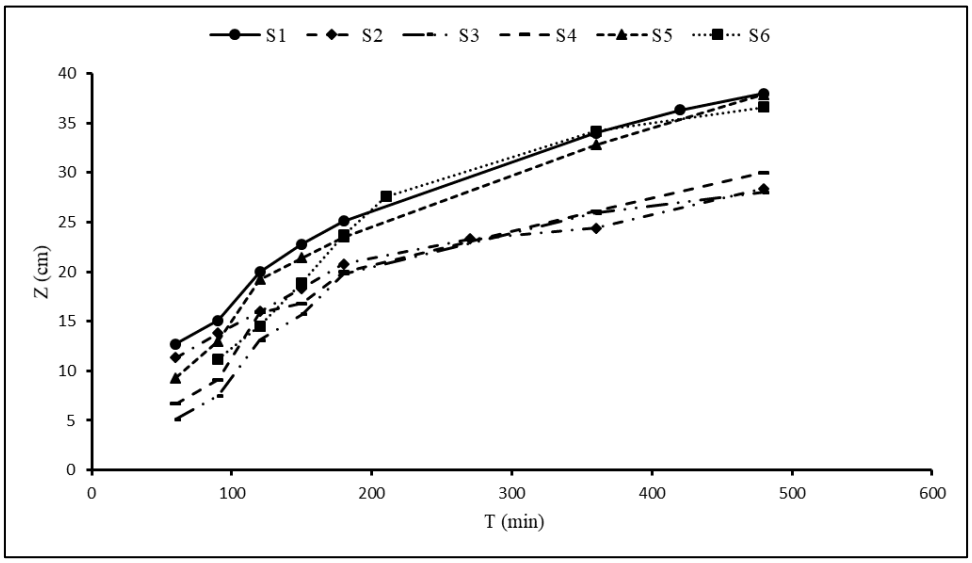
www.SID.ir

Archive of SID

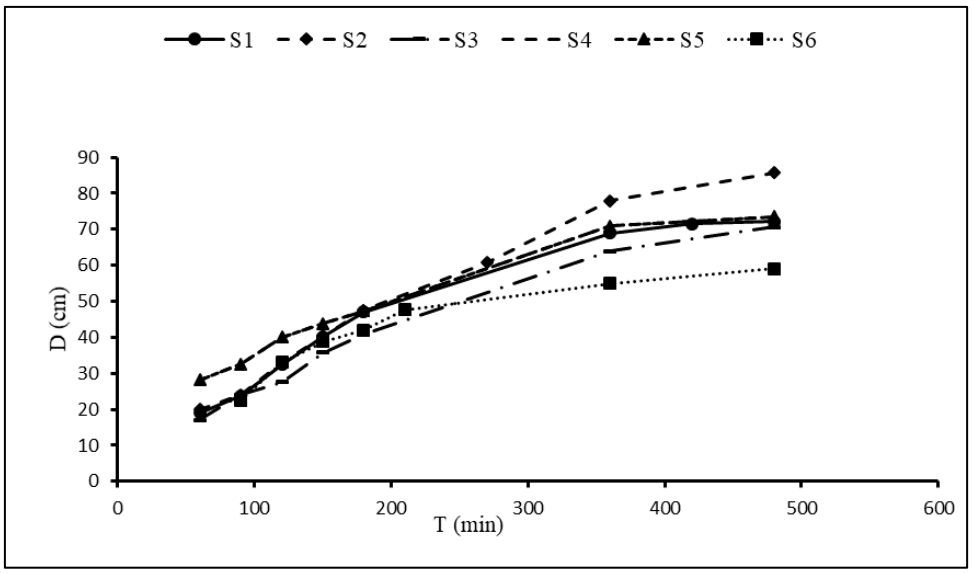
(پتانسیل ثقلی) بر پتانسیل ماتریک موجود در لایه‌ی فوقانی غلبه کند تا پیشروی عمودی رطوبت ادامه یابد.

بررسی اثر بافت خاک روی قطر خیس شده‌ی خاک

پیشروی افقی جبهه‌ی رطوبتی در طول زمان آبیاری تحت دبی ۴ لیتر در ساعت برای هر شش تیمار لایه‌بندی خاک در شکل ۳ قابل مشاهده است. با توجه به نمودار، بیشترین قطر خیس شده مربوط به تیمار خاک S_2 (دارای کم‌ترین عمق پیشروی) می‌باشد. کمترین قطر خیس شده‌ی خاک در پایان آبیاری مربوط به تیمار S_6 (متوسط روی سنگین روی سبک) می‌باشد که تقریبا عمق پیشروی در این تیمار بیش از تیمارهای دیگر بود. علت این امر را می‌توان اختلاف کم بین بافت‌های متوسط و سنگین دانست. به عبارتی مدت زمان تأخیر جبههٔ رطوبتی برای عبور از مرز مشترک دو لایه کمتر بوده است.



