Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 500-510

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 9، مرداد - شهریور 1394، ص. 510-500

مدل‌سازی دو بعدی و بررسی تأثیر شیب بر توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان سطحی با روش احجام محدود

رسول قبادیان[1]

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

چکیده

شبیه‌سازی عددی یک روش سریع و کم‌هزینه برای مطالعه و مدیریت بهینه کاربرد آب در مزرعه است. بدین منظور مدل‌های عددی مختلفی برای تعیین توزیع رطوبت در خاک ارایه شده است که اساس کار آن‌ها حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک می‌باشد. در این تحقیق معادله حاکم بر جریان آب در خاک اطراف قطره‌چکان (معادله ریچاردز برای خاک اشباع - غیراشباع) به روش عددی احجام محدود و تکنیک کرنک نیکلسون منفصل سازی شد. دستگاه معادلات حاکم به روش تکراری ژاکوبی حل شد. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری رطوبت اطراف لوله جدار نازک آبیاری قطره‌ای مدفون شده در عمق 6 سانتی‌متری در یک خاک شنی - لومی و هم‌چنین مقایسه با نتایج مدل HYDRUS-2Dکه 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 قطره‌چکان دقت مدل احجام محدود این تحقیق با مدل المان‌های محدود HYDRUS-2D کاملاً برابری می‌کند و توزیع رطوبت اندازه‌گیری شده در مزرعه را با خطای کم‌تر از هفت درصد برآورد می‌کند. در ادامه با مدل حاضر توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان بر روی سطح خاک شیب‌دار در شرایط آبیاری و پس از قطع جریان آب بررسی شد.

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

مقدمه

امروزه آبیاری قطره‌ای سطحی زیرسطحی به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و مهم‌ترین روش‌های آبیاری در کشاورزی مطرح است و از جمله روش‌هایی است که در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش راندمان و بالا بردن کارایی مصرف آب جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی پیدا کرده است. در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی آب در حجم و فشار کم در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که موجب کاهش تلفات و بالا رفتن کارایی مصرف آب می‌شود. از طرفی چون تلفات تبخیر در این سیستم‌ها نسبت به سایر سیستم‌های آبیاری اندک است راندمان آبیاری در آن‌ها افزایش می‌یابد (افشار جهانشاهی و همکاران، 1391).

به طور کلی طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نیازمند داشتن آگاهی از چگونگی توزیع رطوبت در محل قطره‌چکان‌ها یا به بیانی دیگر، آگاهی داشتن از الگوی خیس‌شدن نیمرخ خاک که در اصطلاح به آن پیاز رطوبتی گویند، می‌باشد. شناخت و تخمین مناسب خصوصیات و عوامل مؤثر بر پیاز رطوبتی خاک همواره مورد توجه محققین بوده‌است. از اینرو تحقیقات فراوانی دراین خصوص تا به امروز انجام شده است.

محمدی و همکاران (1392) تحقیقی را با موضوع بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار و به منظور بررسی اثر شیب و مدت زمان آبیاری بر روی ابعاد پیاز رطوبتی در منطقه‌ی فتحعلی دشت مغان انجام دادند. آزمایشات روی قطره چکان با دبی ثابت 4 لیتر بر ساعت در مدت زمان‌های آبیاری 2، 4 و 6 ساعت و شیب‌های 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 شیب‌دار برخلاف اراضی مسطح قسمت عمده‌ی توزیع رطوبت به‌ویژه هسته‌ی رطوبتی در پایین دست قطره‌چکان واقع شده و پیاز رطوبتی در این اراضی نسبت به اراضی مسطح بزرگ‌تر بوده است.

خرمی و همکاران (1392) شبیه‌سازی حرکت آب و توزیع مجدد رطوبت درخاک را در آبیاری قطره‌ای با مدل HYDRUS دو و سه بعدی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل هایدروس دو و سه بعدی توانایی بالایی در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک دارد.

