نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۲

ISSN 2251-7480

شبیه‌سازی جبهه رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای با استفاده از HYDRUS-2D

ندا خان محمدی[۱] و سینا بشارت[۲*]

۱) دانشجو دکتری مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه ارومیه؛ ارومیه؛ ایران

۲*) استادیار گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه ارومیه؛ ارومیه؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: sina323@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۱۲

چکیده

آگاهی کمّی از رفتار هیدرولیکی خاک نقشی مهم در حفاظت و بهره‌وری مناسب از منابع آب دارد. در این راستا فهم این رفتار در آبیاری قطره‌ای همیشه موضوع بحث محققین بوده است. یکی از مهم‌ترین معیارها هنگام طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای، هندسه الگوی رطوبتی است که توسط قطره‌چکان‌ها ایجاد می‌شود. ابعاد پیاز رطوبتی تحت تاثیر پارامترهای مهمی همچون ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، دبی خروجی قطره‌چکان و زمان آبیاری می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، هدف از این پژوهش، تخمین ابعاد جبهه رطوبتی حاصله از یک منبع نقطه‌ای است. بدین منظور، برای آزمون قابلیت نرم‌افزار HYDRUS-2D، آبیاری قطره‌ای به مدت ۳۰ ساعت با روش T-Tape و دبی ۲/۳۸۸ سانتی‌متر بر ساعت و با در نظر گرفتن عمق حداکثر ۷۰ سانتی‌متر در مزرعهٔ مطالعاتی دانشگاه ارومیه انجام و چگونگی توزیع آب در خاک توسط نمونه بردار وزنی در پایان آبیاری تعیین شد. پس از اطمینان از توانایی نرم‌افزار HYDRUS-2D، این نرم‌افزار برای شش دبی مختلف با سقف زمان ۳۰ ساعت کارکرد قطره‌چکان، اجرا شد. مقادیر حاصله از نرم افزار برای بازه‌های زمانی متفاوت و به‌کارگیری قضیه π باکینگهام، منجر به ارائه روابطی ساده شد که مقدار عمق و حداکثر قطر خیسیدگی خاک را توسط مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان و مدت زمان کارکرد محاسبه می‌کند. با توجه به مقدار ضریب همبستگی (۰/۹۹۳ و ۰/۹۷۰) و میانگین مطلق خطا (۱/۱۷۷ و ۱/۷۰۶) در برآورد عمق و حداکثر قطر خیس شده خاک، معادلات نیمه تجربی حاصله، با دقتی زیاد ابعاد هندسی پیاز رطوبتی را محاسبه کردند. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در نتیجه، از آنها در طراحی و مدیریت بهینه سیستم آبیاری قطره ای برای شرایط مورد مطالعه می‌توان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره ای؛ جبهه رطوبتی؛ نرم افزار HYDRUS-2D؛ هندسه الگوی رطوبتی خاک

مقدمه

فهم رفتار پیچیده حرکت در محیط متخلخل از مباحث کلیدی در مسائل حفاظت منابع آب و خاک به شمار می‌رود. در این راستا با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و بالا رفتن سطح زندگی، نیاز به بررسی مسائل زیست محیطی در کشاورزی لازم به نظر می‌رسد. در شرایط آب و هوایی ایران یکی از عمده‌ترین موانع افزایش تولید، عدم استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد، چراکه قسمت عمده آب استحصالی در بخش کشاورزی مصرف شده و از طرف دیگر راندمان مصرف آب در این بخش

Archive of SID

www.SID.ir

حدودا ۳۰ تا ۳۳ درصد می باشد. از این‌رو استفاده بهینه از منابع آب به عنوان محور اصلی توسعه بایستی مورد توجه قرار گیرد (سلامت منش، ۱۳۷۵؛ سرائی تبریزی، ۱۳۹۱؛ آبابایی و همکاران؛ ۱۳۹۱). استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار (بارانی و قطره ای) یکی از راه‌های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی بوده که در چند سال اخیر مورد توجه کشاورزان و سیاست گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته و در سطح کشور به طور وسیعی گسترش یافته است (ملکیان و قیصری، ۱۳۹۰). آبیاری قطره‌ای یکی از شیوه‌های نوین آبیاری است که می‌توان با توجه به قابلیت‌های ذاتی آن از یک سو بیشترین کنترل را اعمال نمود و از سوی دیگر با مدیریت آگاهانه بازده آبیاری را در حد بالایی حفظ کرد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰).

طراحی درست این سیستم نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک به صورت افقی و عمودی دارد. Metin و همکاران (۲۰۰۶) و Ruhi و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که استفاده مناسب از این سیستم نیازمند حصول اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب ایجاد شده در خاک می‌باشد. این نوع اطلاعات در انتخاب اندازه قطره‌چکان موثر بوده و در چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از آن نقش مهمی دارد. همچنین این نوع اطلاعات در به حداقل رساندن میزان نفوذ عمقی سیستم تاثیر می‌گذارد. حرکت آب در اثر یک منبع نقطه‌ای (قطره چکان) به نفوذپذیری خاک و شدت جریان بستگی دارد (Jiusheng *et al.,* 2003). برای بهبود بازده مصرف آب و مواد مغذی در این روش آبیاری، بایستی بین فاصله قطره چکان‌ها، شدت جریان، مشخصات رطوبتی خاک و مدت زمان آبیاری همخوانی مناسب وجود داشته باشد.

تحقیق در مورد نحوه توزیع جریان آب در خاک و در نتیجه ارائه الگوهای مدیریتی مناسب در این سیستم، با انجام آزمایشات مزرعه‌ای و بدون مدل‌سازی محیط فعالیت ریشه، کاری وقت‌گیر و هزینه‌بر است. Singh و همکاران (۲۰۰۶) با شبیه‌سازی حرکت آب توزیع شده از قطره چکان‌های زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که اطلاعات به‌دست آمده از نحوه توزیع رطوبت در خاک بدون مدل‌سازی محیط اطراف قطره‌چکان برای مدیریت سیستم آبیاری کافی نیست.

