نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد۷، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۲۲۱-۲۰۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 7, Summer 2013, p. 205-221

تعیین عمق مناسب نصب قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از مدل HYDRUS 3D

هانیه کاظمی[۱*] و سید علی اشرف صدرالدینی[۲]

چکیده

در تحقیق حاضر، آزمایش‌های میدانی در اراضی ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در یک خاک لوم شنی به‌منظور تعیین ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی و توزیع رطوبت خاک در اطراف یک قطره‌چکان و نیز در فاصله بین دو قطره‌چکان مجاور روی یک لترال در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام و نتایج حاصل با شبیه‌سازی‌های عددی دو بعدی و سه بعدی مدل هایدروس مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که مدل هایدروس سه بعدی در شبیه‌سازی ابعاد جبهه رطوبتی در پروفیل‌های ایجاد شده در محل قطره‌چکان و در فاصله بین دو قطره‌چکان، به‌ترتیب با مقادیر RMSE مساوی ۲/۵۴ و ۳/۹۶ از کارآیی بهتری نسبت به هایدروس دو بعدی برخوردار است. مقایسه مقادیر حاصل از شبیه‌سازی‌های دو بعدی و سه بعدی نشان دادند که دو مدل تقریبا دارای دقت برابری در شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک در پروفیل ایجاد شده در محل قطره‌چکان می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش زمان آبیاری از ۱ ساعت به ۴ ساعت، مقدار RMSE بین مقادیر رطوبت به‌دست آمده از مدل‌های دو بعدی و سه بعدی از ۰/۰۶۸ به ۰/۰۲۵ کاهش یافت. با توجه به دقت خوب مدل سه بعدی، مدل کالیبره شده برای سه عمق مختلف نصب قطره‌چکان اجرا شد و عمق مناسب نصب قطره‌چکان در خاک مورد مطالعه برای تولید گیاه ذرت شیرین بر اساس حداکثر نیاز آبی گیاه، حداقل میزان تلفات نفوذ عمقی و تبخیر و سیستم توزیع ریشه گیاه ۳۰ سانتی‌متر پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، جبهه رطوبتی، ذرت شیرین، شبیه‌سازی، عمق نصب قطره‌چکان

مقدمه

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌منظور استفاده موثرتر از آب و به‌عنوان یک روش بسیار دقیق در انتقال آب به مکان‌های مورد نظر در خاک با تناوب و زمان کاربرد معین برای رشد بهینه گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. آگاهی از الگوی حرکت رطوبت خاک در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نقش عمده‌ای در تعیین مقادیر مناسب عمق نصب لترال زیر سطح خاک، فاصله قطره‌چکان‌ها و فشار سیستم برای تامین مقدار آب مورد نیاز به گیاه دارد. در چند دهه اخیر، مطالعات زیادی برای توصیف جریان آب از منابع نقطه‌ای و خطی در خاک برای طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی صورت گرفته است، اما نحوه توزیع آب بین دو قطره‌چکان کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های عددی بسیاری برای شبیه‌سازی جریان در خاک‌های با درجه اشباع متغیر توسعه یافته‌اند. در بسیاری از مطالعات اخیر از مدل عددی هایدروس (HYDRUS) برای ارزیابی جریان آب از منبع نقطه‌ای (قطره‌چکان منفرد) و خطی معادل (لترال) استفاده شده است. Cote et al. (2003) در تحقیقی نتایج حاصل از مطالعه شبیه‌سازی هایدروس را برای نشان دادن تاثیرات مشخصه‌های خاک در انتقال آب و املاح از قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای دفن شده بیان کردند. نتایج نشان دادند که مشخصه‌های هیدرولیکی خاک، لایه‌بندی خاک، شدت دبی قطره‌چکان، تناوب آبیاری و زمان کاربرد مواد مغذی در الگوهای رطوبتی و توزیع املاح تاثیر دارند و نرم‌افزار هایدروس با ارائه راه‌حل‌های عددی برای معادلات انتقال، یک ابزار قدرتمند برای بررسی این مسائل می‌باشد. Skaggs et al. (2004) شبیه‌سازی‌های هایدروس از آبیاری قطره‌ای را با داده‌های آزمایشی مقایسه کردند. در این تحقیق، خاک لوم شنی با استفاده از تیوب آبیاری که در عمق ۶ سانتی‌متری در زیر خاک نصب شده بود، با سه دبی کاربردی آبیاری شد. در پایان هر آبیاری و حدود ۲۴ ساعت بعد، توزیع مقدار رطوبت در خاک با روش نمونه برداری وزنی تعیین شد. پیش‌بینی‌های مدل هایدروس از توزیع مقدار رطوبت در خاک تطبیق بسیار خوبی با داده‌های آزمایشی داشت. نتایج این تحقیق، استفاده از مدل هایدروس را به عنوان وسیله‌ای برای بررسی و طراحی فعالیت‌های مدیریتی آبیاری قطره‌ای توجیه می‌کند. Singh et al. (2006) یک مدل شبیه‌سازی را با روش نیمه تجربی و