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

1 - دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه
rsghobadian@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌دست 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 خیس‌شده پیاز رطوبتی به ازای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان و ساعت کارکرد ارایه 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 بررسی‌کردند و با استفاده از آنالیز ابعادی و نتایج آزمایش‌های فیزیکی روابط را ارایه 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 خیس‌شده و ابعاد پیاز رطوبتی در این شیب‌ها پرداختند. نتایج نشان داد در خاک‌های با بافت سنگین نسبت به خاک با بافت سبک سطح خیس‌شده افزایش یافته و جبهه‌ی رطوبتی از عمق کم‌تری برخوردار است.

نتایج اندازه‌گیری اسکاگز و همکاران و مقایسه با خروجی مدل 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 (Kandelous and Simunek, 2010).

ال - نثر و همکاران به منظور شبیه‌سازی آبیاری با دو قطره‌چکان زیرسطحی و یک مانع فیزیکی در مقابل‌حرکت 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 مختصه افقی[L]، t زمان[T]، q_s دبی تزریق (+) یا تخلیه (-)[L^2/T]. Δx و Δy و به‌ترتیب اندازه

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه در جهت X و Y می‌باشند[L] .

یکی از مشکلات اصلی که مدل‌های شبیه‌ساز جریان آب در خاک با آن مواجه هستند تعیین پارامترهای ورودی به مدل است که حتی می‌توانند کاربرد مدل را محدود کنند. هدایت هیدرولیکی غیر-اشباع یکی از مهم‌ترین پارامترهای ورودی است که با مکان و زمان تغییر می‌کند.

قبل از حل معادله ریچاردز به‌صورت عددی به یک مدل هدایت هیدرولیکی غیراشباع نیاز است. این مدل می‌تواند بر مبنای تابع نمایی گاردنر باشد. این مدل رابطه بین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و بار فشاری را نشان می‌دهد. بررسی‌های لیج و همکاران نشان داد این تابع در بین 5 تابع دیگر ضعیف‌ترین عملکرد را دارد(Leij et al, 1979). مدل HYDRUS از جمله مشهورترین نرم افزارها در خصوص شبیه‌سازی جریان آب در خاک می‌باشند از تابع Van Genuchten, 1980) که عملکرد بهتری دارد استفاده می‌کنند. در این تحقیق نیز از تابع مذکورکه به شکل زیر است استفاده شد:

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

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

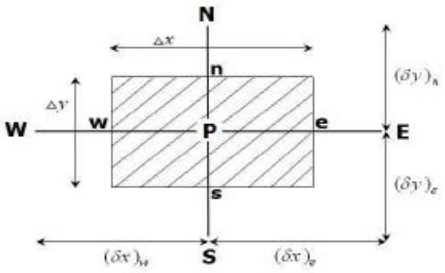
$$f(\psi)=\frac{\partial\theta}{\partial\psi}=m\times(\theta_s-\theta_r)\left[\frac{1}{1+(\alpha\psi)^n}\right]^{m-1}\times\left[\frac{-n\alpha(\alpha\psi)^{n-1}}{\left(1+(\alpha\psi)^n\right)^2}\right] \qquad (4)$$

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

در این روابط S_e رطوبت مؤثر، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع [L/T]، θ_r و θ_s رطوبت باقی‌مانده 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 خاک‌ها به طور متوسط 0/5 تخمین زده شده است. در روابط فوق پارامترهای θ_r، θ_s، K_s، α، n بر ای هر بافت خاکی متفاوت هستند.

منفصل‌سازی 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

$$\int_s^n\int_w^e\int_t^{t+dt}\frac{\partial\theta(\psi_p)}{\partial t}dt\,dx\,dy=\int_t^{t+dt}\int_s^n\int_w^e\frac{\partial}{\partial x}(K_x(\psi_p)\frac{\partial\psi_p}{\partial x})dx\,dy\,dt+\int_t^{t+dt}\int_w^e\int_s^n\frac{\partial}{\partial y}(K_y(\psi_p)\frac{\partial\psi_p}{\partial y}+K_y(\psi_p))dy\,dx\,dt+\int_t^{t+dt}\int_w^e\int_s^n\frac{\pm q_s}{\Delta x\Delta y}dy\,dx\,dt \qquad (6)$$

