نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 2، جلد 10، خرداد - تیر 1395، ص. 144-136

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 136-144

مدل کردن نیمرخ رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از HYDRUS-2D

مژده خلیلی[1*]، مهدی اکبری[2]، ابوطالب هزارجریبی[3]، مهدی ذاکری‌نیا[4]، فریبرز عباسی[5]، علی کولائیان[6]

تاریخ دریافت: 1394/10/9 تاریخ پذیرش: 1395/2/29

چکیده

کاهش کمی منابع‌آب، بشر را بر آن وا می‌دارد که مصرف صحیحی از این منابع داشته باشد. طراحی و مدیریت صحیح آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مستلزم آگاهی از نحوه‌ای توزیع رطوبت در خاک است. در این تحقیق برای تخمین الگوی توزیع رطوبت خاک توسط مدل HYDRUS-2D در یک سیستم آبیاری قطره‌ای از یک جعبه با دیواره¬های شفاف پر شده از خاک لومی استفاده شد، سپس قطره چکان‌ها در دو عمق 40 و 50 سانتی‌متر و با دبی مورد استفاده 3/5 لیتر در ساعت و با فاصله‌ای 75 سانتی‌متر نصب شدند. نتایج نشان داد که این مدل تغییرات رطوبت خاک در اطراف قطره چکان را به خوبی و با خطای میانگین ریشه مربعات بین 0/014 و 0/033 برای عمق نصب 40 سانتی‌متر و 0/009 تا 0/025 برای عمق نصب 50 سانتی‌متر برآورد کرد. به علاوه به دلیل تشکیل پروفیل رطوبتی پیوسته که نشان دهنده مناسب بودن فاصله‌ی قطره‌چکان‌ها از یکدیگر است، رطوبت کم‌تر در نزدیکی سطح خاک با عمق 50 سانتی‌متر و فاصله‌ای 75 سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها از یکدیگر اتفاق افتاد که به عنوان عمق و فاصله بهینه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پیاز رطوبتی، خاک لومی، فاصله قطره‌چکان‌ها، عمق کارگذاری

مقدمه

کمبود آب و لزوم مصرف بهینه آن در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کشور ما، دست اندرکاران امور آب و کشاورزی را به سمت استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سوق داده است. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از روش‌های آبیاری قطره‌ای است که در آن لوله‌های قطره‌چکان‌دار در زیر سطح خاک قرار گرفته و دارای مزایایی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی است. از جمله این مزایا می‌توان به افزایش عمر قطره‌چکان‌ها، شدت جریان قابل استفاده کم‌تر، کاهش در میزان آب مصرفی به دلیل کاهش تبخیر در فشار اسمزی پایین‌تر، افزایش رشد، عملکرد و کیفیت بالای محصول، افزایش بهره‌وری آب، افزایش راندمان توزیع آب با توزیع رطوبت در داخل خاک، کاهش خطرات شوری برای گیاهان، تعدیل کاربرد کود شیمیایی، افزایش امکان استفاده از آب‌های با کیفیت کم‌تر، تسهیل در عملیات کشاورزی، حفظ ساختمان‌خاک و حفاظت بیش‌تر از محیط‌زیست اشاره کرد (Lamm and camp., 2007; Elmaloglous and Diamantopoulos., 2009). طراحی درست این سامانه‌ها نیاز به اطلاعات کافی از نحوه‌ی توزیع جریان آب در خاک به صورت افقی و عمودی دارد. این نوع اطلاعات در تعیین عمق نصب لوله‌های آبده، فاصله قطره چکان‌ها، قطر روزنه‌ای قطره چکان‌ها و چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از گسیلنده‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند (Acar et al., 2009). مدل‌های عددی، تحلیلی و تجربی زیادی برای شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از جمله می‌توان به مدل‌های ارائه شده توسط فیلیپ (Philip., 1968)، واریک (Warrick., 1974)، اسچوارتزمن و زور (Schwartzman and Zur., 1986)، چو (Chu., 1994)، بن‌آشر و فن (Ben Asher and Phene., 1996)، سیمونک و همکاران (Simunek et al., 1999-2010)، منصف و همکاران (Moncef et al., 2002) و کوک و همکاران (Cook et al., 2003) اشاره کرد. مدل HYDRUS-2D یکی از مدل‌های توانمند در شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما در خاک است که بر پایه حل عددی معادله ریچاردز (Richard., 1943)

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2- استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
4- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
5- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
6- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: mozhdeh733@gmail.com

