

مدل سازی دو بعدی و بررسی تأثیر شیب بر توزیع رطوبت اطراف قطره چکان سطحی با روش احجام محدود

رسول قبادیان¹

تاریخ پذیرش: 1394/1/18 تاریخ پذیرش: 1394/6/11

چکیده

شبیه سازی عددی یک روش سریع و کم هزینه برای مطالعه و مدیریت بهینه کاربرد آب در مزرعه است. بدین منظور مدل های عددی مختلفی برای تعیین توزیع رطوبت در خاک ارایه شده است که اساس کار آن ها حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک می باشد. در این تحقیق معادله حاکم بر جریان آب در خاک اطراف قطره چکان (معادله ریچاردز برای خاک اشباع - غیر اشباع) به روش عددی احجام محدود و تکنیک کرنک نیکلسون مفصل سازی شد. دستگاه معادلات حاکم به روش تکراری ژاکوبی حل شد. واسنجی مدل با استفاده از داده های اندازه گیری رطوبت اطراف لوله جدار نازک آبیاری قطره ای مدفون شده در عمق 6 سانتی متری در یک خاک شنی - لومی و همچنین مقایسه با نتایج مدل HYDRUS-2D که هر دو توسط (Skaggs et al, 2004) انجام شده است صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب اطراف قطره چکان دقت مدل احجام محدود این تحقیق با مدل المان های محدود HYDRUS-2D کاملاً برابری می کند و توزیع رطوبت اندازه گیری شده در مزرعه را با خطای کم تر از هفت درصد برآورد می کند. در ادامه با مدل حاضر توزیع رطوبت اطراف قطره چکان بر روی سطح خاک شیب دار در شرایط آبیاری و پس از قطع جریان آب بررسی شد.

واژه های کلیدی: آبیاری قطره ای، حرکت آب در خاک، روش احجام محدود، شبیه سازی عددی

مقدمه

محققین بوده است. از اینرو تحقیقات فراوانی در این خصوص تا به امروز انجام شده است.

محمدی و همکاران (1392) تحقیقی را با موضوع بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب دار و به منظور بررسی اثر شیب و مدت زمان آبیاری بر روی ابعاد پیاز رطوبتی در منطقه ی فتحعلی دشت مغان انجام دادند. آزمایشات روی قطره چکان با دبی ثابت 4 لیتر بر ساعت در مدت زمان های آبیاری 2، 4 و 6 ساعت و شیب های 0، 5، 15 و 25 درصد با بافت خاک لوم سیلتی انجام گرفت. نتایج نشان داد با افزایش شیب زمین، مساحت و حجم پیاز رطوبتی در مدت زمان آبیاری ثابت افزایش یافت. همچنین نشان داد در اراضی شیب دار برخلاف اراضی مسطح قسمت عمده ی توزیع رطوبت به ویژه هسته ی رطوبتی در پایین دست قطره چکان واقع شده و پیاز رطوبتی در این اراضی نسبت به اراضی مسطح بزرگ تر بوده است.

خرمی و همکاران (1392) شبیه سازی حرکت آب و توزیع مجدد رطوبت در خاک را در آبیاری قطره ای با مدل HYDRUS دو و سه بعدی انجام دادند. نتایج آن ها نشان داد که مدل های دروس دو و سه بعدی توانایی بالایی در شبیه سازی میزان رطوبت خاک دارد.

شریف نیا و همکاران (1388) اثر شیب زمین، دبی قطره چکان و

امروزه آبیاری قطره ای سطحی زیرسطحی به عنوان یکی از پیشرفته ترین و مهم ترین روش های آبیاری در کشاورزی مطرح است و از جمله روش هایی است که در سال های اخیر به دلیل افزایش راندمان و بالا بردن کارایی مصرف آب جایگاه ویژه ای در کشاورزی پیدا کرده است. در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی آب در حجم و فشار کم در اختیار گیاه قرار می گیرد که موجب کاهش تلفات و بالا رفتن کارایی مصرف آب می شود. از طرفی چون تلفات تبخیر در این سیستم ها نسبت به سایر سیستم های آبیاری اندک است راندمان آبیاری در آن ها افزایش می یابد (افشار جهان شاهی و همکاران، 1391).

به طور کلی طراحی سیستم های آبیاری قطره ای نیازمند داشتن آگاهی از چگونگی توزیع رطوبت در محل قطره چکان ها یا به بیانی دیگر، آگاهی داشتن از الگوی خیس شدن نیم رخ خاک که در اصطلاح به آن پیاز رطوبتی گویند، می باشد. شناخت و تخمین مناسب خصوصیات و عوامل مؤثر بر پیاز رطوبتی خاک همواره مورد توجه

1- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه

rsghobadian@gmail.com

المان محدود HYDRUS-2D نشان داد توزیع رطوبت محاسبه شده توسط مدل مذکور تطابق خیلی خوبی با داده‌های اندازه‌گیری دارد (Skaggs et al, 2004).

کندلوس و سایمونک از نرم‌افزار HYDRUS برای ارزیابی توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان یک خاک لوم رسی استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی با دو سری آزمایش آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با قطره‌چکان‌های نصب شده در عمق‌های مختلف مقایسه و ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که بین شبیه‌سازی‌ها و مشاهدات تطابق خوبی وجود داشت (and Simunek, 2010) Kandelous.

ال - نر و همکاران به منظور شبیه‌سازی آبیاری با دو قطره‌چکان زیرسطحی و یک مانع فیزیکی در مقابل حرکت آب و انتقال املاح در خاک‌ها با مدل HYDRUS تحقیقی را انجام دادند (EL-Nesr et al, 2013).