شکل ۲- عمق خاک (Z) مرطوب شده در شش تیمار خاک تحت دبی ٤ لیتر در ساعت



شکل ۳- قطر خاک (d) مرطوب شده در شش تیمار خاک تحت دبی ٤ لیتر در ساعت

روابط بین اعداد بی بعد D^* و Z^* با V^*

اعداد بی بعد D^* ،Z^* و V^* توابعی از قطر خیس شده، عمق خیس شده و حجم آب اعمال شده هستند و به طور قراردادی با اندیس ستاره نمایش داده شده‌اند. پس از محاسبه‌ی مقادیر این سه عدد به شرح معادله‌ی (۳)، معادلات حاصل از برازش توانی بین اعداد بی‌بعد استخراج شد. نتایج تحقیق حاضر منجر به استخراج یک سری

www.SID.ir

Archive of SID

معادلات علمی-تجربی برای تخمین ابعاد خیس شده در خاک‌های لایه‌دار شد. معادلات حاصل، تابعی از پارامترهای دبی، سرعت نفوذپذیری نهایی و حجم آب اعمال شده هستند. در جدول ۳ ضرائب n_1، n_2، A_1 و A_2حاصل از برازش توانی بین اعداد بی‌بعد به شرح معادلات (۴) و (۵)، برای هر شش تیمار خاک به طور جداگانه نشان داده شده است. چنانچه به جای اعداد بی‌بعد، مقادیر مساوی آن‌ها طبق رابطه‌ی (۳) جایگزین شود، شکل پارامتریک معادلات نهایی حاصل خواهد شد (معادلات ۶ و ۷). با قرار دادن مقادیر محاسبه شده از ضرایب در این معادلات، روابط تخمین ماکزیمم قطر و عمق خیس شده‌ی خاک بدست می‌آید که این روابط برای هر شش تیمار خاک در جداول ۴ و ۵ ذکر شده‌اند.

جدول ۳- روابط حاصل از برازش توانی بین اعداد بی بعد

تیمار خاک	روابط D^* و V^*	روابط Z^* و V^*	A_1	A_2	n_1	n_2
S_1	$D^* = 4 \cdot 491 V^{*0.55}$ $R^2 = 0 \cdot 82$	$Z^* = 1 \cdot 871 V^{*0.48}$ $R^2 = 0 \cdot 88$	4.491	1.871	0.55	0.48
S_2	$D^* = 5 \cdot 211 V^{*0.58}$ $R^2 = 0 \cdot 79$	$Z^* = 1 \cdot 309 V^{*0.44}$ $R^2 = 0 \cdot 97$	5.211	1.309	0.58	0.44
S_3	$D^* = 2 \cdot 635 V^{*0.46}$ $R^2 = 0 \cdot 62$	$Z^* = 2 \cdot 149 V^{*0.6}$ $R^2 = 0 \cdot 81$	2.635	2.149	0.46	0.60
S_4	$D^* = 2 \cdot 416 V^{*0.38}$ $R^2 = 0 \cdot 64$	$Z^* = 2 \cdot 515 V^{*0.62}$ $R^2 = 0 \cdot 85$	2.416	2.515	0.38	0.62
S_5	$D^* = 3 \cdot 142 V^{*0.44}$ $R^2 = 0 \cdot 89$	$Z^* = 2 \cdot 677 V^{*0.61}$ $R^2 = 0 \cdot 83$	3.142	2.667	0.44	0.61
S_6	$D^* = 4 V^{*0.55}$ $R^2 = 0 \cdot 85$	$Z^* = 3 \cdot 56 V^{*0.67}$ $R^2 = 0 \cdot 86$	4.00	3.56	0.55	0.67

جدول ٤- روابط برآورد ماکزیمم قطر خیس شده برای شش تیمار خاک لایه‌دار

تیمار خاک	معادلات	
S_1	$D = 4 \cdot 91 V^{0.55} (\frac{I_b}{q})^{0.32}$	(۸)
S_2	$D = 5 \cdot 211 V^{0.58} (\frac{I_b}{q})^{0.37}$	(۹)
S_3	$D = 2 \cdot 635 V^{0.46} (\frac{I_b}{q})^{0.19}$	(۱۰)
S_4	$D = 2 \cdot 416 V^{0.38} (\frac{I_b}{q})^{0.07}$	(۱۱)
S_5	$D = 3 \cdot 142 V^{0.44} (\frac{I_b}{q})^{0.16}$	(۱۲)
S_6	$D = 4 \cdot 00 V^{0.55} (\frac{I_b}{q})^{0.32}$	(۱۳)