Revol و همکاران (۱۹۹۷)، بیان کردند که مدل‌های توسعه یافته شرایط دینامیکی آبیاری قطره‌ای را با در نظر گرفتن مرزهای ساده شبیه‌سازی می‌نماید. مدل‌های مختلفی جهت شبیه‌سازی الگوی رطوبتی خاک و ابعاد جبهه رطوبتی در سیستم‌های قطره‌ای توسعه یافته‌اند. Schwartzmanو Zur (۱۹۸٦)، یک مدل نیمه‌تجربی برای تعیین ابعاد پیاز رطوبتی به‌ازای منبع نقطه‌ای و خطی ارائه دادند. Risse و Chesness (۱۹۸۹)، روش پیشنهادی توسط داسبرگ و برسلر[1] را اصلاح نمودند. میرزایی و همکاران (۱۳۸٤) و پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷) نیز به منظور نمون‌سازی جبهه رطوبتی، روابطی را با دخالت عوامل فیزیکی و با استفاده از آنالیز ابعادی و قضیه π باکینگهام به دست آوردند. Rouphael و همکاران (۲۰۰٦)، نیز نشان دادند که استفاده از مدل‌های رایانه‌ای در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار موثر می‌باشد.

همزمان با افزایش سرعت محاسبه‌گرها و نیز قابلیت اکثر مدل‌های عددی جامع جهت شبیه‌سازی جریان، امروزه روش‌های عددی بطور گسترده برای ارزیابی جریان آب در سیستم‌های قطره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل HYDRUS-2D (Simunek *et al.,*1999) یک بسته نرم‌افزاری کامپیوتری شناخته شده است که به طور گسترده در شبیه‌سازی حرکت آب، حرارت و یا املاح به کار می‌رود. اکثر محققان ثابت کرده‌اند که مدل HYDRUS توانایی شبیه‌سازی رطوبت خاک را دارا می‌باشد (Skaggs *et al.,*2004; Siyal Skaggs, 2009

[1] Dasberg and Beresler

Archive of SID

www.SID.ir

and). بنابراین، این نرم‌افزار می‌تواند به عنوان یک شبیه‌ساز شرایط مزرعه عمل نماید.

هدف از این مطالعه، ارائه مدل نیمه‌تجربی به‌منظور دست‌یابی به روابطی ساده، تجربی و دارای مبنای فیزیکی به منظور تخمین ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای تحت منبع نقطه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بر اساس قوانین حرکت آب در خاک، شکل هندسی حجم خاک مرطوب شده در اطراف یک منبع نقطه‌ای در پایان هر آبیاری به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (ks)، دبی قطره‌چکان (q)، حجم آب ورودی به خاک (v) و زمان آبیاری (t) بستگی دارد. حداکثر قطر خاک خیس شده (d) و عمق خاک مرطوب شده (z) پارامترهای خوبی برای توصیف حجم قسمت مرطوب شده هستند. بکارگیری آنالیز ابعادی ابزار مناسبی برای توصیف ارتباط نامعلوم پارامترهای موثر در یک پدیده می‌باشد. یکی از قضایای مهم آنالیز ابعادی در مکانیک سیالات قضیه π باکینگهام است. این قضیه بیان می‌کند که اگر n متغیر بعددار در یک معادله همگن ابعادی وجود داشته باشد که به وسیله m متغیر اصلی توصیف - شوند، می‌توان آنها را به n-m گروه بدون بعد تقسیم کرد. با توجه به مطالب بیان شده و با کاربرد قضیه π باکینگهام می‌توان تابع $f(ks,q,v,t,d,z)=0$ را در نظر گرفت. همانطور که ملاحظه می‌شود، این تابع دارای ٦ متغیر بعددار با دو بعد اصلی (L, T) می‌باشد. بنابراین ٤ عدد بدون بعد را طبق قضیه π باکینگهام خواهیم داشت که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned}\pi_1 &= q^{a_1}.k_s^{\,b_1}.d\\ \pi_2 &= q^{a_2}.k_s^{\,b_2}.z\\ \pi_3 &= q^{a_3}.k_s^{\,b_3}.v\\ \pi_4 &= q^{a_4}.k_s^{\,b_4}.t\end{aligned} \qquad (۱)$$

در معادلات (۱)، a_1، b_1، a_2، b_2، a_3، b_3، a_4 و b_4 ضرایب ثابتی هستند که باید تعیین شوند. با در نظر گرفتن ابعاد متغیرها و جایگزینی مقدار بی‌بعد L^0T^0 به جای اعداد بی بعد π، ضرایب مربوط به هر عدد حاصل شده و جواب-های نهایی به شکل زیر خواهند بود:

$$\begin{aligned}d' &= d\sqrt{\frac{k_s}{q}}\\ z' &= z\sqrt{\frac{k_s}{q}}\\ v' &= v\,(\frac{k_s}{q})^{1.5}\\ t' &= t\,\frac{k_s^{\,1.5}}{q^{0.5}}\end{aligned} \qquad (۲)$$

مقادیر d'، z'، v' و t' پارامترهای بی‌بعد و بیانگر اعداد بی-بعد π باکینگهام می‌باشند. برای برقراری روابطی بین پارامترهای بدون بعد و ترسیم مقادیر d' و z' در برابر v' ملاحظه شد که می‌توان بین آنها رابطه توانی به صورت زیر برقرار نمود:

$$d' = A_1 v'^{\,n_1} \qquad (۳)$$

$$z' = A_2 v'^{\,n_2} \qquad (٤)$$

که در این روابط، A_1، A_2، n_1 و n_2 ضرایب ثابت می‌باشند که با استفاده از نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای، آزمایشگاهی و یا شبیه‌سازی عددی به دست می‌آیند. با ترکیب معادله فوق با روابط ۲ و جایگذاری (v=q.t) روابط زیر به دست می‌آیند:

$$d = A_1.k_s^{(\frac{3}{2}n_1-\frac{1}{2})}q^{(-\frac{1}{2}n_1+\frac{1}{2})}t^{n_1} \qquad (۵)$$

$$z = A_2.k_s^{(\frac{3}{2}n_2-\frac{1}{2})}q^{(-\frac{1}{2}n_2+\frac{1}{2})}t^{n_2} \qquad (٦)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در معادلات ۵ و ٦، عمق و قطر ماکزیمم خاک خیس شده تابعی از دبی خروجی، هدایت هیدرولیکی اشباع و مدت زمان آبیاری است (پلنگی و آخوند علی، ۱۳۸۷).