در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای شکل الگوی رطوبتی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در انتخاب قطره‌چکان است و روی حجم آب آبیاری مؤثر است (پلنگی و آخوند علی، 1387). بررسی منابع قبلی نشان می‌دهد اکثر تحقیقات آزمایشگاهی بوده و یا استفاده از مدل‌های مبتنی بر روش المان‌های محدود است. هدف اصلی این تحقیق تهیه مدلی کامپیوتری بر مبنای روش حجم کنترل برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان مدفون و سطحی در اراضی مسطح و شیب‌دار می‌باشد. در ادامه نتایج با داده‌های اندازه‌گیری قبلی و همچنین نتایج مدل المان محدود HYDRUS 2D مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم شرایط مرزی

معادله حاکم بر مساله رابطه ریچاردز در شرایط جریان غیر ماندگار، در محیط متخلخل غیرهمروند و غیرهمگن دو بعدی است. این معادله با فرض اینکه هوا نقش ناچیزی در حرکت جریان آب داشته باشد در مختصات دکارتی به شکل زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y}) + K_y(\psi) \pm \frac{q_s}{\Delta x \Delta y} = \frac{\partial \theta(\psi)}{\partial t} \quad (1)$$

که در آن θ رطوبت حجمی $[L^3/L^3]$ ، ψ بار فشاری $[L]$ مثبت یا منفی، K هدایت هیدرولیکی $[L/T]$ ، y مختص عمودی $[L]$ (در جهت بالا مثبت)، x مختص افقی $[L]$ ، t زمان $[T]$ ، q_s دبی تزریق (+) یا تخلیه $(-)$ $[L^2/T]$. Δx و Δy و به ترتیب اندازه

مدت زمان آبیاری بر پیاز رطوبتی را در خاک لوم سیلتی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اکثر موارد در اثر شیب، این رطوبتی پیاز به پایین دست کشیده شده است.

خان محمدی و بشارت (1392) توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای T-Tape در یک خاک لوم رسی را با استفاده از مدل HYDRUS-2D به دست آوردند و با اندازه‌گیری صحرایی مقایسه کردند. سپس با استفاده از نتایج اجرای مدل برای دبی‌های مختلف قطره‌چکان در طی 30 ساعت آبیاری، روابط ساده‌ای برای محاسبه عمق و قطر خیس شده پیاز رطوبتی به ازای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان و ساعت کارکرد ارائه نمودند.

کاظمی و صدرالدینی (1392) پیاز رطوبتی اطراف قطره‌چکان و در حد فاصل دو قطره‌چکان بر روی یک لترال در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک لومی شنی را شبیه‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد کارایی مدل سه بعدی HYDRUS در مقایسه با مدل دوبعدی آن در پیش‌بینی پیاز رطوبتی اطراف قطره‌چکان و در فاصله بین آن‌ها بهتر است ولی با افزایش زمان آبیاری از یک ساعت به چهار ساعت اختلاف نتایج دو مدل با داده‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک کاهش می‌یافت.

قربانیان و همکاران (1393) نتایج مدل HYDRUS-2D و SEEP/W را در پیشروی جبهه رطوبتی اطراف قطره‌چکان با داده‌های اندازه‌گیری مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد عملکرد مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی جبهه رطوبتی اطراف قطره‌چکان سطحی و زیرسطحی بهتر از مدل SEEP/W می‌باشد.

میرزایی و همکاران (1384) گسترش و ابعاد پیاز رطوبتی اطراف قطره‌چکان در زمان‌های مختلف را با استفاده از مدل فیزیکی بررسی کردند و با استفاده از آنالیز ابعادی و نتایج آزمایش‌های فیزیکی روابط را ارائه نمودند.

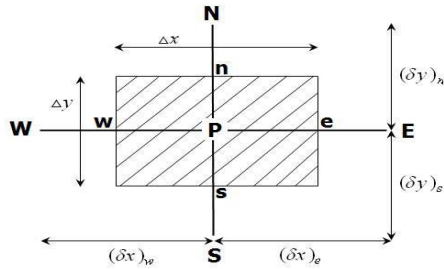
اژدری (1387) با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی کارایی مدل HYDRUS-2D را ارزیابی نمود. نتایج وی نشان داد با انتخاب دور مناسب آبیاری و دبی مناسب قطره‌چکان در طول فصل زراعی می‌توان رطوبت خاک را در محدود ظرفیت زراعی نگه داشت.

مصطفی زاده و همکاران (1377) تحقیقی با موضوع پیشروی جبهه‌ی رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیب‌دار انجام دادند. آن‌ها در چهار بافت خاک با شیب‌های 0، 2، 5 و 10 درصد و به کار بردن سه دبی 4، 8 و 12 لیتر در ساعت به بررسی و مقایسه‌ی مساحت و حجم خیس شده و ابعاد پیاز رطوبتی در این شیب‌ها پرداختند. نتایج نشان داد در خاک‌های با بافت سنگین نسبت به خاک با بافت سبک سطح خیس شده افزایش یافته و جبهه‌ی رطوبتی از عمق کم‌تری برخوردار است.

نتایج اندازه‌گیری اسکاگر و همکاران و مقایسه با خروجی مدل

منفصل سازی معادله حاکم

در این تحقیق برای منفصل کردن معادله دیفرانسیل 1 از روش حجم کنترل (F.V) استفاده شده است (Versteeg and Malalasekera, 1995). در این روش ابتدا از معادله حاکم (رابطه 1) روی حجم کنترل نشان داده شده در شکل (1) انتگرال گرفته می شود.



شکل 1- معرفی نقطه P و حجم کنترل مربوط به آن

$$\int_{s_w}^{n_e} \int_{t}^{t+dt} \frac{\partial \theta(\psi_p)}{\partial t} dt dx dy = \int_{t}^{t+dt} \int_{s_w}^{n_e} \frac{\partial}{\partial x} (K_x(\psi_p) \frac{\partial \psi_p}{\partial x}) dx dy dt + \int_{t}^{t+dt} \int_{w_s}^{e_n} \frac{\partial}{\partial y} (K_y(\psi_p) \frac{\partial \psi_p}{\partial y}) + K_y(\psi_p) dy dx dt + \int_{t}^{t+dt} \int_{w_s}^{e_n} \frac{\pm q_s}{\Delta x \Delta y} dy dx dt \quad (6)$$

پس از منفصل نمودن به روش کرنک - نیکلسون نهایتاً معادله دیفرانسیل 1 به معادله جبری 7 تبدیل می شود:

$$A_P \times \psi_E^{t+dt} + B_P \times \psi_n^{t+dt} + C_P \times \psi_p^{t+dt} + D_P \times \psi_w^{t+dt} + E_P \times \psi_s^{t+dt} = F_P \quad (7)$$

که در آن:

$$A_P = \phi K(\psi)_e \frac{dy dt}{\delta x_e}$$

$$B_P = \phi K(\psi)_n \frac{dx dt}{\delta y_n}$$

$$D_P = \phi K(\psi)_w \frac{dy dt}{\delta x_w}$$

$$E_P = \phi K(\psi)_s \frac{dx dt}{\delta y_s}$$

$$C_P = -(A_P + B_P + D_P + E_P) - f(\psi) dx dy$$

شبکه در جهت X و Y می باشند [L].