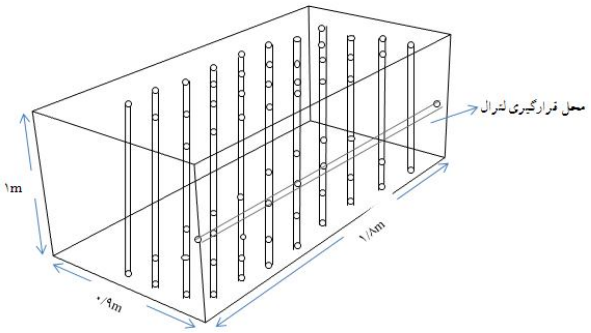
بسط داده شده است. این مدل برای هر سامانه آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی کاربرد دارد. شان و همکاران نیز نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه‌ای آبیاری قطره‌ای بر روی خاک‌های لوم، سیلتی و لومی‌شنی و دبی‌های 1/8، 2/2، 2/4 و 3 لیتر در ساعت را با نتایج حاصل از HYDRUS-2D مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد. به طوری‌که حداقل ضریب تبیین 0/86 و میانگین ریشه مربعات خطا در پیش‌بینی میزان رطوبت و حرکت جبهه رطوبتی به ترتیب کم‌تر از 1/7 درصد و 6/9 سانتی‌متر به دست آمد (Shan et al., 2011). کریمی گوغری و همکاران (1390) عنوان نمودند که مدل HYDRUS-2D با ضریب تبیین 0/92 شبیه‌سازی قابل قبولی را برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب 30 سانتی‌متر در خاک شنی با حداکثر خطای 0/0192 به ازای 24 ساعت بعد از اتمام آبیاری دارد و عنوان نمودند که افزایش بده به ازای یک حجم ثابت آب آبیاری نه تنها باعث افزایش رطوبت نگردید بلکه باعث کاهش ابعاد ناحیه‌ی رطوبتی و در نتیجه کاهش فاصله‌ی لوله‌های آبده و بالا رفتن هزینه نصب سامانه گردید. کوک و همکاران برای بررسی الگوی رطوبتی خاک با استفاده از سه بافت خاک، دو نوع قطره‌چکان سطحی و زیرسطحی راه حل عددی HYDRUS-2D را با حل تحلیلی فیلیپ مقایسه و بیان نمودند که هر دو روش تخمین قابل قبولی از جبهه‌ی رطوبتی عرضه می‌کنند ولی روش حل عددی توانایی سریع‌تری در تخمین پیاز رطوبتی دارد (Cook et al., 2006). پروونزانو در تحقیقی حجم مرطوب شده‌ی خاک را در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ارزیابی و بیان نمود که مدل HYDRUS-2D برای شبیه سازی در مقیاس یک قطره‌چکان در یک خاک لوم رسی مناسب بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نمایند (Provenzano., 2007 – 2008). المالگلو و دیامنتوپولوز با استفاده از نتایج مدل HYDRUS-2D برای سه نوع خاک (لومی شنی، سیلتی، رسی لومی) و دو دبی (2 و 4 لیتر در ساعت)، نشان دادند که پروفیل رطوبتی به خصوصیات هیدرولیکی خاک وابسته است و در مدت آبیاری با کاهش دبی اما ثابت ماندن عمق و حجم آب کاربردی، حرکت عمودی و افقی پروفیل رطوبتی افزایش می‌یابد (Elmaloglous and Diamantopoulos., 2009). اسیگ و همکاران مقدار نفوذ و جریان عمقی آب در یک خاک شیب‌دار اشباع را با استفاده از مدل HYDRUS-2D با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و عنوان نمودند که این مدل قادر به پیش‌بینی خوبی در شرایط اشباع است (Essig et al., 2009). میلهول و همکاران در نتیجه تحقیقی که بر روی گیاه ذرت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق و میزان محصول تولیدی انجام دادند، بیان کردند که مدل HYDRUS-2D مقدار تبخیر و تعرق را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (Mailhol et al., 2011). پاتل و راجپوت نیز پیاز رطوبتی و نحوه‌ی حرکت آب را در عمق 20-30 سانتی‌متری نسبت به محل استقرار قطره‌چکان‌ها تحت آبیاری زیرسطحی بررسی و با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج مزرعه‌ای مشاهده نمودند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (Patel and Rajput., 2008). سیال و همکاران طی تحقیقی، الگوی پیاز رطوبتی تحت آبیاری با لوله‌های سفالی در بافت‌های متوسط و سبک اندازه‌گیری و با نرم افزار HYDRUS-2D شبیه‌سازی شد. مقایسه نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده وجود دارد و می‌توان از این بسته نرم‌افزاری برای طراحی استفاده کرد (Siyal and Skagg., 2009). ملایی‌کندلوس و سیمیونک دو آزمایش تحت شرایط مزرعه و آزمایشگاهی با هدف ارزیابی مدل HYDRUS-2D برای شبیه‌سازی حرکت آب در یک سیستم قطره‌ای زیرسطحی در خاک رسی_لومی اجرا و نتیجه گرفتند که این مدل از دقت بالایی برخوردار است و می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای بهینه کردن فاکتورهای اصلی در طراحی‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده نمود. هم‌چنین نتایج مدل ارائه شده توسط کندلوس و همکاران (2008) را با نتایج حاصل از HYDRUS-2D و Wet Upمقایسه نمودند. نتایج خطای مطلق را 0/87 تا 10/43، 1 تا 10/43 و 1/34 تا 12/24 سانتی‌متر به ترتیب برای مدل HYDRUS-2D و Wet Up نسبت به مدل کندلوس و همکارن (2008) نشان داد (M Kandelous and Simunek., 2010a,b). تحقیقات فوق مبین توانایی نرم‌افزار HYDRUS-2D در پیش‌بینی و شبیه‌سازی جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) می‌باشد. ولی نیاز به بررسی‌های بیش‌تر در بافت‌های متفاوت و اعماق نصب مختلف برای تعیین عمق و فاصله‌ی بهینه‌ی قطره‌چکان‌ها از یکدیگر با دبی‌های متفاوت می‌باشد . بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی نحوه‌ی توزیع رطوبت در یک خاک لومی و مقایسه نتایج با مدل HYDRUS-2D انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