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

$$A_P\times\psi_E^{t+dt}+B_P\times\psi_N^{t+dt}+C_P\times\psi_p^{t+dt}+D_P\times\psi_w^{t+dt}+E_P\times\psi_S^{t+dt}=F_P \qquad (7)$$

که در آن:

$$A_P=\phi K(\psi)_e\frac{dy\,dt}{\delta x_e}$$
$$B_P=\phi K(\psi)_n\frac{dx\,dt}{\delta y_n}$$
$$D_P=\phi K(\psi)_w\frac{dy\,dt}{\delta x_w}$$
$$E_P=\phi K(\psi)_S\frac{dx\,dt}{\delta y_s}$$
$$C_p=-(A_P+B_P+D_P+E_P)-f(\psi)dx\,dy$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$F_P = (K(\psi)_S - K(\psi)_n)dxdt - f(\psi)dxdy\psi_p^t$$
$$-(1-\phi)K(\psi)_e\frac{dydt}{\delta x_e}(\psi_E^t - \psi_P^t)$$
$$+(1-\phi)K(\psi)_w\frac{dydt}{\delta x_w}(\psi_P^t - \psi_W^t)$$
$$-(1-\phi)K(\psi)_n\frac{dxdt}{\delta y_n}(\psi_N^t - \psi_P^t)$$
$$+(1-\phi)K(\psi)_s\frac{dxdt}{\delta y_s}(\psi_P^t - \psi_S^t) \mp q_s dt$$

q_s 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 به‌صورت میانگین هارمونیک ضریب نفوذپذیری نقاط P و E در نظر گرفته می‌شود:

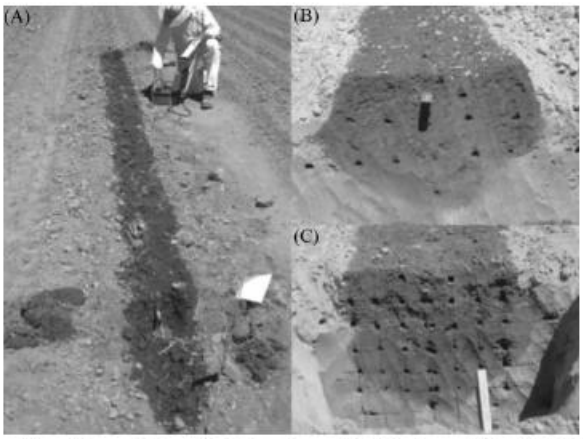
$$K(\psi)_e = \frac{2K(\psi)_E K(\psi)_P}{K(\psi)_E + K(\psi)_P} \quad (8)$$

در شرایطی که نقطه مرکزی حجم کنترل (P) بر روی مرزهای نفوذ ناپذیر، یکی از گوشه‌های محدوده شبکه‌بندی شده، قرار بگیرد رابطه 1 باید به‌صورت‌های 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 درآن 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 به‌صورت 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 اندازه-گیری روی خاک با پوشش پلاستیکی پوشیده شد. هم‌چنین برای 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).

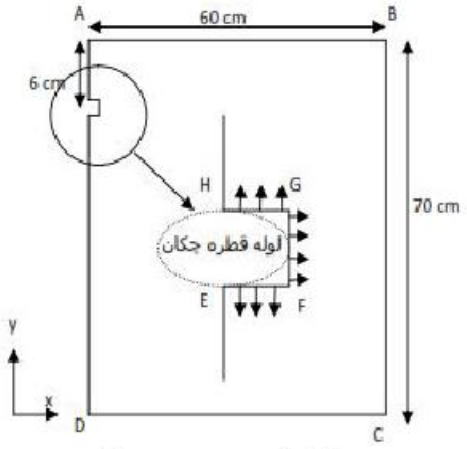
با توجه به اینکه طول نمونه برداشت شده برابر با فاصله قطره-چکان‌ها بر روی لوله مدفون است و از طرفی مطابق شکل (2 -A) توزیع رطوبت در طول لوله تقریباً یکنواخت است بنابراین لوله مدفون یک منبع تزریق خطی به شمار می‌آید و می‌توان توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان را به‌صورت دوبعدی شبیه‌سازی نمود. بنابراین در این تحقیق 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 در 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 می شود:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3 - محدوده مورد مطالعه

$$A_P \times \psi_E^{t+dt} + B_P \times \psi_N^{t+dt} + C_P \times \psi_p^{t+dt} + E_P \times \psi_S^{t+dt} = F_P \quad (9)$$