یکی از مشکلات اصلی که مدل های شبیه ساز جریان آب در خاک با آن مواجه هستند تعیین پارامترهای ورودی به مدل است که حتی می توانند کاربرد مدل را محدود کنند. هدایت هیدرولیکی غیر- اشباع یکی از مهم ترین پارامترهای ورودی است که با مکان و زمان تغییر می کند.

قبل از حل معادله ریچاردز به صورت عددی به یک مدل هدایت هیدرولیکی غیر اشباع نیاز است. این مدل می تواند بر مبنای تابع نمایی گاردنر باشد. این مدل رابطه بین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و بار فشاری را نشان می دهد. بررسی های لیج و همکاران نشان داد این تابع در بین 5 تابع دیگر ضعیف ترین عملکرد را دارد (Leij et al, 1979). مدل HYDRUS از جمله مشهورترین نرم افزارها در خصوص شبیه سازی جریان آب در خاک می باشند از تابع Van Genuchten (1980) که عملکرد بهتری دارد استفاده می کنند. در این تحقیق نیز از تابع مذکور که به شکل زیر است استفاده شد:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\psi_p}{\psi_b} \right)^{1+\lambda}} \right]^{\frac{\lambda}{1+\lambda}} \quad (2)$$

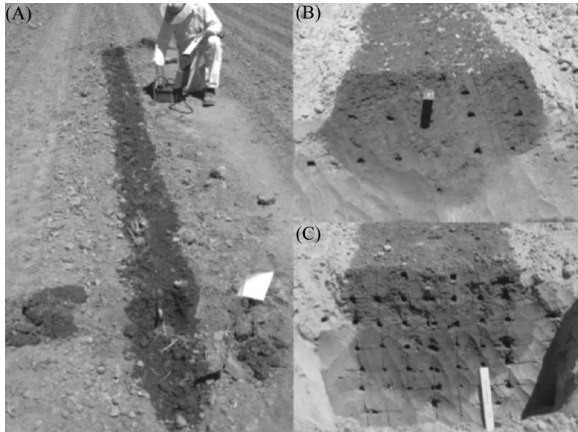
$$\frac{K(\theta)}{K_s} = \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^l \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1+\lambda}{\lambda}} \right)^{\frac{\lambda}{1+\lambda}} \right]^{-2} \quad (3)$$

$$f(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} = m \times (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right]^{m-1} \times \left[\frac{-n \alpha (\alpha \psi)^{n-1}}{(1 + (\alpha \psi)^n)^2} \right] \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{\psi_b}, \quad n = 1 + \lambda, \quad m = 1 - \frac{1}{n} \quad (5)$$

در این روابط S_e رطوبت مؤثر، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع θ_r و θ_s رطوبت باقی مانده و رطوبت اشباع $[L^3/L^3]$ ، l پارامتر توزیع خلل و فرج، α $[1/L]$ ، n و m پارامترهای تجربی هستند. پارامتر l در تابع هدایت هیدرولیکی برای اکثر خاک ها به طور متوسط 0/5 تخمین زده شده است. در روابط فوق پارامترهای θ_r ، θ_s ، α ، K_s ، ψ_b بر ای هر بافت خاکی متفاوت هستند.

اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک در چند نقطه از نمونه‌بردار با قطر 5/7 و طول 6 سانتی‌متر استفاده شد. وزن مخصوص ظاهری خاک در محدوده مورد مطالعه از 1/45 تا 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییرات داشت.



شکل 2- الگوی رطوبت (a) در سطح خاک (b) و (c) در پروفیل حفاری شده در خاک که محل نقاط اندازه‌گیری و هم‌چنین لوله آبیاری نیز نشان داده شده است (Skaggs et al., 2004).

با توجه به اینکه طول نمونه برداشت شده برابر با فاصله قطره-چکان‌ها بر روی لوله مدفون است و از طرفی مطابق شکل (A-2) توزیع رطوبت در طول لوله تقریباً یکنواخت است بنابراین لوله مدفون یک منبع تزریق خطی به شمار می‌آید و می‌توان توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان را به صورت دوبعدی شبیه‌سازی نمود. بنابراین در این تحقیق نیز همانند Skaggs et al. (2004) توده خاک به پهنای 60 سانتی‌متر از هر طرف لوله قطره‌چکان و به عمق 70 سانتی‌متر به عنوان محدوده مورد مطالعه مورد نظر گرفته شد. علاوه بر این با توجه به تقارن نسبی توزیع رطوبت در توده خاک اطراف لوله (شکل 2- B و C) به خاطر کاهش تعداد مش مورد نیاز و زمان اجرای برنامه در تحقیق حاضر تنها یک طرف لوله آبیاری را برای شبیه‌سازی انتخاب شد (شکل 3).

شرایط مرزی

برای تمام گره‌ها روی مرزهای (AH)، (ED)، (CB)، شرط گرادیان فشار صفر در جهت افقی $(\frac{\partial \psi}{\partial x} = 0)$ برای مرزهای (DC) و (AB) شرط گرادیان فشار صفر در جهت عمودی $(\frac{\partial \psi}{\partial y} = -1)$ برقرار است، از اینرو برای نمونه معادله جبری عمومی (رابطه 7) برای نقاط روی مرز DE به شکل زیر خلاصه می‌شود:

$$F_p = (K(\psi)_s - K(\psi)_n) dx dt - f(\psi) dx dy \psi_p' - (1 - \phi) K(\psi)_e \frac{dy dt}{\delta x_e} (\psi_E' - \psi_P') + (1 - \phi) K(\psi)_w \frac{dy dt}{\delta x_w} (\psi_P' - \psi_W') - (1 - \phi) K(\psi)_n \frac{dx dt}{\delta y_n} (\psi_N' - \psi_P') + (1 - \phi) K(\psi)_s \frac{dx dt}{\delta y_s} (\psi_P' - \psi_S') \mp q_s dt$$

برای همه گره‌ها به‌جز گره زهکش یا نقطه تزریق برابر صفر است. $K(\psi)_e$ ضریب نفوذپذیری بر روی وجه شرقی حجم کنترل شکل 1 می‌باشد و در این تحقیق به صورت میانگین هارمونیک ضریب نفوذپذیری نقاط P و E در نظر گرفته می‌شود:

$$K(\psi)_e = \frac{2K(\psi)_E K(\psi)_P}{K(\psi)_E + K(\psi)_P} \quad (8)$$

در شرایطی که نقطه مرکزی حجم کنترل (P) بر روی مرزهای نفوذ ناپذیر، یکی از گوشه‌های محدوده شبکه‌بندی شده، قرار بگیرد رابطه 1 باید به صورت‌های خاص منفصل شود.