مشاهدات آزمایشگاهی

این پژوهش در تابستان سال 1390 در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (کرج) اجرا شد. بدین منظور یک مدل فیزیکی شامل یک جعبه با دیواره‌های شفاف پلکسی گلاس و به ابعاد 0/9×1/8 با ارتفاع 1 متر ساخته شد و با خاک لوم پر گردید. مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول 1 ارائه گردیده است. به منظور پر کردن جعبه از خاک و کارگذاری لوله‌های حسگر رطوبتی، ابتدا خاک مزرعه از یک سرند درشت عبور داده شد و خاک به‌صورت لایه‌های 10-15 سانتی‌متری به داخل جعبه ریخته شد. پس از هر بار اضافه نمودن خاک به درون جعبه، سطح خاک به صورت یکنواخت

متراکم گردید، لوله‌ی فرعی از جنس پی‌وی‌سی با قطر داخلی 16 میلی‌متر با قطره‌چکان‌های تنظیم‌شونده فشار با دبی 3/5 لیتر بر ساعت که در زیر سطح خاک برای دو عمق 40 و50 سانتی‌متری و با دو فاصله‌ی قطره‌چکان 50 و 75 سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند، مورد آزمایش قرار گرفت. برای تامین فشار سیستم، از یک پمپ کوچک با سیستم بای‌پس به حوضچه مکش استفاده گردید و برای تعیین آب مصرفی از کنتورهای حجمی میکرو استفاده شد. درون جعبه لوله‌هایی از جنس پی‌وی‌سی و با قطر داخلی 3 سانتی‌متر و ضخامت دو میلی‌متر با فاصله 22 سانتی‌متر از هم، جهت استقرار حسگر رطوبتی (پروفیل پروب) در آن‌ها و قرائت مقدار رطوبت تعبیه گردید (شکل1). در این آزمایش سه نوبت آبیاری صورت گرفت که آبیاری اول به منظور نشست خاک انجام شد و هیچ‌گونه اندازه‌گیری در آن صورت نگرفت در ادامه نتایج آزمایش بعدی با دبی 3/5 لیتر بر ساعت برای هر قطره‌چکان به مدت 2، 4 و6 ساعت مورد بررسی قرار گرفت. از آزمایش دوم برای واسنجی مدل HYDRUS-2D استفاده گردید. حسگر رطوبتی مورد استفاده در این آزمایش از نوع حسگرهای رطوبتی پروفیل پروب پی آر2[1] بود. این حسگر دارای 6 سنسور در اعماق 10، 20، ۳۰،۴۰، 60 و 100 سانتی‌متر بوده و قادر به اندازه-گیری رطوبت به طور غیرمستقیم می‌باشد. قبل از به‌کارگیری دستگاه رطوبت‌سنج، داده‌های خروجی به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده در خاک واسنجی گردید. رطوبت خاک در حین آبیاری هر نیم ساعت یک بار تا حداقل 4 ساعت بعد از آبیاری، روز بعد از آبیاری سه بار (صبح، ظهر و بعد از ظهر) و تا یک هفته بعد از آبیاری روزی دو بار (صبح و بعد از ظهر) اندازه‌گیری شد. خصوصیات هیدرولیکی خاک یک بار به کمک مدل ROSETTA که به صورت یک زیربرنامه در بسته نرم‌افزاری HYDRUS-2D گنجانده شده است و یک‌بار هم به روش حل معکوس برآورد گردید. مدل ROSETTA، در کامل‌ترین حالت خود برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی به مشخصات فیزیکی خاک مانند درصد ذرات رس (23 %)، شن (31 %) و سیلت (46 %)، چگالی ظاهری ($1/6 gr/cm^3$) و رطوبت در مکش 0/3 و 15 اتمسفر (به ترتیب 26/03 و11/81 درصد حجمی) نیاز دارد. در روش حل معکوس نیز از داده‌های رطوبتی اندازه گیری شده برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک استفاده گردید به این ترتیب که این داده‌ها به عنوان ورودی به مدل HYDRUS-2D داده شدند و پارامترهای هیدرولیکی به عنوان خروجی به‌دست آمدند.



شکل 1- مدل فیزیکی و نحوه قرارگیری غلاف‌های حسگر رطوبتی

مدل شبیه‌سازی

مدل HYDRUS2-D قادر به شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما در شرایط اشباع و غیراشباع می‌باشد این مدل حرکت سه بعدی آب در خاک را با استفاده از حل عددی معادله ریچاردز (رابطه 1) شبیه‌سازی می‌کند که با فرض خاک هم‌روند و یکنواخت به صورت زیر ارائه می‌گردد.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[k(h)\frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[k(h)\frac{\partial h}{\partial y} + k(h)\right] \qquad (1)$$

که در آن، θ رطوبت حجمی [L^3/L^{-3}]، h پتانسیل فشاری آب موجود در خاک [L]، t زمان [T]، x,y مختصات افقی [L]، Z مختصات عمودی [L] و k هدایت آبی [LT^{-1}] می‌باشد. برای به-دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی از معادله ونگنوختن-معلم (رابطه 2-3) استفاده می‌گردد.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+|\alpha h|^n)} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \qquad (2)$$

$$k(h) = k_s s_e^l \left[1 - \left(1 - s_e^{1/m}\right)^m\right]^2$$

$$s_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \qquad m = 1 - \frac{1}{n} \qquad (3)$$