اندازه گیری صحرایی

مطالعات توزیع رطوبت و نفوذ در زمین مطالعاتی دانشگاه ارومیه تحت آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. خاک محل آزمایشی تا عمق ۸۰ سانتی‌متر جهت از بین بردن لایه‌ها و ایجاد یکنواختی بیشتر، شخم زده شد. بافت خاک مزرعه لوم رسی بوده که با دانه بندی به روش هیدرومتری بدست آمد. در این تحقیق از روش آبیاری قطره‌ای نوع T-Tape استفاده گردید. مقدار دبی ثابت قطره چکان $L.h^{-1}$ ۳ و زمان کاربرد آبیاری ۳۰ ساعت در نظر گرفته شد. در انتهای آبیاری، پروفیلی از خاک در وسط پیاز رطوبتی حفر گردید. رطوبت وزنی نمونه‌های بدست آمده از پروفیل‌های حفر شده، پس از خشکاندن در آون محاسبه گردید. جرم مخصوص ظاهری خاک بر اساس نمونه‌های بدست آمده از نقاط مختلف مزرعه، در بازه ۱/٤٦ تا ۱/٦۷ گرم بر سانتیمتر مکعب قرار داشت.

مدل‌سازی عددی

پیاز رطوبتی ایجاد شده توسط قطره‌چکان به صورت دو بعدی اندازه‌گیری گردید. جهت حصول مقدار نسبی رطوبت از یک نمونه بردار با طول کم، استفاده شد. همچنین نرم‌افزار HYDRUS-2D (Simunek *et al.*,1999) برای شبیه‌سازی نفوذ و توزیع رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفت. با فرض اینکه خاک همگن و همروند است معادله دو بعدی ریچاردز عبارت است از:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial z}+K(h)\right] \qquad (۷)$$

که در آن θ مقدار حجمی آب، h بار فشاری آب خاک، t زمان، x مختصات افقی، z مختصات عمودی و K هدایت هیدرولیکی می‌باشند. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک توسط رابطه ون‌گنختان- موعلم مدل شده‌اند:

$$\theta(h)=\begin{cases}\theta_r+\dfrac{\theta_s-\theta_r}{(1+|\alpha h|^n)^m} & h<0\\ \theta_s & h\geq 0\end{cases} \qquad (۸)$$

$$K(h)=K_s S_e^{\ l}[1-(1-S_e^{\ 1/m})^m]^2 \qquad (۹)$$

$$S_e=\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r},\quad m=1-1/n \qquad (۱۰)$$

که در روابط اخیر، θ_s مقدار رطوبت اشباع، θ_r مقدار رطوبت باقی‌مانده، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع و n، α و l پارامترهای شکل می‌باشند.

مدل HYDRUS-2D از روش عناصر محدود (Galerkin-type) برای حل معادلات ۷ تا ۱۰ استفاده می‌کند. Simunek و همکاران (۲۰۰٦)، شیوه حل را با جزئیات توضیح داده است. در این شبیه‌سازی فقط قسمت راست پیاز رطوبتی در نظر گرفته شد. مش‌بندی مرزها در روش عناصر محدود مستطیلی و فقط در لبه‌های جبهه رطوبتی خاک به صورت مثلثی در نظر گرفته شد. لوله قطره چکان در مرز به صورت یک نیم‌دایره در قسمت مرزی بالا وارد نرم‌افزار گردید. در طول کاربرد آب در مرز، شدت جریان ثابت ۲/۳۸۸ سانتی متر بر ساعت برای لوله مورد استفاده قرار گرفت که بر اساس متوسط شدت کاربرد آب ۳ لیتر بر ساعت در واحد متر و منطقه سطحی لوله محاسبه شد.

$$q=\frac{flow\ rate}{surface\ area}=$$

$$\frac{3000\ \ cm^3.h^{-1}}{\pi(20\ cm)(20\ cm)}=2.388\ \ cm.h^{-1}$$

زمانی که آبیاری به پایان رسید، شرایط مرزی لوله قطره‌چکان به صورت شرایط مرزی با جریان صفر و سطح خاک نیز به عنوان شرایط مرزی بالا در نظر گرفته شد که برابر مقدار تبخیر از سطح خاک می‌باشد.

اجرای مدل نیاز به پارامترهای هیدرولیکی خاک مانند θ_s، θ_r، k_s، n، l و α و مقادیر رطوبت خاک برای شرایط اولیه

Archive of SID

www.SID.ir

دارد. در این تحقیق برآورد این پارامترها توسط نرم‌افزار ROSETTA (Schaap *et al.*, 2001) صورت گرفت. ROSETTA یک نرم افزار کاربردی است که از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی پارامترهای هیدرولیکی توسط بافت خاک و داده‌های مرتبط استفاده می‌کند. پارامترهای مورد نیاز مدل مذکور در مزرعه اندازه‌گیری شد. شن ٥٤/٨ درصد، سیلت ٣٩/٦ درصد و رس ٥/٦ درصد و چگالی ظاهری خاک ١/٥٥ گرم در سانتیمتر مکعب و درصد رطوبت خاک در مکش‌های ٣٣ و ١٥٠٠ کیلو پاسکال به ترتیب ٢٨ و ٥/٤ درصد بدست آمد. اعداد بدست آمده از آزمایشات، وارد پیچیده‌ترین مدل نرم‌افزار ROSETTA گردید. نتایج بدست آمده از این مدل در جدول ١ ارائه شده است. تغییرات رطوبتی شرایط اولیه بر اساس رطوبت خاک نمونه‌های برداشت شده از مزرعه برآورد گردید. شبیه‌سازی برای ٣٠ ساعت کاربرد مداوم قطره‌چکان انجام گرفت. سپس بعد از اطمینان از قابلیت نرم‌افزار، شبیه‌سازی برای همین مشخصات خاک البته با دبی‌ها و زمان کاربردهای مختلف صورت گرفت. همانطور که می‌دانیم آبدهی قطره چکان عموما بین ٨-١ لیتر بر ساعت می‌باشد، اما در این تحقیق برای مورد ملاحظه قرار دادن انواع دبی‌های قطره چکان و حصول معادله‌ای برای همه شرایط ممکن، بازه ١٨-٥ لیتر بر ساعت برای دبی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