محدوده مورد مطالعه، شرایط اولیه و مرزی

محدوده مورد مطالعه این تحقیق همان محدوده در نظر گرفته شده توسط اسکاگز و همکاران (Skaggs et al, 2004) است. بافت خاک این محدوده لومی - ماسه‌ای است که در آن لوله قطره-چکان‌دار مدل (RO-DRIP 08-12-24) با قطر داخلی 16 و ضخامت جدار 8 میلی‌متر در عمق 6 سانتی‌متری از سطح خاک نصب شده است. لوله مذکور دارای طول 30 متر است که در هر 30 سانتی-متری بر روی آن خروجی قرار داشت. لوله به سه قسمت مساوی تقسیم شد تا این امکان فراهم شود که تأثیر سه زمان آبیاری 5، 10 و 15 ساعت بررسی شود. دبی آبیاری در تمام آزمایش‌ها برابر با 4 لیتر بر ساعت در واحد طول لوله می‌باشد. به عبارتی برای 5، 10 و 15 ساعت آبیاری، آب کاربردی معادل 20، 40 و 60 لیتر در واحد طول لوله مدفون می‌باشد.

در انتهای هر آبیاری و هم‌چنین 24 ساعت بعد از آن با حفاری خاک اطراف لوله و اندازه‌گیری رطوبت، توزیع رطوبت اطراف لوله قطره‌چکان اندازه‌گیری شد. برای این منظور در فواصل مشخصی اطراف لوله قطره‌چکان با یک نمونه‌بردار لوله‌ای فلزی با قطر داخلی 2 سانتی‌متر و طول 30 سانتی‌متر که به صورت افقی در خاک محل فرو برده شد نمونه‌های برای تعیین رطوبت تهیه گردید. در مرحله دوم اندازه‌گیری محل حفاری 30 سانتی‌متر با محل قبلی فاصله داشت. به منظور جلوگیری از تلفات تبخیر از سطح خاک بین دو مرحله اندازه‌گیری روی خاک با پوشش پلاستیکی پوشیده شد. هم‌چنین برای

گرادیان فشار $(\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{I}{K_x(\psi)})$ برقرار است که (1) شدت آبیاری می-

باشد. از اینرو برای نمونه معادله جبری عمومی (رابطه 7) برای نقاط روی مرز EF به صورت زیر خلاصه می شود:

$$A_P \times \psi_E^{t+dt} + C_P \times \psi_P^{t+dt} + D_P \times \psi_W^{t+dt} + E_P \times \psi_S^{t+dt} = F_P \quad (10)$$

$$A_P = \phi K(\psi)_e \frac{dy}{2\delta x_e}$$

$$D_P = \phi K(\psi)_w \frac{dy}{2\delta x_w}$$

$$E_P = \phi K(\psi)_s \frac{dx}{\delta y_s}$$

$$C_P = -(A_P + D_P + E_P) - 0.5 \times f(\psi) dx dy$$

$$F_P = K(\psi)_s dx dt - 0.5 \times f(\psi) dx dy \psi'_p$$

$$-(1-\phi)K(\psi)_e \frac{dy}{2\delta x_e} (\psi'_E - \psi'_P)$$

$$+(1-\phi)K(\psi)_w \frac{dy}{2\delta x_w} (\psi'_P - \psi'_W)$$

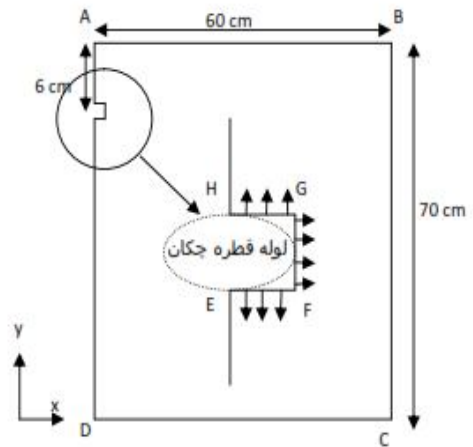
$$-(1-\phi)K(\psi)_n \frac{dx}{\delta y_n} (\psi'_N - \psi'_P) - I dx dt$$

شدت آبیاری I از رابطه زیر در این تحقیق محاسبه می شود:

$$I = \frac{\frac{q}{2}}{(L_{EF} + L_{FG} + L_{HG}) \times 100} = \frac{\frac{4000}{2} \text{ cm}^3 / \text{hr}}{(1\text{cm} + 1.5\text{cm} + 1\text{cm}) \times 100\text{cm}} = 5.714 \text{ cm} / \text{h} \quad (11)$$

که در آن q دبی قطره چکان و L طول هر قطعه از ناحیه تزریق می باشد.

برای اجرای برنامه لازم است علاوه بر معرفی رطوبت اولیه پارامترهای $\theta_r, \theta_s, \alpha, n, L$ به مدل معرفی شوند. با استفاده از مشخصات خاک محدوده و استفاده از نرم افزار ROSETA پارامترها مذکور استخراج شده (جدول 1) و به مدل معرفی شدند.



شکل 3- محدوده مورد مطالعه

$$A_P \times \psi_E^{t+dt} + B_P \times \psi_N^{t+dt} \quad (9)$$

$$+ C_P \times \psi_P^{t+dt} + E_P \times \psi_S^{t+dt} = F_P$$

$$A_P = \phi K(\psi)_e \frac{dy}{\delta x_e}$$

$$B_P = \phi K(\psi)_n \frac{dx}{2\delta y_n}$$

$$E_P = \phi K(\psi)_s \frac{dx}{2\delta y_s}$$

$$C_P = -(A_P + B_P + E_P) - 0.5 \times f(\psi) dx dy$$

$$F_P = 0.5 \times (K(\psi)_s - K(\psi)_n) dx dt - 0.5 \times f(\psi) dx dy \psi'_p$$

$$-(1-\phi)K(\psi)_e \frac{dy}{\delta x_e} (\psi'_E - \psi'_P)$$

$$-(1-\phi)K(\psi)_n \frac{dx}{2\delta y_n} (\psi'_N - \psi'_P)$$

$$+(1-\phi)K(\psi)_s \frac{dx}{2\delta y_s} (\psi'_P - \psi'_S)$$

برای تمام گره ها روی مرز (EF) شرط گرادیان فشار $(\frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{I}{K_y(\psi)} - 1)$ ، برای تمام گره ها روی مرز (HG) شرط گرادیان