که θ_s رطوبت اشباع [L^3/L^{-3}]،θ_r رطوبت باقی‌مانده [L^3/L^{-3}]، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع [LT^{-1}]، α [L^{-1}]، n و l پارامترهای تجربی هستند. نرم افزار HYDRUS-2D از روش اجزای محدود گالرکین (Simunek et al., 2006) جهت حل معادله جریان استفاده می‌نماید. حوزه‌ی مورد استفاده جهت حل عددی، مستطیلی با ابعاد 50 *100 سانتی‌متر به عنوان محدوده توزیع رطوبت با 1667 گره انتخاب گردید. قطره‌چکان به صورت یک دایره به قطر 2 سانتی‌متر و در فاصله‌ی 10 سانتی‌متری از گوشه‌ی سمت چپ در نظر گرفته شد و عمق آن نیز بسته به شرایط آزمایش در اعماق 40 و 50 سانتی‌متر انتخاب گردید. مقدار رطوبت اولیه (شرایط اولیه) برحسب مقادیر اندازه‌گیری شده و متناسب با اعماق سنسورهای پروفیل پروب در نظر گرفته شد. شرایط مرزی شامل یک فلاکس متغییر[2] (جریان ثابت) در

1- Profile Probe P R 2

2- Variable Flux

کل مدت زمان آبیاری برای قطره‌چکان است و در سطح فوقانی که معرف سطح خاک می‌باشد جریان آتمسفریک[1] و سطح تحتانی که معرف کف مدل فیزیکی می‌باشد حالت زهکشی آزاد[2] و برای جوانب سمت چپ و راست مرزهای بدون جریان[3] در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب مرز بدون جریان ایجاد شرایطی برای متقارن در نظر گرفتن مدل برای حرکت آب در دو سمت بود. به این ترتیب به جای در نظر گرفتن طولی برابر با طول جعبه لایسی‌متری طول 50 سانتی‌متر فرض گردید. به این ترتیب زمان محاسبات کوتاه‌تر و با بیش‌تر در نظر گرفتن تعداد گره‌ها دقت محاسبات افزایش یافت. در نهایت به کمک پارامترهای آماری RMSE[4] ME[5] و R^2[6] کارایی مدل مورد بررسی و صحت‌سنجی قرار گرفت.

$$ME = \frac{1}{n}\sum c_i - c_d$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum (c_i - c_d)^2}{n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{p=1}^{n}(c_i - c_d)^2}{\sum_{p=1}^{n}(c_i - c_o)^2}$$

c_i=مقادیر برآوردشده

c_d=مقادیر مشاهده‌ای

c_o=میانگین مقادیر مشاهده‌ای

نتایج و بحث

صحت سنجی مدل

برای صحت سنجی مدل HYDRUS-2D از داده‌های به‌دست آمده در آزمایش سوم استفاده گردید. ابتدا مدل با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از آزمایش دوم مورد واسنجی قرار گرفت. واسنجی مدل به این ترتیب بود که مدل برای زمان به نسبت طولانی اجرا شد و مشاهده گردید که مدل برآورد خوبی با نتایج مشاهده‌ای داشت سپس در مرحله صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده از مدل HYDRUS-2D با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه و صحت سنجی قرار گرفت.

در شکل 2 مقادیر برآورد شده و داده‌های مشاهداتی رطوبت در اعماق 40 و 50 سانتی‌متر برای زمان‌های 1/5 و 6 ساعت در هنگام آبیاری و 24 ساعت بعد از آبیاری نشان داده شده اند. از دو روش برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک استفاده گردید. بدین صورت که پارامترهای هیدرولیکی یک‌بار به روش حل معکوس و یک‌بار هم با استفاده از مدل ROSETTA برآورد شد (جدول 2). روش حل معکوس رطوبت اشباع را بیش‌تر تخمین زده است. همان‌طور که در شکل 2 نشان داده شده است، مدل HYDRUS2-D برای هر دو حالت شبیه‌سازی، برآورد خوبی داشته است و بعد از گذشت زمان 24 ساعت اختلاف کمی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده وجود دارد که می‌تواند به دلیل خطای مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده باشد. وجود رطوبتی در حدود 20 تا 21 درصد در عمق 20 سانتی‌متری از سطح خاک برای عمق نصب 50 سانتی‌متر، به وضوح مشخص است که رطوبت در این عمق به سطح خاک نرسیده و سطح خاک حتی با گذشت 24 ساعت بعد از آبیاری نیز خشک است. این موضوع بیانگر مناسب بودن عمق کارگذاری 50 سانتی‌متر لوله‌های قطره‌ای زیرسطحی در خاک لومی می‌باشد. خطای اندازه‌گیری شده (RMSE) هم برای هر دو عمق نصب مقادیر کمی را نشان می‌دهد که مبین کارایی بالای مدل است. ولی از آن‌جا که با این پارامتر نمی‌توان مشخص نمود که مقادیر پیش‌بینی شده بیش‌تر یا کم‌تر از مقادیر مشاهده شده هستند، بنابراین از پارامتر میانگین خطا (ME) استفاده گردید، به این ترتیب که مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده‌ی پیش‌بینی بیش‌تر و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده پیش‌بینی کم‌تر از مقادیر واقعی (مشاهده‌ای) می‌باشد.