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

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

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

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

$$F_P = 0.5 \times (K(\psi)_S - K(\psi)_n) dx\,dt - 0.5 \times f(\psi) dx\,dy \psi_P^t$$

$$-(1-\phi) K(\psi)_e \frac{dy\,dt}{\delta x_e} (\psi_E^t - \psi_P^t)$$

$$-(1-\phi) K(\psi)_n \frac{dx\,dt}{2\delta y_n} (\psi_N^t - \psi_P^t)$$

$$+(1-\phi) K(\psi)_s \frac{dx\,dt}{2\delta y_s} (\psi_P^t - \psi_S^t)$$

برای تمام گره‌ها روی مرز(EF) شرط گرادیان فشار $\left(\frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{I}{K_y(\psi)} - 1\right)$، برای تمام گره‌ها روی مرز(HG) شرط گرادیان فشار $\left(\frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{I}{K_y(\psi)} - 1\right)$ و برای تمام نقاط روی مرز (FG) شرط گرادیان فشار $\left(\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{I}{K_x(\psi)}\right)$ برقرار است که (I) شدت آبیاری می‌باشد. از اینرو برای نمونه معادله جبری عمومی (رابطه 7) برای نقاط روی مرز EF به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

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

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

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

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

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

$$F_P = K(\psi)_S dx\,dt - 0.5 \times f(\psi) dx\,dy \psi_P^t$$

$$-(1-\phi) K(\psi)_e \frac{dy\,dt}{2\delta x_e} (\psi_E^t - \psi_P^t)$$

$$+(1-\phi) K(\psi)_w \frac{dy\,dt}{2\delta x_w} (\psi_P^t - \psi_W^t)$$

$$-(1-\phi) K(\psi)_n \frac{dx\,dt}{\delta y_n} (\psi_N^t - \psi_P^t) - I\,dx\,dt$$

شدت آبیاری I از رابطه زیر در این تحقیق محاسبه می‌شود:

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

که درآن q دبی قطره‌چکان و L طول هر قطعه از ناحیه تزریق می‌باشد.

برای اجرای برنامه لازم است علاوه بر معرفی رطوبت اولیه پارامترهای θ_r، θ_s، K_s، α، n و L به مدل معرفی شوند. با استفاده از مشخصات خاک محدوده و استفاده از نرم افزار ROSETA پارا مترها مذکور استخراج شده (جدول 1) و به مدل معرفی شدند.

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

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منظور مقایسه آماری نتایج مدل تهیه شده در این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده از پارامترهای آماری زیر استفاده گردید:

R^2 = مجذور ضریب همبستگی، بدیهی است هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نتایج روش مورد آزمایش نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر می‌باشد.

متوسط خطای مطلق که به‌صورت زیر تعریف شده است :

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

که در آن N= تعداد داده ، θ_m = رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده و θ_c = رطوبت حجمی محاسبه شده