فشار $(\frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{I}{K_y(\psi)} - 1)$ و برای تمام نقاط روی مرز (FG) شرط

جدول 1 - مشخصات خاک محدوده مورد مطالعه

L	n	α 1/cm	K_S (cm/h)	θ_s (%)	θ_r (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	درصد رطوبت در مکش 1500 کیلو پاسکال	درصد رطوبت در مکش 33 کیلو پاسکال	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه
-0/92	1/4	0/023	1/6	34	2/1	1/55	5/4	17	5/6	39/6	54/8

انحراف استاندارد تخمین که به صورت زیر تعریف می شود:

$$SSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\theta_m - \theta_c)^2} \quad (13)$$

متوسط خطای نسبی که به صورت زیر تعریف می شود:

$$AAE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{|\theta_m - \theta_c|}{\theta_m} \right) \quad (14)$$

در هر روش هر اندازه مقادیر محاسبه شده SSE، AME و AAE به صفر نزدیکتر باشد دقت آن بالاتر است.

به منظور مقایسه آماری نتایج مدل تهیه شده در این تحقیق با مقادیر اندازه گیری شده از پارامترهای آماری زیر استفاده گردید:

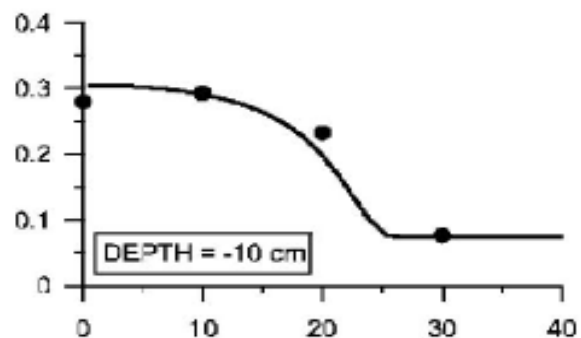
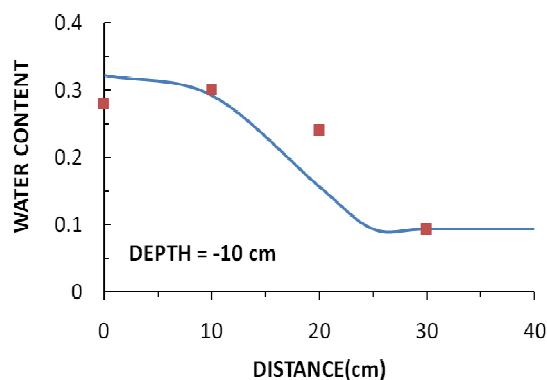
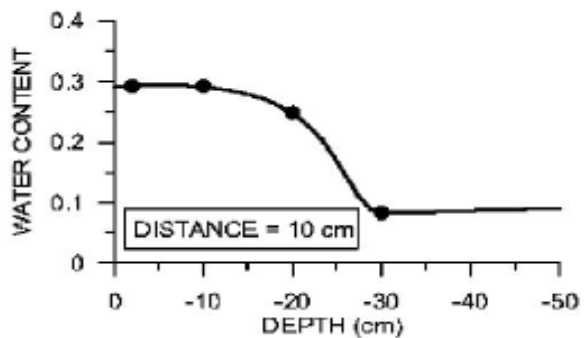
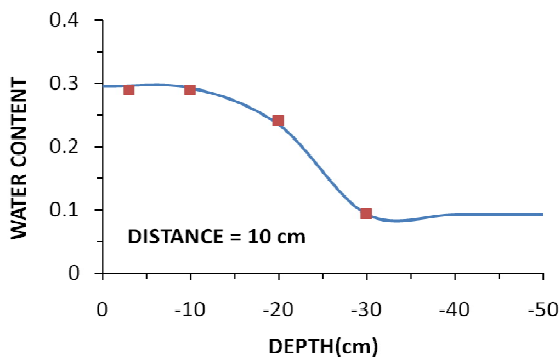
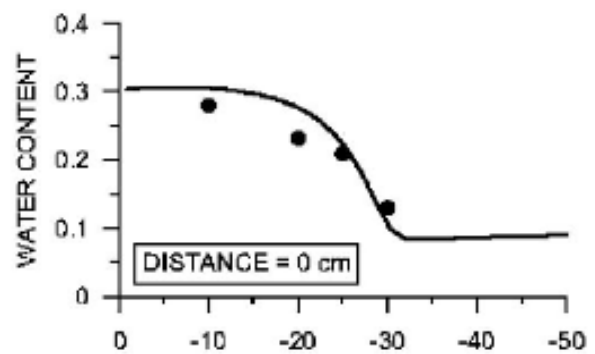
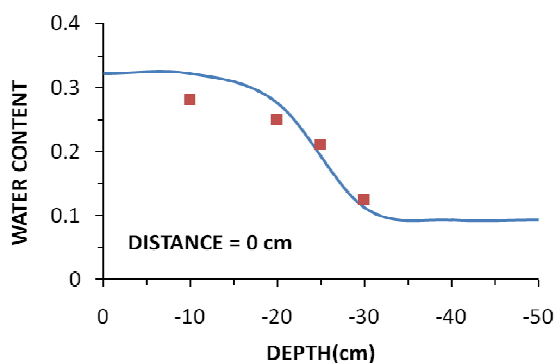
$R^2 =$ مجذور ضریب همبستگی، بدیهی است هر چه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد نتایج روش مورد آزمایش نسبت به مقادیر اندازه گیری شده نزدیکتر می باشد.