شکل ١ نتایج توزیع رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در آزمایش انجام یافته را نشان می‌دهد. این شکل شامل الگوی رطوبتی در پروفیل خاک و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده است. حد فاصل نقاط مختلف رطوبتی خاک در قسمت اندازه‌گیری شده بر اساس درون‌یابی الگوریتم کریجینگ محاسبه و رسم گردید. در این شکل مشاهده شد که الگوی عمومی تخمین رطوبت خاک از همبستگی بسیار بالایی برخوردار است و این نرم-افزار توانایی شبیه‌سازی پروفیل رطوبتی خاک را دارا می-باشد. لازم به ذکر است، شبیه‌سازی بدون هیچ نوع برازش داده‌های رطوبتی و بدون توصیف (Characterizing) انجام گرفت.

علاوه بر نتایج حاصله از این تحقیق، Skaggs و همکاران (٢٠٠٤) نیز نشان دادند که شبیه‌سازی‌های HYDRUS-2D آبیاری قطره‌ای در توافق با اندازه‌گیری های مزرعه‌ای است. همچنین Siyal and Skaggs (٢٠٠٩)، در مطالعه خود برای شبیه‌سازی تغییرات رطوبت خاک در آبیاری زیرسطحی با نرم‌افزار ((HYDRUS (2D/3D))، نتیجه گرفتند که پیش‌بینی‌های درصد رطوبت خاک با استفاده از HYDRUS همبستگی‌های خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد.

شکل ٢ الگوی رطوبتی حاصل از نرم افزار HYDRUS-2D که برای دبی‌های مختلف ١٥، ١٢، ١٠، ٨، ٦ و ٤ سانتی متر بر ساعت اجرا شده است را در مدت زمان کاربرد ١٠ ساعت نشان می دهد.

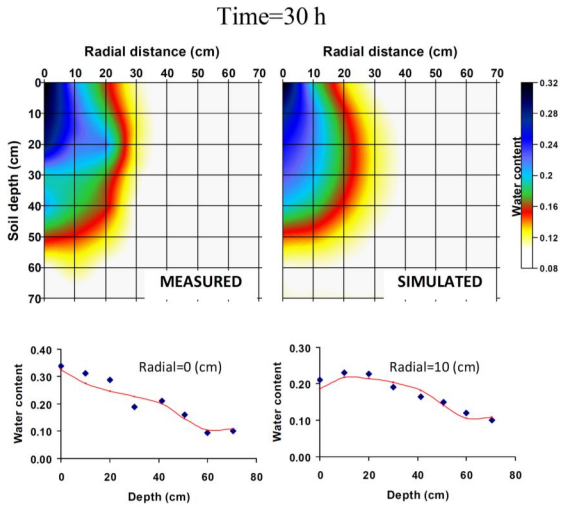
شکل‌های ٣ و ٤، مقادیر A_1، A_2، n_1 و n_2 را برای حصول معادلات مربوطه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که این مقادیر از برازش بهترین منحنی حاصل شده‌اند.

جدول ١- مشخصات هیدرولیکی خاک منطقه مورد مطالعه تا عمق ١٠٠ سانتی متری از سطح خاک

l	θ_r	θ_s	$K_s\,(\mathrm{cm.d^{-1}})$	n	$\alpha\,(\mathrm{cm^{-1}})$
-٠/٨٢	٠/٠٥٤	٠/٤٤	١٤/٥٩	١/٤٢	٠/١٢٣

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- درصد رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در زمان کاربرد ۳۰ ساعت. نقاط نشان دهنده رطوبت‌های اندازه‌گیری شده و خط ممتد نشان دهنده رطوبت‌های شبیه‌سازی شده

با در دست داشتن مقادیر A_1، A_2، n_1 و n_2، روابط نیمه-تجربی موردنظر حاصل می‌شوند:

$$d = 1.303 k_s^{0.009} q^{0.331} t^{0.339} \quad (۱۱)$$

$$z = 1.441 k_s^{0.163} q^{0.279} t^{0.442} \quad (۱۲)$$

نتایج حاصله با نتایج پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷)، که از داده‌های مزرعه ای حاصل شده اند، مطابقت دارد. تنها اختلاف موجود مربوط به ضرایب A_1 و A_2 می‌باشد که در این تحقیق مقادیر کمتری حاصل شده اند و این امری بدیهی است؛ زیرا فرمول‌های حاصله در تحقیق ایشان مربوط به خاک شنی بوده است.

معادلات پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷) به شکل زیر می-باشند:

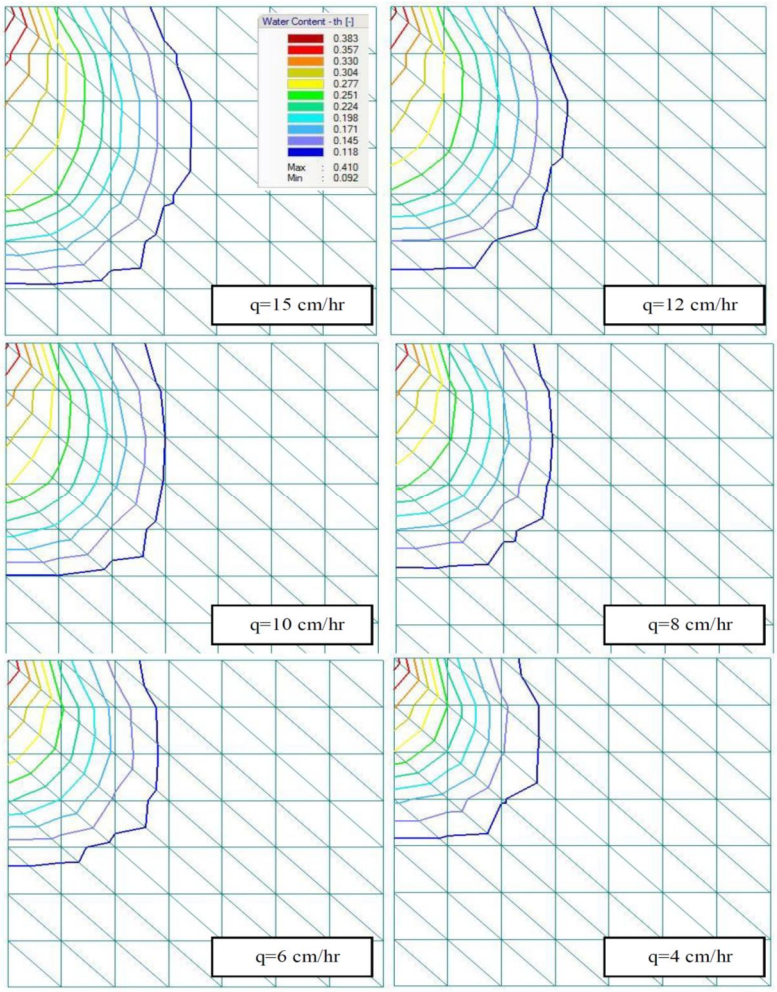
$$d = 2.22 k_s^{(-0.009)} q^{(0.34)} t^{0.33} \quad (۱۳)$$