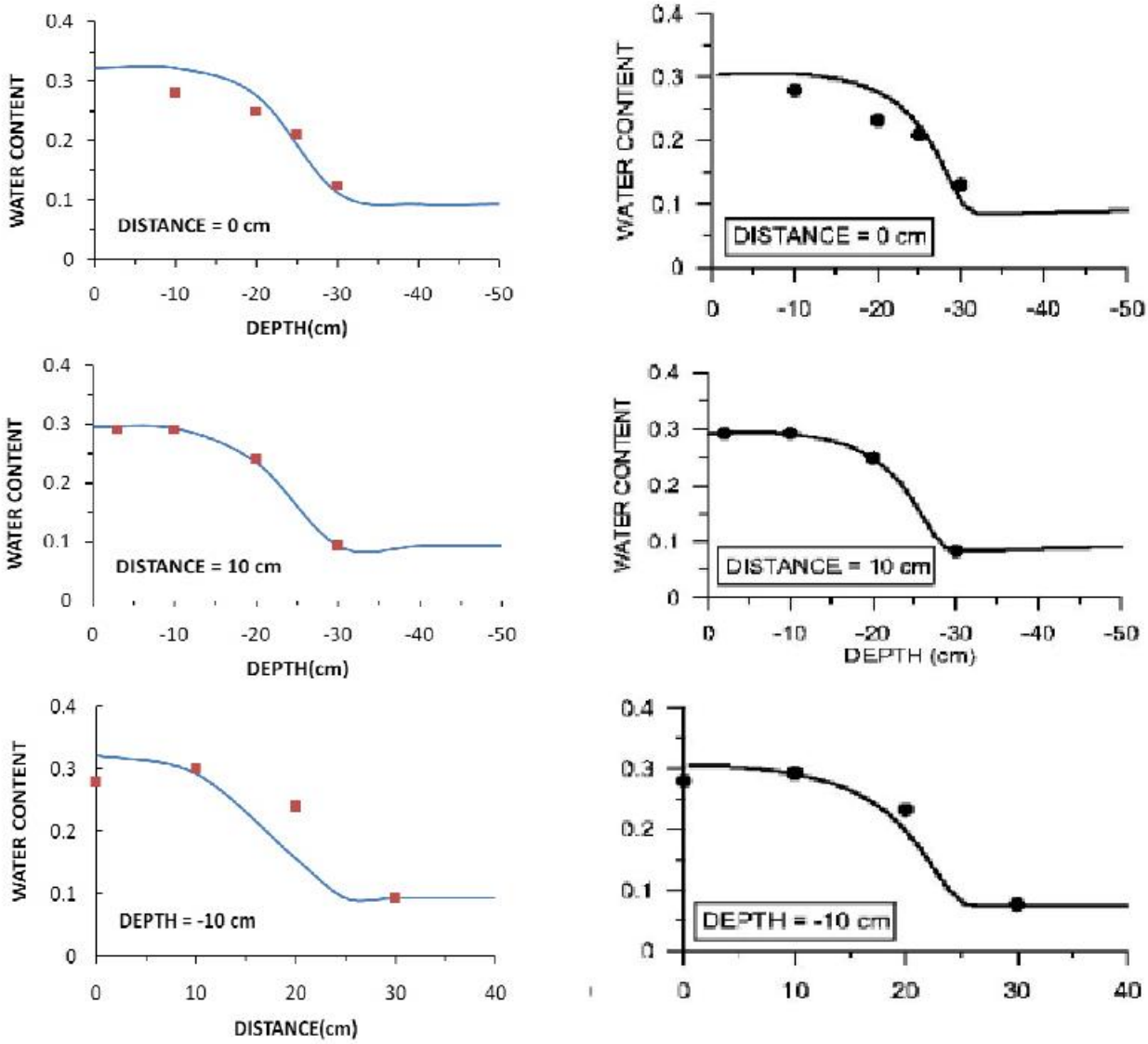
انحراف استاندارد تخمین که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