و با توجه به مقادیر درج شده در جدول3 مدل مقادیر را در بعضی حالات بیش‌تر از مقدار واقعی (over estimation) برآورد می‌نماید. همان‌طور که در شکل 3 نشان داده شده است در عمق 60 سانتی‌متر برای هر دو عمق نصب 40 و 50 سانتی‌متر در فواصل مختلف از قطره‌چکان رطوبت در حال پیش‌روی افقی بوده و با گذشت زمان، رطوبت از نزدیک قطره‌چکان به دیگر نقاط منتقل می‌شود و بعد از آبیاری نیز به دلیل توزیع مجدد رطوبت، تا زمانی که نقاط هم عمق به رطوبت یکسان دست یابند، تغییرات رطوبت ادامه دارد که این موضوع در نمودار مربوط به زمان، 24 ساعت بعد از آبیاری به طور کامل مشهود است. از طرفی چون رطوبت در عمق 60 سانی‌متر برای فاصله 40 سانتی‌متری از قطره‌چکان حدود 31 تا 32 درصد می‌باشد، بیانگر تشکیل یک پروفیل رطوبتی پیوسته در طول لوله‌های لترال با قطره‌چکان‌هایی به فاصله 75 سانتی‌متر از یکدیگر می‌باشد. این موضوع به دلیل یکنواخت بودن خاک مورد مطالعه و در نتیجه مشابه فرض نمودن الگوی توزیع رطوبتی قطره‌چکان قابل توجیه است. با توجه به شکل 4 می‌توان بیان نمود که مدل HYDRUS2-D پیشروی جبهه‌ی رطوبتی را به دلیل همگن و ایزوتروپ فرض نمودن خاک، بسیار منظم پیش‌بینی می‌کند که این امر ممکن است با واقعیتی که در طبیعت (شرایط مزرعه‌ای) یا در شرایط آزمایشگاهی بنا بر دلایلی مانند وجود سنگ‌ها، حفرات یا عدم تراکم یکنواخت در خاک اتفاق می‌افتد کمی اختلاف داشته باشد البته این موضوع می‌تواند دقت داده‌های اندازه‌گیری شده را هم به دلیل استفاده از حسگرهای پروفیل پروب و میانگین‌گیری آن‌ها در عرض و عمق

1- Atmospheric Boundary
2- Free drainage
3- No Flux
4- Root Mean Squre Error
5- Mean error
6- R squre

تحت تاثیر قرار دهد هم‌چنین می‌توان دلیل همبستگی کم‌تر و اختلاف بیش‌تر بین داده‌های مشاهداتی و برآوردشده در زمان 1/5 ساعت از شروع آبیاری و 24 ساعت بعد از آبیاری را به این موضوع نسبت داد.

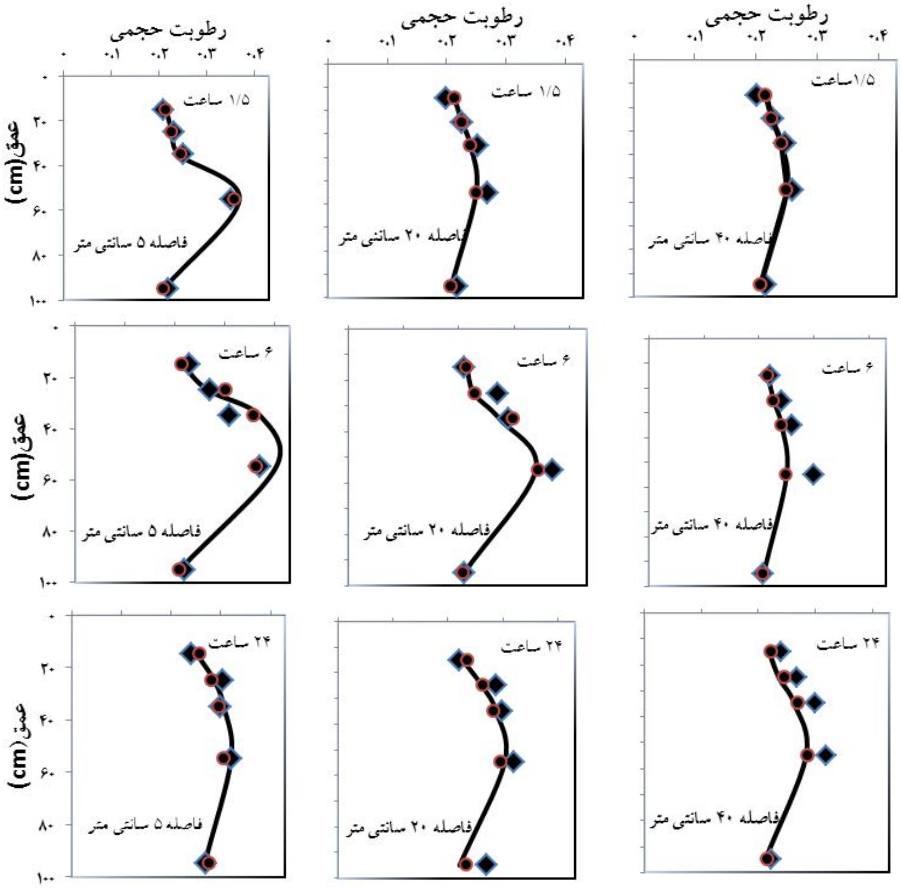
با افزایش حجم آب کاربردی تطابق نسبی مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده بین مقادیر عمق خیس‌شده رو به بالا و رو به پایین بیش‌تر شده ولی این انطباق برای عرض خیس‌شدگی کاهش می‌یابد. یکی از دلایل این موضوع را به هم رسیدن پروفیل رطوبتی بین دو قطره‌چکان، مدتی بعد از شروع آبیاری و قابل تشخیص نبودن میزان پیشروی بعد از آن زمان دانست و دلیل دیگر حاصل شدن متوسط رطوبتی در حد 30 درصد حجمی در فاصله‌ی 40 سانتی‌متری از قطره‌چکان‌ها در فواصل 50 و 75 سانتی‌متری بین قطره‌چکان‌ها در تحقیق حاضر است که مبین به هم رسیدن پروفیل رطوبتی بین دو قطره‌چکان مذبور است (شکل 5).