$$z = 1.78 k_s^{(0.14)} q^{(0.3)} t^{0.42} \quad (۱٤)$$

جدول ۲، مقادیر متغیرهایی مثل دبی و زمان را به همراه مقادیر مشاهداتی و پیش بینی دو متغیر عمق و حداکثر قطر خیس شده و خطای نسبی مربوط به آنها نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



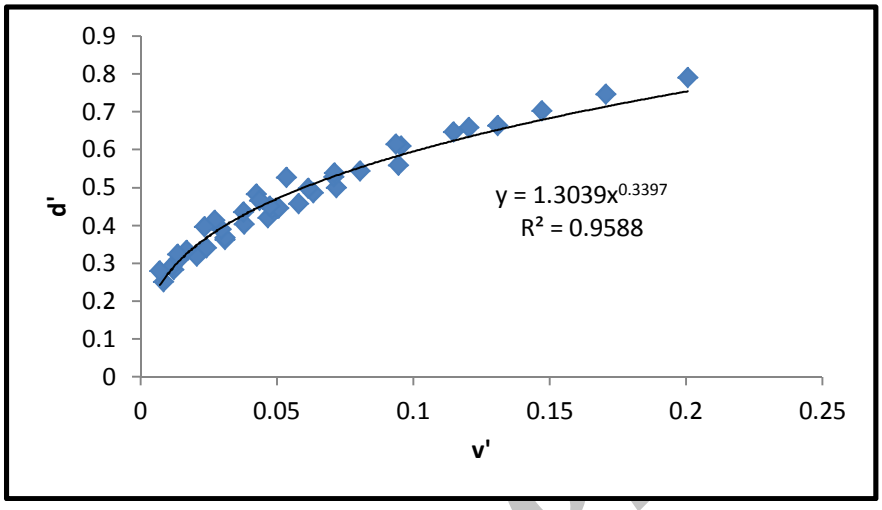
شکل ۲- پیاز رطوبتی مدل شده توسط نرم افزار HYDRUS-2D در زمان کاربرد ۱۰ ساعت برای دبی های مختلف

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مقدار خطای نسبی برای پیش بینی حداکثر قطر خیس شده، در بازه ۱۳/۵-۰/۱ درصد (میانگین قدر مطلق خطای نسبی ۵ درصد) بوده و در ۵۱ درصد موارد مقدار پیش بینی شده کمتر از مقدار واقعی است. مقدار خطای نسبی در محاسبه عمق جبهه رطوبتی نیز بین ۸/۹-۰ درصد (میانگین قدر مطلق خطای نسبی ۲/۸ درصد) بوده که در ٤٤ درصد موارد، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی بوده است. این مقادیر کمتر از نتایج حاصله توسط پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷) که مقدار خطای نسبی برای پیش‌بینی حداکثر قطر خیس شده را در بازه ۱٤/۳-۱/٤ درصد و مقدار خطای نسبی در محاسبه عمق جبهه رطوبتی را بین ۱۳-۰ درصد به دست آوردند، می‌باشد. نتایج شاخص‌های آماری همچون شاخص همبستگی R و شاخص‌های خطای RMSE و MAE در جدول ۳ نیز نشان می‌دهد که فرمول‌های ارائه شده دقت بالایی در پیش‌بینی حداکثر قطر خیس شده و عمق جبهه رطوبتی دارد. مقایسه مقادیر RMSE با مقادیر RMSE حاصله در مطالعه پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷) (RMSE برای d، ۳/۸ سانتی‌متر و برای Z، ۳/٦ سانتی‌متر در خاک شنی) نشان از قابلیت بیشتر معادلات ارائه شده در تحقیق نسبت به معادلات ایشان دارد.

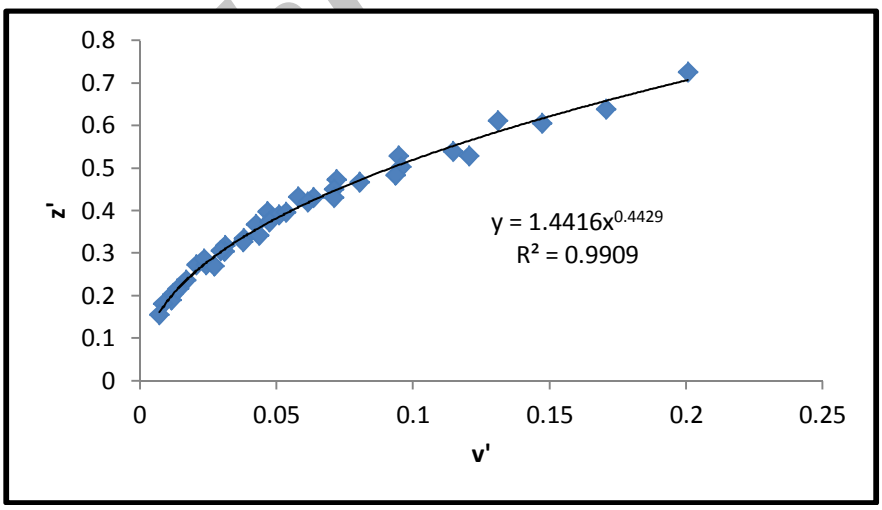
www.SID.ir

جدول ۳- نتایج شاخص های خطا و همبستگی

آماره	Z	d
RMSE	۱/۷۷۵	۳/٤۰٦
MAE	۱/۱۷۷	۱/۷۰٦
R	۰/۹۹۳	۰/۹۷۰



شکل ۳- حصول مقادیر A_1 و n_1



شکل ٤- حصول مقادیر A2 و n2

www.SID.ir

جدول ۲- مقادیر متغیرها به همراه مقادیر پیش بینی شده عمق و حداکثر قطر خیس شده و خطای نسبی مربوط به آنها