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

متوسط خطای نسبی که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

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

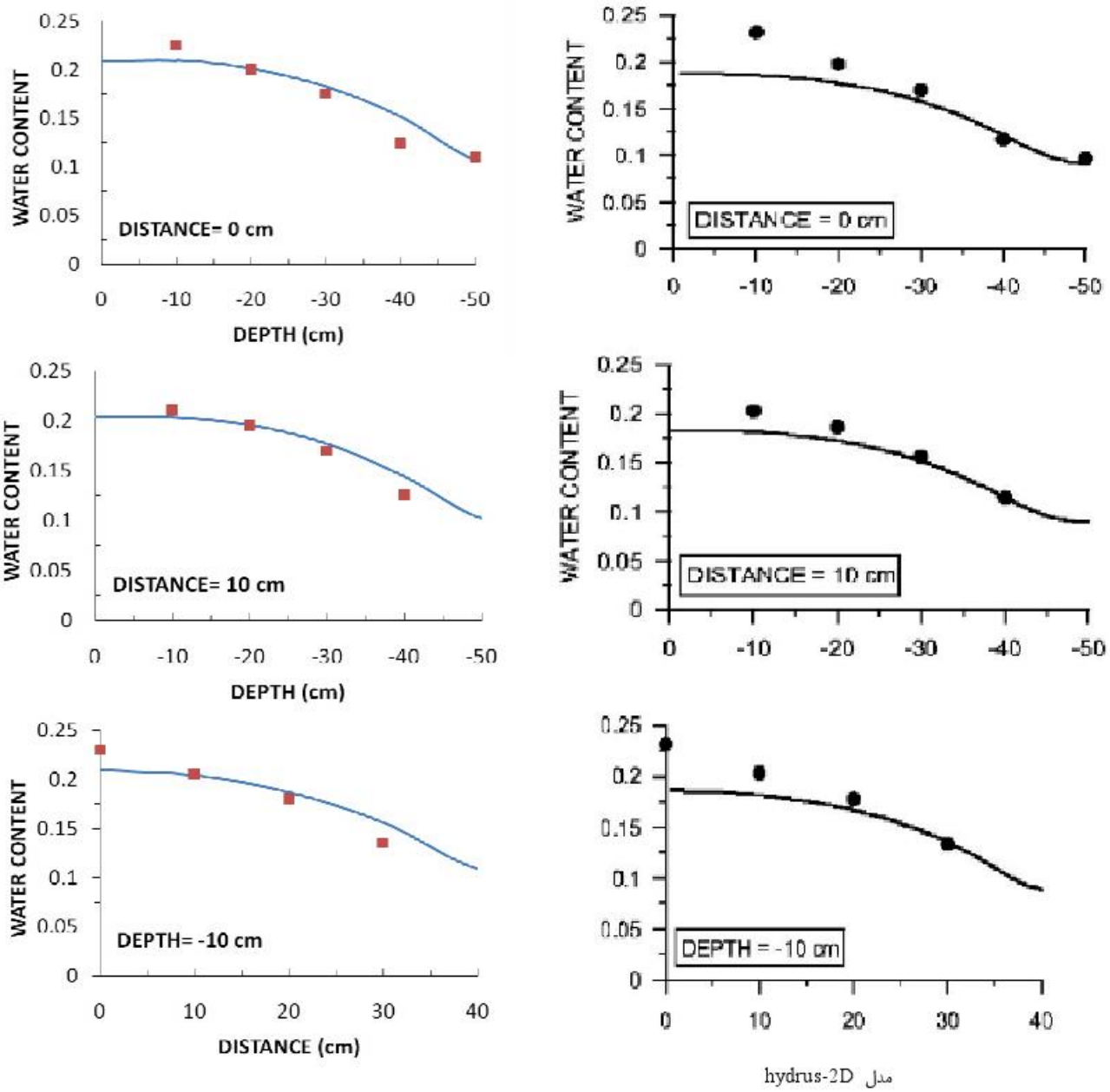
در هر روش هر اندازه مقادیر محاسبه شده AME، SSE و AAE به صفر نزدیک‌تر باشد دقت آن بالاتر است.



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)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 5 - رطوبت حجمی اندازه گیری 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

صحت سنجی مدل

در شکل‌های 4 و 5 تغییرات رطوبت حجمی در فواصل مختلف از قطره‌چکان و همچنین در اعماق مختلف از سطح خاک، برای زمان-های 5/5 و 28 ساعت پس از شروع آبیاری 5 ساعته ارایه شده است. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر محاسبه شده نشان می‌دهد هم‌خوانی قابل قبولی بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری‌شده 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 به‌خصوص اطراف قطره‌چکان و هم‌چنین انتخاب اندازه مش و گام زمانی مناسب مدل‌های مبتنی بر روش گسسته‌سازی حجم کنترل قابل رقابت با مدل‌های اجزای

www.SID.ir

Archive of SID

محدود می‌باشد. لازم به ذکر است که اندازه مش بهینه دراین تحقیق 0/5 در 0/5 سانتی‌متر به‌دست آمد و گام زمانی 30 ثانیه در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای استخراج شده با استفاده از نرم افزار ROSETA از دقت کافی برای بکار گرفته شدن در مدل‌های عددی تعیین توزیع رطوبت اطراف قطره-چکان مناسب هستند.