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: honeyehkazemi@gmail.com)
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

Archive of SID
www.SID.ir

روش تحلیل ابعادی برای تعیین شکل هندسی ناحیه رطوبتی در یک خاک لوم شنی به‌کار گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده عمق و عرض خیس شده با مقادیر مشاهداتی وجود ندارد. محققان مذکور نشان دادند که مدل توسعه یافته می‌تواند برای شبیه‌سازی الگوی رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با منبع خطی آب به‌کار رود. Provenzano et al. (2007) با استفاده از مدل هایدروس ابعاد اصلی حجم مرطوب شده خاک را در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک شنی ارزیابی نمود. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها و داده‌های مشاهداتی نشان داد که می‌توان از مدل هایدروس برای شبیه‌سازی فرآیندهای نفوذ اطراف یک قطره‌چکان استفاده کرد. کاربرد مدل همچنین امکان ارزیابی فاصله قطره‌چکان‌ها برای حداکثرسازی عمق خیس شده خاک را فراهم نمود. Mollaei Kandelous and Simunek (2010a) دقت چند روش مورد استفاده در تخمین ابعاد ناحیه رطوبتی را با مقایسه پیش‌بینی‌ها با داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای، از جمله مدل عددی هایدروس، نرم افزار تحلیلی وِت‌آپ (WetUp) و مدل‌های تجربی انتخاب شده ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که هایدروس پیش‌بینی‌های خوبی داشته و انتخاب آن زمانی که به‌دست آوردن نتایج دقیق مهم باشد بایستی در اولویت قرار گیرد. Mollaei Kandelous and Simunek (2010b) از نرم‌افزار هایدروس برای ارزیابی توزیع مقدار آب اطراف قطره‌چکان در 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 تطابق بین شبیه‌سازی‌ها و مشاهدات خیلی خوب بود. Bufon et al. (2011) صحت مدل هایدروس دو بعدی را برای ارزیابی طرح‌های تناوب و برنامه‌ریزی زمانی آبیاری مختلف برای پنبه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که هایدروس دو بعدی مقدار رطوبت حجمی خاک را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و بنابراین می‌توان از آن برای ارزیابی طرح‌های آبیاری استفاده کرد. Mollaei Kandelous et al. (2011) از بسته نرم‌افزاری هایدروس برای ارزیابی مقدار توزیع رطوبت خاک بین دو قطره‌چکان مجاور در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده کردند. نتایج نشان دادند که مدل سه بعدی به‌خوبی می‌تواند مقادیر رطوبت خاک بین دو قطره‌چکان را به‌طور کامل شبیه‌سازی کند درحالی‌که هندسه صفحه متقارن و هندسه منبع خطی تنها قبل از آن‌که جبهه‌های رطوبتی شروع به همپوشانی کنند قادر به توصیف مقدار توزیع رطوبت در خاک می‌باشند. هدف تحقیق حاضر بررسی ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی و توزیع رطوبت خاک بین دو قطره‌چکان مجاور در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک با بافت لوم شنی بوده و قابلیت مدل هایدروس در شبیه‌سازی روند توزیع آب در خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از تعیین دقت مدل، بهترین عمق نصب قطره‌چکان در خاک مورد مطالعه برای گیاه ذرت شیرین بر اساس حداکثر نیاز آبی گیاه، حداقل میزان تلفات نفوذ عمقی و تلفات تبخیر و سیستم توزیع ریشه گیاه پیشنهاد شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های صحرایی

آزمایش‌های صحرایی پژوهش حاضر در اراضی تحقیقاتی کرکج متعلق به دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در قطعه زمینی با بافت لوم شنی (۶۹ درصد شن، ۲۴ درصد سیلت و ۷ درصد رس) انجام گردید. ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌اند. سیستم آبیاری قطره‌ای دارای یک مانیفولد شامل سه لترال با دبی و فاصله قطره‌چکان مشخص برای هر آزمایش معین بود. شکل ۱ شمای محدوده جریان را برای یک لترال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان می‌دهد.