ردیف	q (cm/hr)	t (hr)	Z (cm)	d (cm)	پیش بینی Z (cm)	پیش بینی d (cm)	خطای نسبی Z (٪)	خطای نسبی d (٪)
۱	۱۵	۳/۵	۳۶	۵۰	۳۶/۰	۵۱/۱	۰/۱	۲/۲
۲	۱۵	۶	۴۸	۵۶	۴۵/۷	۶۱/۴	-۴/۷	۹/۶
۳	۱۵	۷	۴۸	۶۰	۴۸/۹	۶۴/۶	۲/۰	۷/۷
۴	۱۵	۹	۵۶	۶۴	۵۴/۷	۷۰/۴	-۲/۳	۱۰/۰
۵	۱۵	۱۳/۵	۷۰	۷۴	۶۵/۴	۸۰/۸	-۶/۵	۹/۱
۶	۱۲	۳	۳۰	۴۶	۳۱/۶	۴۵/۱	۵/۴	-۲/۱
۷	۱۲	۸	۴۸	۵۸	۴۸/۸	۶۲/۸	۱/۶	۸/۳
۸	۱۲	۱۱	۵۸	۷۶	۵۶/۲	۷۰/۰	-۳/۲	-۷/۹
۹	۱۲	۱۲/۵	۶۰	۷۰	۵۹/۴	۷۳/۱	-۱/۰	۴/۴
۱۰	۱۲	۱۵	۶۸	۷۲	۶۴/۴	۷۷/۷	-۵/۳	۸/۰
۱۱	۱۰	۲	۲۶	۳۶	۲۵/۱	۳۷/۰	-۳/۴	۲/۷
۱۲	۱۰	۴	۳۴	۴۸	۳۴/۱	۴۶/۸	۰/۴	-۲/۶
۱۳	۱۰	۷	۴۴	۵۶	۴۳/۷	۵۶/۵	-۰/۷	۰/۹
۱۴	۱۰	۹	۴۸	۵۸	۴۸/۸	۶۱/۶	۱/۸	۶/۱
۱۵	۱۰	۱۲	۵۶	۶۴	۵۵/۵	۶۷/۹	-۰/۹	۶/۰
۱۶	۱۰	۱۵	۶۲	۷۰	۶۱/۲	۷۳/۲	-۱/۳	۴/۶
۱۷	۱۰	۱۷	۶۸	۷۲	۶۴/۷	۷۶/۴	-۴/۹	۶/۱
۱۸	۸	۱/۵	۲۰	۳۶	۲۰/۸	۳۱/۱	۳/۹	-۱۳/۵
۱۹	۸	۳	۲۸	۴۰	۲۸/۲	۳۹/۴	۰/۹	-۱/۵
۲۰	۸	۸	۴۲	۵۶	۴۳/۶	۵۴/۹	۳/۷	-۱/۹
۲۱	۸	۱۰	۴۸	۵۸	۴۸/۱	۵۹/۲	۰/۲	۲/۲
۲۲	۸	۱۳	۵۴	۶۴	۵۴/۰	۶۴/۸	۰/۰	۱/۲
۲۳	۸	۱۵	۵۸	۶۸	۵۷/۵	۶۸/۰	-۰/۸	۰/۰
۲۴	۸	۱۷	۶۰	۷۰	۶۰/۸	۷۰/۹	۱/۳	۱/۳
۲۵	۸	۲۰	۶۸	۷۲	۶۵/۳	۷۴/۹	-۳/۹	۴/۱
۲۶	۶	۲/۵	۲۴	۳۶	۲۴/۰	۳۳/۷	۰/۲	-۶/۵
۲۷	۶	۵	۳۰	۴۶	۳۲/۷	۴۲/۶	۸/۹	-۷/۴
۲۸	۶	۸	۳۸	۵۲	۴۰/۲	۴۹/۹	۵/۸	-۴/۰
۲۹	۶	۱۳	۴۸	۶۰	۴۹/۸	۵۸/۹	۳/۸	-۱/۹
۳۰	۶	۱۷/۵	۵۶	۶۸	۵۶/۸	۶۵/۱	۱/۵	-۴/۲
۳۱	۶	۲۱	۶۰	۷۲	۶۱/۶	۶۹/۳	۲/۷	-۳/۸
۳۲	۶	۲۴	۶۸	۷۴	۶۵/۳	۷۲/۵	-۳/۹	-۲/۱
۳۳	۴	۳/۵	۲۶	۳۶	۲۴/۹	۳۳/۰	-۴/۲	-۸/۳
۳۴	۴	۸	۳۶	۴۸	۳۵/۹	۴۳/۷	-۰/۳	-۹/۰
۳۵	۴	۱۴	۴۴	۵۶	۴۶/۰	۵۲/۸	۴/۵	-۵/۷
۳۶	۴	۱۸	۴۸	۶۰	۵۱/۴	۵۷/۵	۷/۱	-۴/۲
۳۷	۴	۲۲	۵۵	۶۴	۵۶/۲	۶۱/۵	۲/۱	-۳/۹
۳۸	۴	۲۵/۵	۵۸	۶۸	۵۹/۹	۶۴/۷	۳/۳	-۴/۹
۳۹	۴	۳۰	۶۶	۷۲	۶۴/۴	۶۸/۴	-۲/۴	-۵/۱