به‌منظور مقایسه کمی در جدول 2 مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و محاسبه‌شده در مرحله صحت‌سنجی مدل با آماره‌های مورد نظر این تحقیق با یکدیگر مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود برای مثال متوسط خطای نسبی در مرحله صحت سنجی 7/4 درصد است که نشان می‌دهد مدل می‌تواند با دقتی خوب برای پیش‌بینی پیاز رطوبتی در اطراف قطره‌چکان زیرسطحی به‌کار رود. هر چند که در اینجا مقایسه آماری با نتایج مدل HYDRUS ارایه نشده ولی اشکال نشان می‌دهند نتایج مدل این تحقیق کاملاً با نتایج مدل اجزاء محدود HYDRUS مطابقت دارد.

جدول 2 - مقادیر پارامترهای مختلف آماری در صحت‌سنجی مدل

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

بررسی تأثیر شیب بر پیاز رطوبتی اطراف قطره‌چکان سطحی

پس از اطمینان از نتایج مدل برای رسیدن به اهداف این تحقیق اثر شیب زمین بر توزیع رطوبت زیر قطره‌چکان نصب شده روی سطح خاک مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مجدداً خاک با مشخصات ارایه شده در جدول 1 درنظر گرفته شد. بر روی توده خاک با عمق 40 سانتی‌متر در پهنای 50 سانتی‌متر یک قطره‌چکان با دبی 4 لیتر بر ساعت در واحد طول برای آبیاری به مدت 5 ساعت قرار داده شد. برای مقایسه بهتر در شبیه‌سازی ابتدا قطره‌چکان بر سطح بدون شیب و در مرحله دوم بر روی شیب اغراق‌آمیز 40 درصد قرار داده شد. یک سانتی‌متر 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.

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

در شکل 6 توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان در زمان‌های مختلف در طول آبیاری و بعد از قطع آبیاری ارایه شده است.