جدول ٥- روابط برآورد ماکزیمم عمق خیس شده برای شش تیمار خاک لایه‌دار

تیمار خاک	معادلات	
S_1	$Z = 1 \cdot 871 V^{0.48} (\frac{I_b}{q})^{0.22}$	(۱۴)
S_2	$Z = 1 \cdot 309 V^{0.48} (\frac{I_b}{q})^{0.16}$	(۱۵)
S_3	$Z = 2 \cdot 149 V^{0.6} (\frac{I_b}{q})^{0.4}$	(۱۶)
S_4	$Z = 2 \cdot 515 V^{0.62} (\frac{I_b}{q})^{0.43}$	(۱۷)
S_5	$Z = 2 \cdot 677 V^{0.61} (\frac{I_b}{q})^{0.41}$	(۱۸)
S_6	$Z = 3 \cdot 56 V^{0.67} (\frac{I_b}{q})^{0.5}$	(۱۹)

www.SID.ir

Archive of SID

در معادلات ۸ الی ۱۹، D ماکزیمم قطر مرطوب شده‌ی خاک در زمان آبیاری (سانتی‌متر)، Z حداکثر عمق مرطوب شده‌ی خاک در زمان آبیاری (سانتی‌متر)، V حجم آب اعمال شده از منبع تغذیه‌ی نقطه‌ای در سطح خاک (متر مکعب)، I_b سرعت نفوذپذیری نهایی خاک (متر بر ثانیه) و q دبی گسیلنده‌ی نقطه‌ای (متر مکعب بر ثانیه). با توجه به روابط تخمین ماکزیمم قطر و عمق خیس شده‌ی خاک می‌توان استنباط کرد که در تیمار خاک S_2 سرعت نفوذ افقی در سطح بیشتر از نفوذ عمودی است. چون لایه آخر دارای بافت ریز می‌باشد حرکت آب بیش‌تر تحت تأثیر نیرویی است که ذرات خاک به آن وارد می‌کنند و کم‌تر تحت تأثیر نیروی ثقل است. با سنگین شدن بافت خاک قطر خیس شده‌ی خاک افزایش یافته و جبهه‌ی رطوبتی از عمق کم‌تری برخوردار است. در تیمار خاک S_6 با گذشت زمان عمق مرطوب شده‌ی خاک تحت تأثیر نیروی ثقل قرار می‌گیرد و حرکت در جهت افقی کاهش می‌یابد و قسمت اعظم آب به صورت عمودی نفوذ می‌کند که این باعث می‌شود عمق خیس شده‌ی خاک افزایش یابد. بر اساس مطالعات انجام شده (مصطفی زاده و همکاران ۱۳۷۷، علیزاده، ۱۳۸۴) با سنگین شدن بافت خاک قطر خیس شده‌ی جبهه‌ی رطوبتی افزایش می‌یابد و عمق جبهه‌ی رطوبتی کاهش می‌یابد. بر عکس در خاک‌های سبک، حرکت جانبی آب نسبت به خاک‌های با بافت ریز کم‌تر است و جبهه‌ی رطوبتی از عمق بیش‌تر و قطر کم‌تری برخوردار است. که مطابق با نتایج این مطالعه است.

نتیجه‌گیری

در شرایط طبیعی در بسیاری از موارد ممکن است خاک منطقه همگن نبوده و از چند لایه خاک با بافت متفاوت تشکیل شده باشد. تعمیم معادلات و مدل‌های مربوط به خاک همگن برای خاک‌های لایه‌دار چندان منطقی به نظر نمی‌رسد چرا که ابعاد پیاز رطوبتی به مقدار زیادی متأثر از لایه‌بندی خاک است. هنگام عبور آب از مرز مشترک دو بافت مختلف، جبهه‌ی رطوبتی رفتار کاملا متفاوتی نسبت به خاک همگن نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارهای خاک لایه‌دار، هم در مورد بافت سبک روی سنگین و هم بافت سنگین روی سبک، هنگام عبور آب از مرز مشترک دو لایه، تاخیر زمانی در پیشروی عمودی و در مقابل افزایش سرعت پیشروی افقی مشاهده می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود مدل‌هایی که با فرض خاک همگن به صورت توانی ارائه شده‌اند، برآورد بیشتری از عمق خیس شده ارائه دهند. بررسی‌های آماری نشان داد که معادلات علمی- تجربی ارائه شده در این تحقیق، برای خاک‌های لایه‌دار تطابق مناسبی با مقادیر واقعی نشان می‌دهند. آگاهی از ابعاد پیاز رطوبتی و برآورد مناسب از سطح خیس شده‌ی خاک می‌تواند تأثیر بسزایی در انتخاب مناسب‌تر آرایش لاترال‌ها و فواصل گسیلنده‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای داشته باشد. آماره‌ی RMSE برای معادلات برازش یافته در تمام موارد کم‌تر از ۰/۱ محاسبه شد که بیانگر کارایی مناسب مدل می‌باشد. لذا نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در طراحی بهینه‌ی این سامانه‌ها مفید واقع شود.