متوسط خطای مطلق که به صورت زیر تعریف شده است:

$$AME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |\theta_m - \theta_c| \quad (12)$$

که در آن $N =$ تعداد داده، $\theta_m =$ رطوبت حجمی اندازه گیری شده

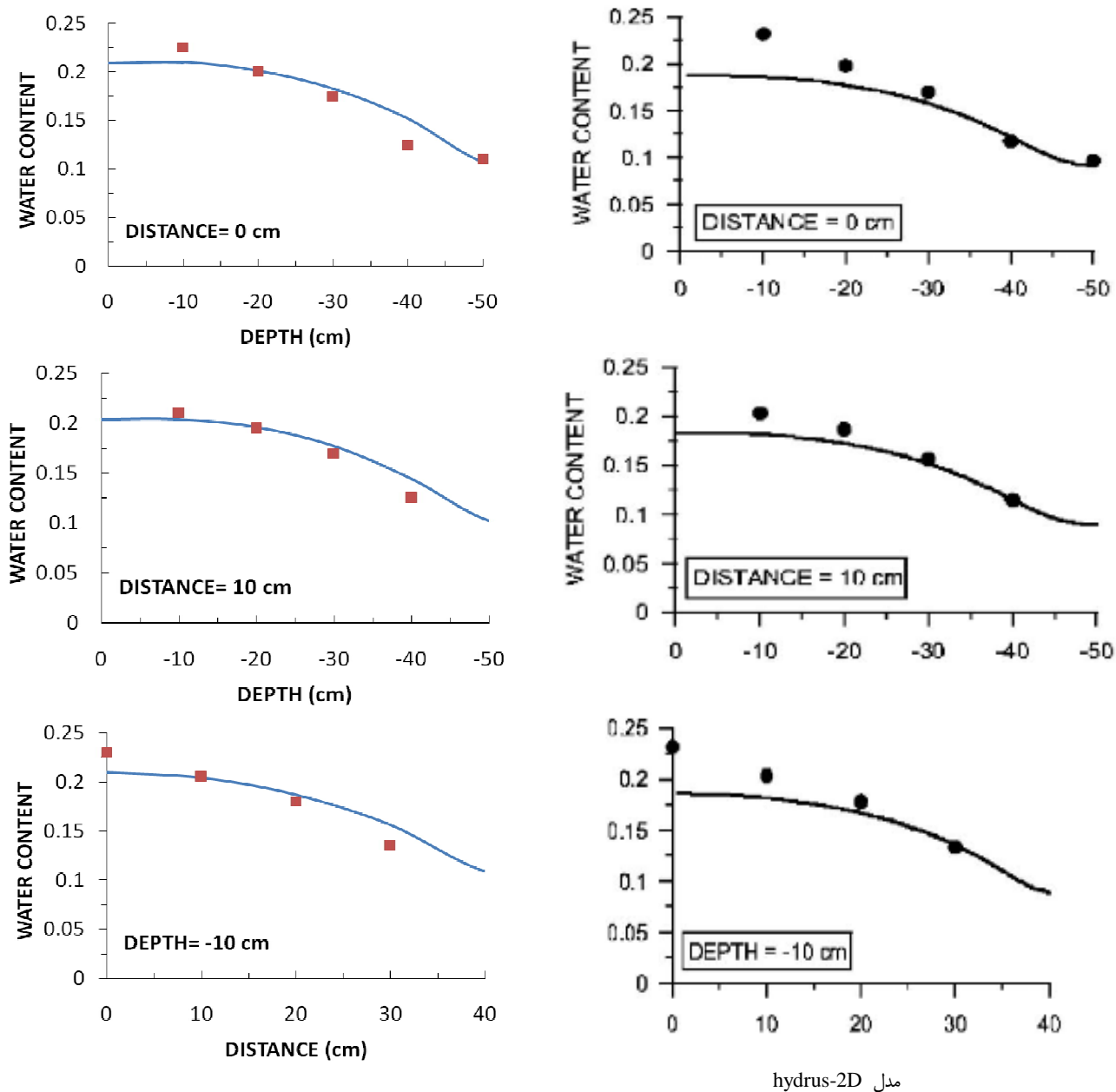
و $\theta_c =$ رطوبت حجمی محاسبه شده



مدل حاضر

HYDRUS-2D

شکل 4- رطوبت حجمی اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده توسط مدل حاضر و مدل HYDRUS-2D (Skaggs et al., 2004) 5/5 ساعت پس از شروع آبیاری (مدت زمان آبیاری 5 ساعت)



مدل hydrus-2D

شکل 5- رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده توسط مدل حاضر و مدل HYDRUS-2D (Skaggs et al., 2004) 28 ساعت از شروع آبیاری (مدت زمان آبیاری 5 ساعت)

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل

در شکل‌های 4 و 5 تغییرات رطوبت حجمی در فواصل مختلف از قطره‌چکان و همچنین در اعماق مختلف از سطح خاک، برای زمان‌های 5/5 و 28 ساعت پس از شروع آبیاری 5 ساعته ارائه شده است. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر محاسبه شده نشان می‌دهد همخوانی قابل قبولی بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و محاسبه

شده توسط مدل وجود دارد. همچنین نتایج مدل HYDRUS-2D نیز ارایه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود نتایج مدل احجام محدود توسعه داده شده در این تحقیق با نتایج مدل اجزای محدود HYDRUS-2D کاملاً همخوانی دارد. این موضوع نشان می‌دهد در صورت تعریف درست شرایط مرزی به خصوص اطراف قطره‌چکان و همچنین انتخاب اندازه مش و گام زمانی مناسب مدل‌های مبتنی بر روش گسسته‌سازی حجم کنترل قابل رقابت با مدل‌های اجزای

ارایه شده در جدول 1 در نظر گرفته شد. بر روی توده خاک با عمق 40 سانتی متر در پهنا 50 سانتی متر یک قطره چکان با دبی 4 لیتر بر ساعت در واحد طول برای آبیاری به مدت 5 ساعت قرار داده شد. برای مقایسه بهتر در شبیه سازی ابتدا قطره چکان بر سطح بدون شیب و در مرحله دوم بر روی شیب اغراق آمیز 40 درصد قرار داده شد. یک سانتی متر از سطح خاک به عنوان سطح تراوش جریان در زیر قطره - چکان در نظر گرفته شد. در این حالت شدت تراوش از رابطه زیر به دست می آید.

$$I = \frac{4000 \text{ cm}^3 / \text{hr}}{(1 \text{ cm}) \times 100 \text{ cm}} = 40 \text{ cm} / \text{hr}$$

در شکل 6 توزیع زطوبت اطراف قطره چکان در زمان های مختلف در طول آبیاری و بعد از قطع آبیاری ارایه شده است. همانگونه که در شکل 6 و جدول 3 نشان داده شده است در سطح شیب دار وجود شیب باعث می شود جبهه رطوبتی به سمت پایین دست شیب تمایل و کشیدگی بیش تر داشته باشد ($b > a$) که می تواند ناشی مؤلفه وزن جریان آب در داخل توده خاک به سمت پایین دست و غلبه آن بر نیروی کشش و پتانسیل ماتریک آب در خاک باشد. این موضوع قبلاً توسط محمدی و همکاران (1392)، شریف نیا و همکاران (1388) با اندازه گیری صحرائی گزارش شده است. از طرفی در مدت آبیاری مقدار نفوذ عمقی جبهه رطوبتی درست ریز قطره چکان (پارامتر c) در اراضی شیب دار کم تر از اراضی مسطح است. ولی پس از قطع آبیاری روند عکس دارد. این موضوع نیاز به تحقیقات بیش تری دارد.