Archive of SID

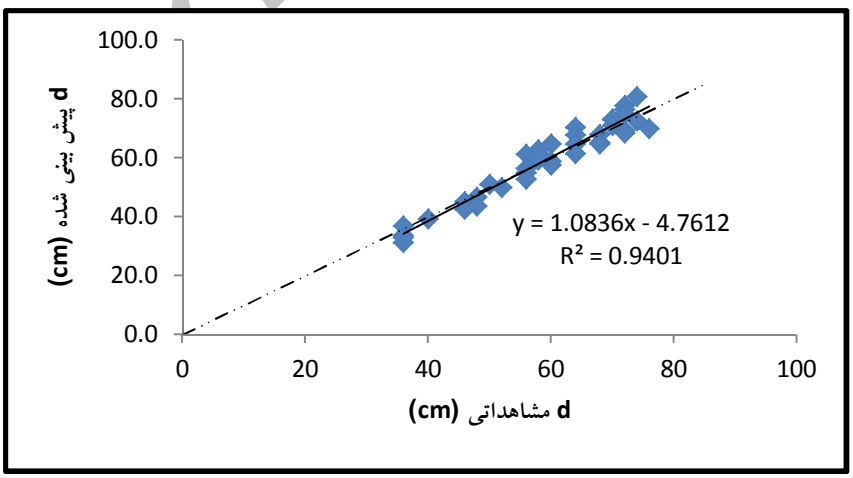
www.SID.ir

مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده عمق و حداکثر قطر خیس شدگی در شکل‌های ۵ و ٦ نشان داده شده است. در این شکل‌ها جهت مقایسه ساده، خط y=x به عنوان یک مرجع مناسب رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار ضریب تبیین مربوط به حداکثر قطر خیس شده، ۰/۹٤۰ و مقدار ضریب تبیین مربوط به عمق خیس شده ۰/۹۸٦ می‌باشد. مقایسه مقادیر حاصله با نتایج حاصل از مطالعه پلنگی و آخوند علی (۱۳۸۷) که مقدار ضریب تبیین ۰/۹۳۷ را برای حداکثر قطر خیس شده و مقدار ۰/۹٦۲ را برای عمق خیس شده به دست آوردند، نشان از توانایی بیشتر معادله تحقیق حاضر نسبت به معادله ایشان دارد. البته نباید اهمیت کار میدانی این افراد را نادیده گرفت. میرزایی و همکاران (۱۳۸٤) جهت نمون‌سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره-ای-نواری، آزمایشی را با دبی ثابت روی یک مدل فیزیکی پر شده از خاک با هدایت هیدرولیکی اشباع ۰/٤ متر بر ساعت در آزمایشگاه انجام داده و معادلاتی را ارائه نمودند که شکل این معادلات به صورت زیر می‌باشد:

$$d = 2.123\, k_s^{-0.08} q^{0.54} t^{0.46} \qquad (۱۵)$$

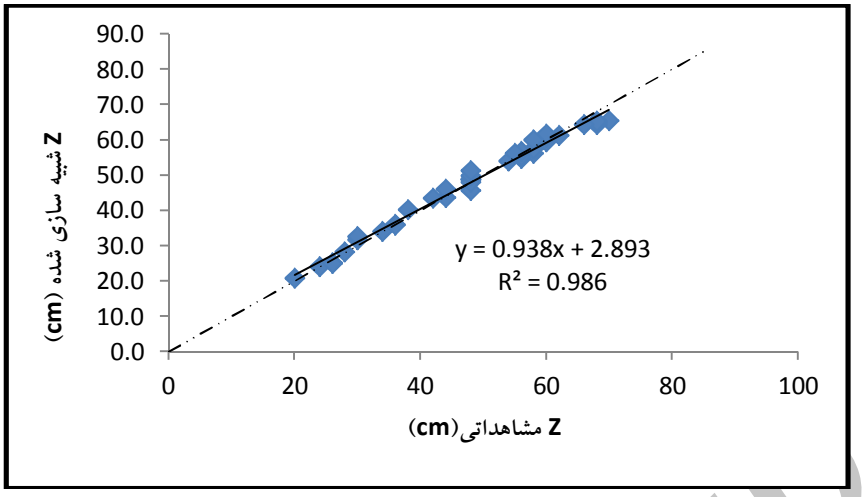
$$z = 2.281 k_s^{0.17} q^{0.42} t^{0.58} \qquad (۱٦)$$

که در این معادلات، q: دبی خروجی در واحد طول نوار بر حسب متر مکعب در ثانیه، k_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بر حسب متر بر ثانیه و t: زمان آبیاری بر حسب ثانیه می‌باشد. نتایج حاصله توسط این افراد، مقدار ضریب تبیین را برای مقادیر اندازه‌گیری شده d و z در مقابل مقادیر برآورد شده آنها، به ترتیب، ۰/۹۹۰ و ۰/۹۹۲ حاصل داد که نشان دهنده دقت خیلی خوب معادلات حاصله در مطالعه ایشان جهت حصول مقادیر d و z به هنگام خروج آب از یک منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره ای-نواری می‌باشد. مورد ملاحظه قرار دادن نتایج حاصله از مطالعات میرزایی و همکاران (۱۳۸٤)، پلنگی و آخوندعلی (۱۳۸۷) و مطالعه حاضر نشان می‌دهد که کاربرد قضیه π باکینگهام جهت شبیه‌سازی جبهه رطوبتی خاک، چه در شرایط آزمایشگاهی (مطالعه میرزایی و همکاران، ۱۳۸٤)، چه در شرایط مزرعه‌ای (مطالعه پلنگی و آخوندعلی، ۱۳۸۷) و چه در مدلسازی عددی (مطالعه حاضر) باعث ارائه فرمول‌هایی ساده و قابل قبول جهت مدل‌سازی جبهه رطوبتی خاک می‌شود.