منابع

عباس‌پلنگی، ج. و آخوندعلی، ع. م. ۱۳۸۷. یک مدل نیمه تجربی به منظور تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای، تحت منبع نقطه‌ای. مجله علوم آب و خاک. ۱۲(۴۴): ۹۶-۸۵.

علیزاده، ا. ۱۳۸۴. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. ۴۶۰ صفحه.

مصطفی زاده، ب.، موسوی، س. ف. و شریف بیان الحق، م. ح. ۱۳۷۷. پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیبدار. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۲ (۳): ۲۴-۱۳.

میرزایی، ف.، لیاقت، ع. م.، سهرابی ملایوسف، ت. و امید، م. ح. ۱۳۸۴. نمون سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای – نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۶(۲۳): ۶۶-۵۳.

Cook, F.J., Fitch, P., Thorburn, P.J., Charlesworth, P. B., and Bristow, K.L. 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.

Hachum, A.Y. 1973. Water movement in soil from a trickle source .M.Sc. Thesis, Utah State Univ., Logan, Uotah, USA.

Keller, J., and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation, Avi Book pub. New York.

Khan, A.A., Yitayew, M., and Warrick, A.W. 1996. Field evaluation of water and solute distribution from a point source. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 122.4: 221-227.

Koo, R.C.J., and Tucker, D.P.H. 1975. Soil moisture distribution in citrus groves under drip irrigation. Citrus Industry.

Rahimzadegan, R. 1977. Water movement in field soil from a point source. M.Sc. Thesis, Utah State Univ., Logan, Utah, USA.

Thabet, M., and Zayani, K. 2008. Wetting patterns under trickle source in a loamy sand soil of south Tunisia. American-Eurasian Journal of Agricultural

www.SID.ir

Archive of SID

implications for system design and management. Irrigation Science, 22.3-4: 121-127.

Thorburn, P.J., Cook, F.J., and Bristow, K.L. 2003. Soil-dependent wetting from trickle emitters: & Environmental Sciences, 3.01: 38-42.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 570-578

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۵۷۸-۵۷۰

Modeling for Estimating Soil Moisture Dimensions in Drip Irrigation in Layer Soil Using Dimensional Analysis Method

F. Mirzaee[1], Z. Alkasir[*2], A.R. Moini[3]

Recived: Nov.03, 2019 Accepted: Jan.14, 2020

Abstract

In order to obtain the latera arrangements and distance between emitters in Drip irrigation, the soil moisture distribution should be considered. The variety in pore sizes and permeability of each layer beside the changes in influential forces (mostly matrix and gravity), cause the wetted pattern in layered soils to be different from homogeneous soil. The present research studies wetted zone in layered soils. In addition, some scientific-experimental equations with the help of dimensional analysis and the Buckingham π theorem were suggested to estimate the size of the wetted perimeter. There were six sets of experiments including different sequences of three soil textures (light, moderate and heavy) and under discharge 4 liters per hour for drip irrigation. The experiments were conducted in a physical model with transparent walls. At the end of irrigation, the lowest depth of advance was related to S_2 (light to moderate to heavy). The highest wetted diameter was related to the S_2 soil treatment (with the least depth of advance). The lowest wetted soil diameter at the end of irrigation was related to S_6 treatment (moderate to heavy on light), which had almost more depth in this treatment than other treatments. The reason is the low difference between medium and heavy textures. That is, the delay time of the moisture front to cross the common boundary of the two layers was less. The information obtained in this study can be used to design and manage drip irrigation systems.

Keywords: Drip Irrigation, point source, Soil wetting pattern, Layer soil, Buckingham π theorem

1- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, university of Tehran.
2- Master Science Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, university of Tehran.
3- Master Science Graduated Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, university of Tehran.
(*- Corresponding Author Email: zeynab.alkasir@ut.ac.ir)

www.SID.ir