محدود می باشد. لازم به ذکر است که اندازه مش بهینه در این تحقیق 0/5 در 0/5 سانتی متر به دست آمد و گام زمانی 30 ثانیه در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که پارامترهای استخراج شده با استفاده از نرم افزار ROSETA از دقت کافی برای بکار گرفته شدن در مدل های عددی تعیین توزیع رطوبت اطراف قطره - چکان مناسب هستند.

به منظور مقایسه کمی در جدول 2 مقادیر رطوبت اندازه گیری و محاسبه شده در مرحله صحت سنجی مدل با آماره های مورد نظر این تحقیق با یکدیگر مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می شود برای مثال متوسط خطای نسبی در مرحله صحت سنجی 7/4 درصد است که نشان می دهد مدل می تواند با دقتی خوب برای پیش بینی پیاز رطوبتی در اطراف قطره چکان زیر سطحی به کار رود. هر چند که در اینجا مقایسه آماری با نتایج مدل HYDRUS ارایه نشده ولی اشکال نشان می دهند نتایج مدل این تحقیق کاملاً با نتایج مدل اجزاء محدود HYDRUS مطابقت دارد.

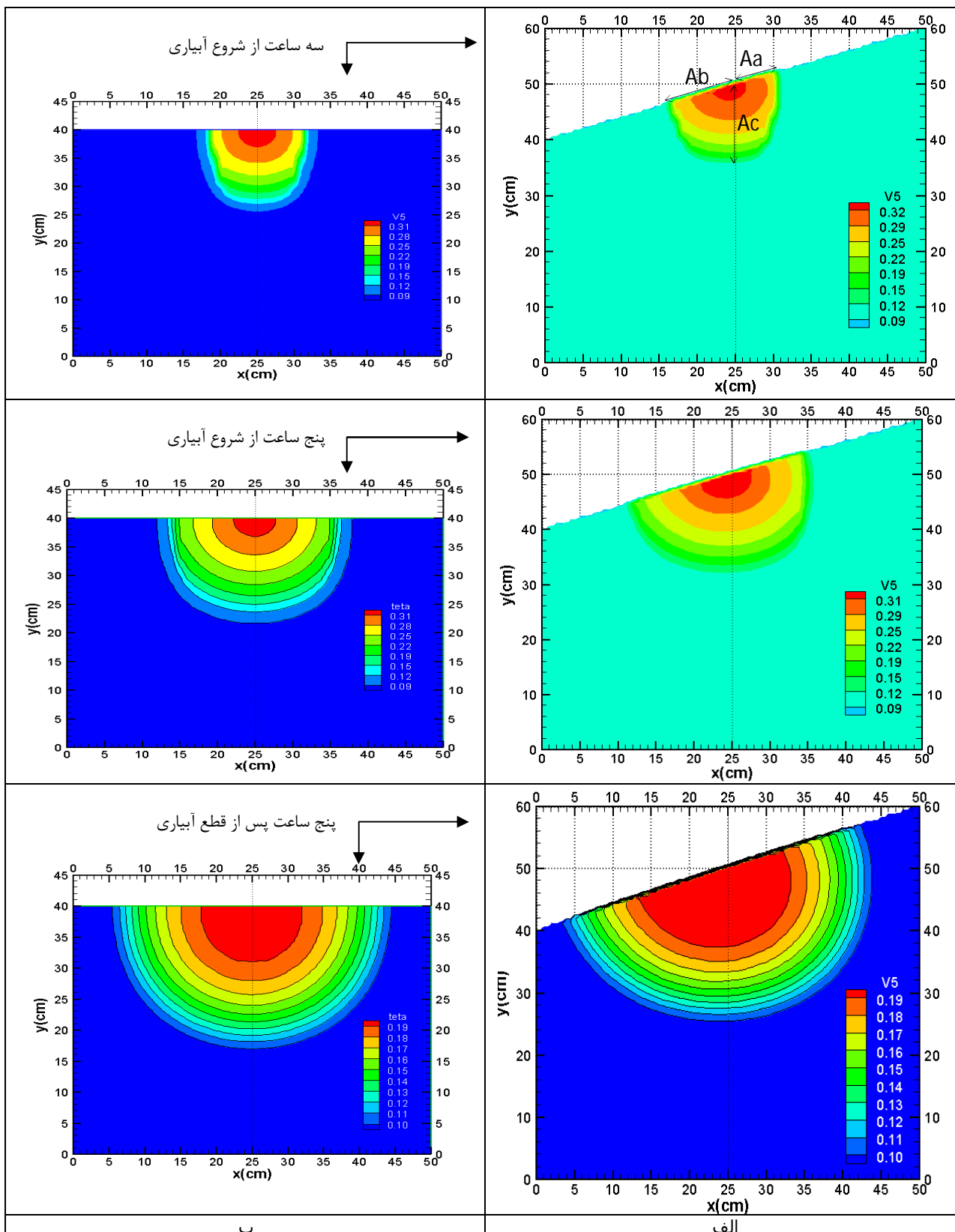
جدول 2- مقادیر پارامترهای مختلف آماری در صحت سنجی مدل

R ²	SSE	AME	AAE(%)
0/92	0/02	0/0138	0/074

بررسی تأثیر شیب بر پیاز رطوبتی اطراف قطره چکان سطحی پس از اطمینان از نتایج مدل برای رسیدن به اهداف این تحقیق اثر شیب زمین بر توزیع رطوبت زیر قطره چکان نصب شده روی سطح خاک مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مجدداً خاک با مشخصات

جدول 3- مقایسه پارامترهای معرف پیاز رطوبتی در اطراف قطره چکان در اراضی شیب دار و بدون شیب