شکل ۵- رابطه بین حداکثر قطر جبهه رطوبتی مشاهداتی و شبیه سازی شده

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٦- رابطه بین عمق جبهه رطوبتی مشاهداتی و شبیه سازی شده

نتیجه‌گیری

توانایی مدیریت آب در مزرعه، امکان تولید محصول موردنظر با آب کمتر را فراهم می‌آورد. با توجه به مشکلات موجود برای تعیین شکل پیاز رطوبتی که نیازمند صرف وقت و هزینه گزاف برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای است، ارائه فرمول‌هایی ساده و قابل کاربرد، توانایی افراد مختلف اعم از متخصص و غیر متخصص در مدیریت آب را بالا می‌برد. توسط فرمول‌های ساده ارائه شده در این تحقیق که از نظر شاخص‌های آماری قابل اطمینان می‌باشند، با در دست داشتن مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان و مدت زمان کارکرد آن، به راحتی می توان عمق و حداکثر قطر خاک خیس شده در مزرعه توسط یک قطره‌چکان را به دست آورد. در نهایت می‌توان اذعان کرد که با کاربرد نرم‌افزار HYDRUS و در نتیجه ارائه چنین روابطی، این امکان وجود دارد که بتوان سیستم آبیاری قطره‌ای را به درستی طراحی و برنامه‌ریزی کرد و در مدیریت بهینه این سیستم موفق عمل نمود.

فهرست منابع

آبابایی، ب.، سرائی تبریزی، م.، فرهادی بانسوله، ب.، سهرابی، ت. و میرزایی، ف. ۱۳۹۱. ارزیابی واسنجی مدل CERES-Barley با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم‌آبیاری. حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۲): ۳۷- ٤٨.

پلنگی، ج. ع. و آخوند علی، ع. م. ۱۳۸۷. یک مدل نیمه تجربی به منظور تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در ابیاری قطره ای، تحت منبع نقطه‌ای. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (٤٤)، ۹۵-۸۵.

سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سویا با استفاده از مدل BUDGET. حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۳): ٤٧- ۵۸.

سلامت منش، غ. ۱۳۷۵. بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم های آبیاری قطره ای در سطح استان سمنان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

ملکیان ر. و قیصری م. ۱۳۹۰. حساسیت سنجی مدل CSM-CERES-Maize نسبت به ظرفیت زراعی خاک برای شبیه سازی سرنوشت نیتروژن در نیمرخ خاک. حفاظت منابع آب و خاک. ۱(۲): ۱-۱۳.

میرزایی، ف.، لیاقت، ع.ا.، سهرابی، ت. و امید، م. ح.. ۱۳۸٤. نمون سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره ای-نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ٦(۲۳)، ٦٦-۵۳.

ناصری، ا.، بابازاده، ح. و نخجوانی، س. ۱۳۹۰. انتخاب مناسب‌ترین دبی گسیلنده با تحلیل توزیع رطوبت از یک گسیلنده نقطه‌ای. حفاظت منابع آب و خاک. ۱(۱): ۲۹-٤۲.

Archive of SID
www.SID.ir

Jiusheng, L.I., Jianjun, Z. and Ren, L.I. 2003. Water and nitrogen distribution as effected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. Irrig. Sci., 22: 19-30.

Metin, S.S., Yazar, A. and Eker, S. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agricultural Water Management, 81: 115-131.

Revol, P., Clothier, B.E., Mailhol, J.C., Vachaud, G. and Vauclin, M. 1997. Infiltration from a source point source and drip irrigation 2. An approximate time-dependent solution for wet-front position. Water Resour. Res., 33(8): 1869-1874.

Risse, L.M. and Chesness, J.L. 1989. A single simplified design procedure to determinate the wetted radius for a trickle emitter. Trans. ASCE., 32(6): 1909-1913

Rouphael, Y., Mariateresa, C., Elvira, R., Alberto, B. and Giuseppe, C. 2006. Comparison of the sub irrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. Agricultural Water Management, 82: 99-117.

Ruhi, B., Karaguzel, O., Aydinsakir, K. and Buyuktas, D. 2006. The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolus plant. Agricultural Water Management, 81: 132-144.

Schaap, M.G., Leij, F.J. and van Genuchten, M.Th. 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic properties with hierarchical pedotransfer functions. Hydrol., 251: 163–176.

Schwartzman, M. and Zur, B. 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. Irrig. and Drain. Eng., 112(3): 242-253.

Simunek, J., Sejna, M. and van Genuchten, M.Th . 2006. The HYDRUS soft ware package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical Manual, Version 1.0. PC Progress, Prague, Czech Republic.

Simunek, J., Sejna, M. and van Genuchten, M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. IGWMC-TPS 53, Version 2.0, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden.

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

Siyal, A.A. and Skaggs, T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. Agricultural Water Management, 96: 893–904.

Skaggs, T.H., Trout, T.J., Simunek, J. and Shouse, P.J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. J. Irrig. Drain.Eng., 30: 304–310.

Archive of SID

www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Simulating wetting front in drip irrigation using HYDRUS-2D

Neda Khanmohamadi[1], and Sina Besharat[2*]

1) PhD student, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia 57135-165, Iran
2*) Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia 57135-165, Iran
Corresponding author email: sina323@yahoo.com

Received: 16-12-2012 Accepted: 02-06-2013

Archive of SID

Abstract

Quantitative perception of soil hydraulic behavior has important impact on optimal soil and water resources conservation. Understanding of this behavior in drip irrigation system is a real task for researchers. The geometry of moisture pattern created by trickles in soil is one of the important criterions in drip irrigation system. Several important parameters such as soil hydraulic functions, drip discharge and irrigation time directly influence the dimensions of created wetting front. The objective of this study was to determine the wetting front dimensions created by point sources. For examining HYDRUS-2D software capability, a T-tape drip irrigation method with 2.388 cm/hr discharge and maximum depth of 70 cm was conducted in the Urmia University experimental field. At the end of irrigation experiment, the water distribution condition in soil was determined by gravimetric soil sampling method. When performance of simulation model confirmed to be accurate enough for simulation purposes, six different discharges with trickle function of maximum 30 h, was conducted by the software. Some simple relationships were obtained by using Buckingham π theorem. These equations determinate the depth and maximum diameter of soil by using soil hydraulic conductivity, drip discharge and irrigation time. The obtained correlation coefficients (0.993 and 0.970) and mean absolute error values (1.177 and 1.706) for determining the depth and maximum diameter of soil confirmed the capability of these semi empirical equations for calculating moisture pattern geometry dimensions. Consequently, these derived equations can be used for design and optimal management of drip irrigation system in the studied conditions.

Keywords: drip irrigation; HYDRUS-2D software; soil moisture pattern; wetting front

www.SID.ir