جدول 1- مشخصات فیزیکی و خصوصیات هیدرولیکی خاک

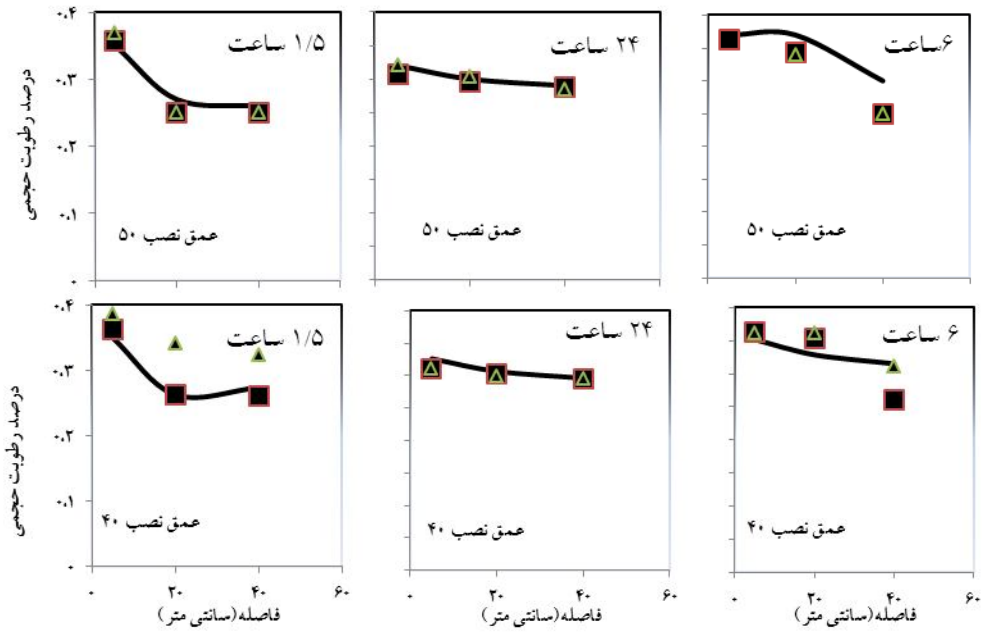
بافت	رس	شن	سیلت	وزن مخصوص ظاهری	رطوبت حجمی در مکش 0/3 اتمسفر	رطوبت حجمی در مکش 15 اتمسفر
		%		$grcm^{-3}$	%	%
لوم	23	31	46	1/6	26/03	11/81

جدول 2- پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز معادله ونگنوختن- معلم (ونگنوختن، 1980)

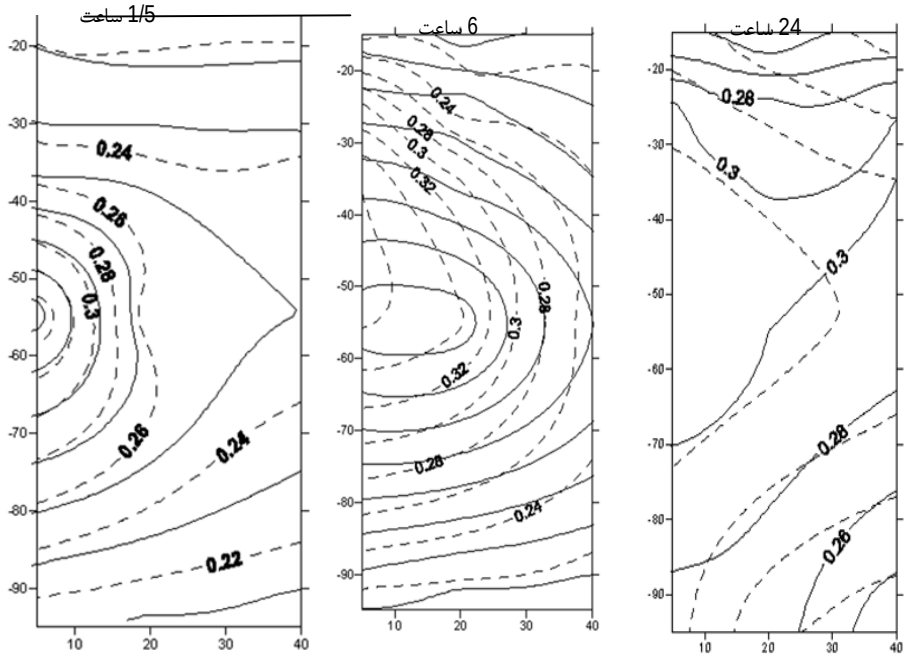
	L	N	$\alpha(m^{-1})$	Θ_S (cm^3cm^{-3})	$\Theta_R(cm^3cm^{-3})$	$K_s(cmday^{-1})$
مدل Rosetta	0/5	1/37	0/009	0/362	0/043	7/75
حل معکوس	0/5	1/38	0/013	0/403	0/046	7/3