زمان از شروع آبیاری (hr)	طول پارامتر (cm)	زمین بدون شیب	زمین با شیب 40%	اختلاف (cm)
3	a	8/5	5/92	-2/58
	b	8/5	9/69	1/19
	c	14/95	14/3	-0/65
5	a	13	10/77	-2/23
	b	13	15/07	2/07
	c	18/2	18	-0/2
10	a	19/5	18/84	-0/66
	b	19/5	22/94	3/44
	c	23	24/5	1/5



شکل 6- توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان بر روی الف) خاک شیب‌دار ب) اراضی بدون شیب (مدت آبیاری 5 ساعت)

نتیجه گیری

در این تحقیق نرم‌افزاری کامپیوتری برای شبیه‌سازی حرکت جریان آب اطراف قطره‌چکان زیرسطحی و سطحی در اراضی مسطح و شیب‌دار تهیه شد. بر خلاف مدل‌های تجاری مشهور که از روش المان‌های محدود برای حل معادله ریچارد استفاده می‌کنند در این مدل از روش احجام محدود و تکنیک کرنک نیکلسون استفاده شد. نتایج واسنجی مدل نشان داد در صورت تعریف درست شرایط مرزی مناسب اطراف قطره‌چکان زیرسطحی و همچنین انتخاب اندازه مش و گام زمانی مناسب مدل‌های مبتنی بر روش گسسته‌سازی حجم کنترل قابل رقابت با مدل‌های اجزای محدود می‌باشد و توزیع رطوبت اندازه-گیری شده در صحرا را با خطای کم‌تر از هفت درصد برآورد می‌کند. نتایج شبیه‌سازی بر روی اراضی مسطح و شیب‌دار نشان داد توزیع رطوبت در اراضی شیب‌دار به سمت پایین دست شیب کشیده‌تر است تا به سمت بالا دست شیب.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از یک طرح تحقیقاتی بوده است که امکانات مالی و اعتبارات اجرایی آن توسط حوزه پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه تأمین شده است که بدینوسیله تشکر می‌شود.

منابع

- ازدردی، خ. 1387. شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل HYDRUS 2D. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 15: 168-180
- افشارجهان‌شاهی، م.، زارع ابیانه، ح.، نقوی، ه. و اسلامی، ا. 1391. بررسی تأثیر دو عمق نصب قطره‌چکان با دبی‌های یکسان بر توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و شبیه‌سازی آن با مدل HYDRUS-2D. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. 3: 101-113.
- پلنگی، ع. و آخوند علی، م. ع. 1387. یک مدل نیمه‌تجربی به منظور تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای، تحت منبع نقطه‌ای. علوم و فنون کشاورزی، 12: 85-95.
- شریف‌نیا، میرزایی، ف. و لیاقت، ع. 1388. عوامل مؤثر بر شکل خیس‌شدگی در آبیاری قطره‌ای و اصلاح موقعیت قطره‌چکان در اراضی شیب‌دار. مجله‌ی پژوهشی آب ایران. 3: 5-16
- خان محمدی، ن. و بشارت، س. 1392. شبیه‌سازی جبهه‌ی رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای با استفاده از HYDRUS 2D. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. 2: 15-26.
- کاظمی، ه. و صدرالدینی، س. ع. ا. 1392. تعیین عمق مناسب نصب قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از مدل HYDRUS 3D. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 2: 205-221.
- قربانیان، م.، منجزی، م.، ابراهیمیان، ح. و لیاقت، ع. 1393. ارزیابی مدل-های HYDRUS-2D و SEEP/W در برآورد پیاز رطوبت آبیاری قطره‌ای ثقلی سطحی و زیرسطحی. نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 28: 179-189.
- مصطفی زاده، ب.، موسوی، س. ف. و شریف بیان الحق، م. ج. 1377. پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیب‌دار. نشریه کشاورزی و منابع طبیعی. 2: 22-13.
- محمدی، ع.، بیگلویی، م.، خالدیان، م.، مریدنژاد، ع. و رجبی، ج. 1392. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک). 17: 66-109-120
- میزرای، ف.، لیاقت، ع.، تیموری، س. و امید، م. ج. 1384. نمونه‌سازی جبهه رطوبت خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. 23: 4: 53-59.
- Arbat, G., Puig-Bargues, J., Duran-Ros, M., Barragan, J and Ramirez de Cartagena, F. 2013. Drip-Irrigation: Computer software to simulate soil wetting patterns under surface drip irrigation. Computers and Electronics in Agriculture 98:183-192.
- El-Nesr, M., Alazba, A and Simunek, J. 2013. HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. Irrigation Science. (2014) 32: 111-125.
- Kandelous, M and Simunek, J. 2010. Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. Irrigation Science. 28: 435-444
- Leij, F. J., Russel, W. B and Lesch, S. M. 1997. Closedform expressions for water retention and conductivity data. Ground water, 35:848-858.
- Skaggs, T. H., Trou, T., Šimunek, J and Shouse, P. J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 130.4:304-310.
- Van Genuchten, M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44.5:892-898
- Versteeg, H. K., Malalasekera, W. 1995. An introduction to computational fluid dynamics - The finite volume method. Longman Group Ltd. P, 255.

2D- Numerical Modeling and Investigating the Effect of Surface Slop on Water Content Distribution in Surface Drip Irrigation Using Finite Volume Method

R. Ghobadian¹

Received: Apr.07, 2015

Accepted: Sep.02, 2015

Abstract

Numerical simulation is a fast and inexpensive approach to studying optimal management practices. Therefore different model to simulation water content distribution in drip irrigation have been developed in which the general equation of water flow in soil (Richards equation) numerically is solved. In this study 2D equation of saturated-unsaturated flow in soil (2D Richard's equation) was solved using finite volume method and Crank-Nicolson scheme. The soil hydraulic properties were modeled using the van Genuchten-Mualem relationships. The derived equation set was solved using Jacobi iteration method. Model calibration was done using measured water content distribution around thin-walled drip tubing installed at a depth of 6 cm in irrigated sandy loam soil carried out by Skaggs et al.(2004). Also present model result compared with the result of HYDRUS-2D. The results show with considering suitable boundary condition around the drip, present finite volume model predictions of water content distribution are found with good agreement by the HYDRUS-2D model and measured data. Also present model predicts the water content distribution with mean error less than 7 percent. After, with calibrated model, water content distribution during and after irrigation was investigated when the drip tube was installed in oriented soil surface.

Keyword: Trickle irrigation, Numerical simulation, Finite volume method, Soil water flow

1- Associate professor, Department of water Engineering, Razi University, Kermanshah
Email: rsgbobadian@gmail.com