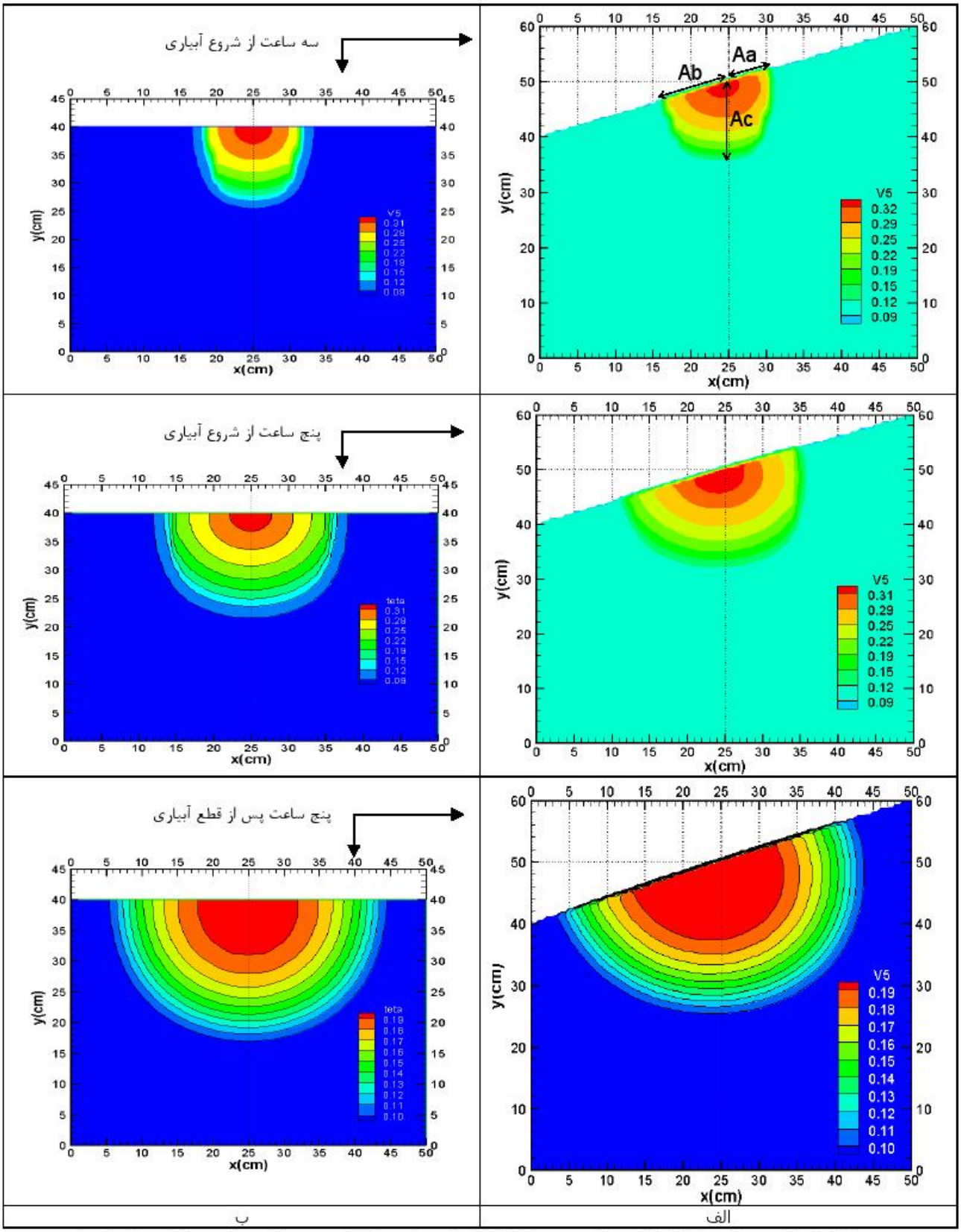
همانگونه که درشکل 6 و جدول 3 نشان داده شده است در سطح شیب‌دار وجود شیب باعث می‌شود جبهه رطوبتی به سمت پایین‌دست شیب تمایل و کشیدگی بیش‌تر داشته باشد (b>a) که می‌تواند ناشی مؤلفه وزن جریان آب در داخل توده خاک به سمت پایین‌دست و غلبه آن بر نیروی کشش و پتانسیل ماتریک آب در خاک باشد. این موضوع قبلاً توسط محمدی و همکاران (1392)، شریف نیا و همکاران (1388) با اندازه‌گیری صحرایی گزارش شده است. از طرفی در مدت آبیاری مقدار نفوذ عمقی جبهه رطوبتی درست ریز قطره چکان (پارامتر c) در اراضی شیب‌دار کم‌تر از ارضی مسطح است. ولی پس از قطع آبیاری روند عکس دارد. این موضوع نیاز به تحقیقات بیش‌تری دارد.

جدول 3 - مقایسه پارامترهای معرف پیاز رطوبتی در اطراف قطره‌چکان در اراضی شیب‌دار 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

www.SID.ir

Archive of SID



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

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

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 اندازه‌گیری 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

اژدری،خ. 1387. شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل HYDRUS 2D. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 15. 1: 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. 10: 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. 44: 85 - 95.

شریف نیا،ر.، 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. 5:9- 16

خان محمدی،ن و بشارت،س. 1392. شبیه‌سازی جبهه‌ی رطوبتی خاک درآبیاری قطره‌ای با استفاده از HYDRUS 2D. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. 2 . 4: 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. 7: 205- 221.

قربانیان،م.، منجزی،م. ابراهیمیان،ح و لیاقت،ع. 1393. ارزیابی مدل‌های HYDRUS-2D و SEEP/W در برآورد پیاز رطوبت آبیاری قطره‌ای ثقلی سطحی و زیرسطحی. نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 28. 1 : 179 -189.

مصطفی زاده،ب.، موسوی،س.ف و شریف بیان الحق،م.ح. 1377. پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیبدار. نشریه کشاورزی و منابع طبیعی. 2. 3: 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: 120- 109

میزرایی،ف.، لیاقت،ع.، تیموری،س و امید،م.ح. 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-Irriwater: 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 500-510

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 9، مرداد - شهریور 1394، ص. 510-500

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

R. Ghobadian[1]

Recived: 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: rsghobadian@gmail.com

www.SID.ir