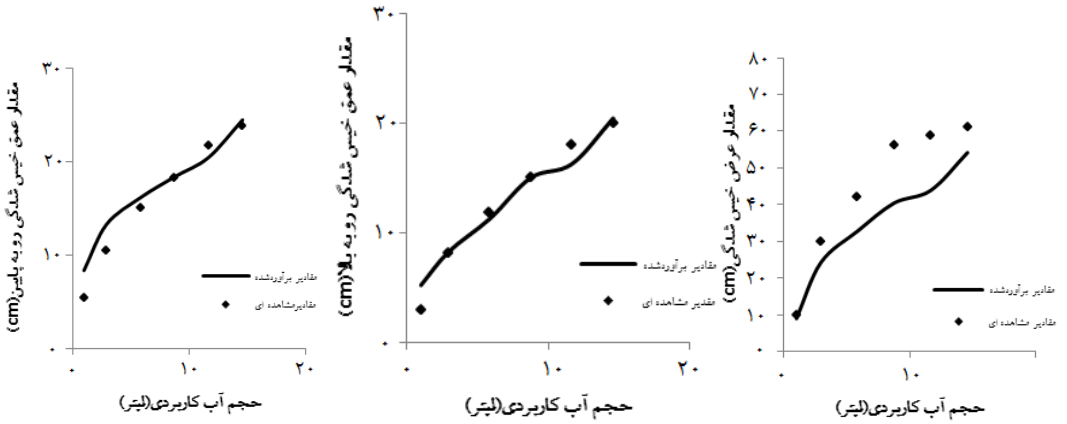
شکل 2- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده رطوبت حجمی در فواصل مختلف از قطره‌چکان(● مقادیر برآورد شده با HYDRUS-2D، ♦ مقادیر مشاهده‌ای و — مقادیر برآورد شده با حل معکوس)



شکل 3- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده رطوبت حجمی در عمق 60 سانتی‌متری(مقادیر برآورد شده با HYDRUS-2D ، مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده با حل معکوس)



شکل 4- نحوه‌ی توزیع رطوبت توسط مدل HYDRUS2-D و مقادیر مشاهده‌ای در 1/5 و 6 ساعت هنگام آبیاری و 24 ساعت بعد از آبیاری (خطوط ممتد: مقادیر مشاهده‌ای و خطوط خط‌چین: مقادیر برآورد شده توسط مدل HYDRUS2-D)



شکل 5- مقادیر عرض خیس‌شدگی، عمق خیس‌شدگی رو به بالا و عمق خیس‌شدگی رو به پایین در برابر حجم آب کاربردی در عمق نصب 50 سانتی‌متر

جدول 3- تحلیل آماری مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده

R^2	ME	RMSE	عمق (سانتی‌متر)	زمان (ساعت)
0/57	0/022	0/033	40	1/5
0/94	0/024	0/033	40	6
0/69	0/012	0/014	40	24
0/98	0/008	0/009	50	1/5
0/85	0/019	0/025	50	6
0/55	0/017	0/022	50	24

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضمن تعیین پروفیل رطوبتی به بررسی دقت شبیه‌سازی مدل HYDRUS2-D در برآورد حرکت و توزیع رطوبت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در شرایط لایسی‌متری در یک خاک لومی با دو عمق نصب 40 و 50 سانتی‌متر و قطره‌چکان-هایی با دبی 3/5 لیتر در ساعت بر روی لوله‌های لترال که در فواصل 50 و 75 سانتی‌متری هم قرار داشتند مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد برازش خوبی بین مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای با ضریب تبیینی

بین 0/57 تا 0/94 برای عمق 40 سانتی‌متر و 0/55 تا 0/98 برای عمق 50 سانتی‌متر و فاصله 75 سانتی‌متر حاصل گردید. هم-چنین به دلیل خشک ماندن سطح خاک بعد از گذشت 24 ساعت بعد از آبیاری در عمق نصب شده‌ی 50 سانتی‌متر ، این عمق برای خاک لومی مناسب‌تر بوده و به دلیل تشکیل پروفیل رطوبتی پیوسته بین دو قطره‌چکان فاصله‌ی آن‌ها نیز مناسب بوده ولی از نظر اقتصادی بسته به نوع گیاه کشت شده اگر گیاه بسیار گران‌تر از هزینه‌های نصب و یا آب باشد شاید فاصله 50 سانتی‌متری توصیه شود در غیر این‌صورت فاصله 75 سانتی‌متری فاصله مناسب‌تری می‌باشد در این خصوص بهتر است از دو قطره‌چکان در کنار یکدیگر استفاده شود تا به شرایط آزمایشگاهی نزدیک‌تر گردد. در این ارتباط، شرایط حل سه بعدی به انطباق بیش‌تر بین نتایج مشاهده‌ای و آزمایشگاهی کمک خواهد کرد (M Kandelous et al., 2011). با توجه به اینکه این تحقیق در شرایط لایسی‌متری انجام گرفته توصیه می‌شود این آزمایشات تحت شرایط واقعی مزرعه برای اعماق مختلف نصب قطره‌چکان و بافت-های مختلف خاک با دبی‌های متفاوت نیز انجام گردد.

منابع

-کریمی گوغری،ش، ایراندوست،م، حسینی‌نیا،م. 1390 شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت و تبخیر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک شنی،مجله مهندسی منابع آب4:49-60

-عباسی،ف. 1386. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه 22

-Acar,b. Topak,R and Mikailsoy,F. 2009. Effect of applied water and discharge rate on wetted soil volume in loam or clay-loam soil from an irrigated trickle source. African Journal of Agriculture Research. 1:049-054.

-Ben-Asher,J and Phene,C.J. 1996. Surface and subsurface drip irrigation: An analysis by a numerical model. Rep. Jacob Blaustein Institute for

-Philip,J.R. 1968. Steady in.ltration from buried point sources and spherical cavities.Journal of Water Resource 4:1039–1047.

Provenzano,G. 2007. Using HYDRUS-2D Simulation model to evaluate Wetted Soil Volume in subsurface drip irrigation system. Journal of Irrigation Drainange. Engineering. 133:342-349

-Provenzano,G. 2008. Discusion of using HYDRUS-2D Simulation Model to Evaluate wetted Soil Volume in SDI System. Journal of Irrigation Drainange. Engineering. 10:1061-1072

Schwartzman,M and zur,b. 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. Journal of Irrigation Drainange. Engineering. 112:242-253

-Shan,Y., Wang,Q and Wang,Ch. 2011. Simulated soil wetting patterns for overlap zone under double points sources of drip irrigation. African Journal of Biotechnology. 63:13744-13755

-Simunek,J., van Genuchten,M.Th and sejna,M. 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating Two and Three- Dimentional Movment of Water, heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Technical Manual, Version 1.0, Pc Progress, Prague,Czech Republic.

-Simunek,J., sejna,M., van Genuchten,M.Th. 1999. The HYDRUS-2D Software Package for Simulating the Two- Dimentional Movment of Water, heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Release 2.0 IGWMCTPS 53-251.International Ground Wwater Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, CO.

-Simunek,J. Jarvis,N.J., van Genuchten,M.Th and Gardenas,A. 1998. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the one- Dimentional Movment of Water, heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Release 2.0 IGWMCTPS 70.International Ground water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, CO.

-Simunek,J. van Genuchten,M.Th and sejna,M. 2008. Development and applications of the hydrus and stanmod software packages and related code. J. Vadose zone. 7:587-600.

Siyal,a.a and Skaggs,T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay management. J. Agriculture water management. 96:6:893-904.

-User manual for the Profile Probe,type PR2. 2004. Delta- T Devices Ltd.

-Warrick,A.W. 1974. Time-dependent linearized in.ltration. I. Point sources. Journal of Soil Science Society American. 38:383–386.

Desert Research, Ben Gurion University of Negev, Sde Boker Campus, Negev, Israel.

-Chu,S.T. 1994. Green-Ampt analysis of wetting pattern for surface emitters. Journal of Irrigation Drainange. Engineering. 120:2:414-421.

Cook,F.j., Thorbun,P.J., Fitch, p and Bristow,L. 2003. Wet up: A Soft Ware tool to display approximate wetting pattern from dripper. Irrigation. Science. 22: 129-134

-Cook,F.j., Fitch,p., Thorbun,P.J., Charlesworth,P.B and Bristow,K.L. 2006. Modeling trickle irrigation: Comparison of analytical and numberical models for estimation of wetting front position with time. Environ mental modeling and soft ware. 21:1353-1359.

-Elmaloglous,s and Diamantopoulos,E. 2009 Simulation of water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. Agriculture. Water Management. 96:1587-1595

Essig,E.T., Corradini.C., Morbidelli,R., Govindaraju,R.S. 2009. Infiltration and deep flow over sloping surface: Comparison of numberical and experimental result. Journal of hydrology. 374:30-42

-Lamm,F.R and Camp,C.R. 2007. Chapt. 13: Subsurface drip irrigation. In. Microirrigation for Crop Production: Design,Operation and Management. 473-551.

-Mailhol,J.C., Ruellea,P., Walserb,S., Schutzeb,N., Dejeana,D. 2011. Analysis of aet and yield predictions under surface and buried drip irrigation systems using the Crop model pilote and Hydrus-2D. Agriculture Water Management. 98:1033-1044.

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

-M. Kandelous,M., Simunek,J. 2010b. Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. Irrigation Science. 28:435–444

-M. Kandelous,M., Simunek,J., van Genuchten. Malek, K. 2011. Soil Water Content Distributions between Two Emitters of a Subsurface Drip Irrigation System. Soil physics. Journal. 75.2:488-497.

-Moncef,H., Hedi,D., Jelloul,B and Mohamed,M. 2002. Approch for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: theory and numerical aspect. J. Irrigation. Drainange. 51: 347-360.

-Patel Neelam, Rajput,T.B.S. 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion agricultural water management. 95:1335–1349.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 136-144

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 2، جلد 10، خرداد - تیر 1395، ص. 144-136

Evaluation of the Soil Moisture Profile in Subsurface Drip Irrigation Using HYDRUS-2D model

M. Khalili[1]*, M. Akbari[2], A. Hezarjaribi[3], M. Zakerinia[4], F. Abbasi[5], A. Koulaian[6]
Recived: Dec.30, 2015 Accepted: May.18, 2016

Abstract

Because of decreasing the value and availability of water resources, we have to use water resources in a best way. The new irrigation systems like subsurface drip irrigation can improve irrigation efficiency and water use efficiency. To properly manage SDI systems, the precise distribution of water around the emitter must be known. Several models have been developed to simulate soil moisture pattern and wetting front by using soil hydraulic parameters, the emitter's discharge and the volume of discharged water. In this paper, HYDRUS-2D model was used so simulation results were compared with two sets of experiments involving SDI with emitters installed at two different depth (40 &50 cm) while the emitters space was 75 cm with 3.5 l/h emitter discharge. The RMSE at different locations around emitter varied between 0.014 and 0.033 for volumetric water content in 40 cm installation depth and 0.009 and 0.025 for 50 cm installation depth. The continuous horizontal wetting profile was achieved so the space of emitter was suitable. With due attention to our results, 75 cm distance between emitters and 50 cm installation depth with 3.5 l/hr emitter discharge is proposed to be applied in loamy soil.

Keywords: HYDRUS-2D model, Installation depth, Subsurface drip irrigation, Wetting pattern

1- Graduated MS of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan
2- Assistant Professor, Agriculture Engineering Research Institute
3- Associate of Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan
4- Assistant Professor of Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan
5- Associate, Agriculture Engineering Research Institute
6- Graduated MS of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Sari
(*- Corresponding Author Email:mozhdeh733@gmail.com)