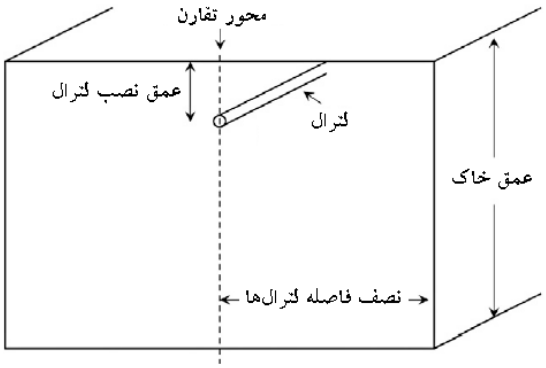
در این مطالعه، به‌منظور بررسی اثر فاصله قطره‌چکان‌ها بر خصوصیات رطوبتی خاک خیس‌شده فاصله قطره‌چکان‌ها بر روی لترال‌ها ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای بررسی جریان بین دو قطره‌چکان مجاور روی یک لترال، فاصله لترال‌ها طوری انتخاب شد تا از همپوشانی جبهه‌های رطوبتی دو لترال مجاور جلوگیری شود. سری اول آزمایش‌ها در خاک دست نخورده مزرعه انجام شد. ابتدا خاک محل آزمایش مسطح گردید. سپس ترانشه‌هایی به عمق ۳۰ سانتی متر برای هر ردیف لترال ایجاد شد. پس از نصب لترال‌ها ترانشه‌ها با خاک مزرعه پر و متراکم گردید (آزمایش‌های شماره ۱ تا ۵). در سری دوم، خاک محل آزمایش تا عمق ۱ متر حفر و مخلوط شد تا هر گونه اثر لایه‌ای بودن و تراکم‌های متفاوت از بین رفته و یک محیط کاملا همگن به‌وجود آید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد آزمایش

ویژگی فیزیکی	رطوبت حجمی اولیه ($cm^3\ cm^{-3}$)	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm\ h^{-1}$)
آزمایش‌های ۱ تا ۵	۰/۱	۱/۶۳	-
آزمایش‌های ۶ و ۷	۰/۱۱	۱/۴	۶/۶

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- شمای محدوده جریان برای لترال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

جدول ۲- آرایش لترال‌ها و قطره‌چکان‌ها، دبی قطره‌چکان‌ها و مدت آبیاری برای آزمایش‌های شماره ۱ تا ۷

شرایط آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
عمق نصب قطره‌چکان (cm)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
فاصله بین قطره‌چکان‌ها (cm)	۴۰	۴۰	۴۰	۶۰	۶۰	۴۰	۴۰
فاصله بین لترال‌ها (cm)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دبی قطره‌چکان‌ها ($L\ h^{-1}$)	۴	۴	۴	۴	۴	۴/۲۹	۴/۲۹
مدت آبیاری (h)	۱	۳	۵	۱	۳	۱	۴

کرت مورد نظر به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر لایه به لایه با خاک دارای رطوبت یکسان پر و طوری متراکم گردید که چگالی ظاهری خاک تقریبا برابر خاک طبیعی گردد. سپس لترال‌ها نصب شده و روی لترال‌ها به ارتفاع ۳۰ سانتی متر دوباره با همان خاک پر و متراکم گردید (آزمایش‌های ۶ و ۷). عمق نصب لترال‌ها، فاصله لترال‌ها، فاصله قطره‌چکان‌ها، دبی قطره‌چکان‌ها و مدت آبیاری برای هر آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

خاک اطراف قطره‌چکان‌ها بلافاصله پس از هر آزمایش به صورت ترانشه حفر و شکل جبهه رطوبتی در محل قطره‌چکان‌ها روی پروفیل عمود بر خط لترال و در حد فاصل دو قطره‌چکان روی پروفیل مماس بر لترال روی کاغذ شفاف با ماژیک ترسیم گردید. سپس با استفاده از استوانه‌های فلزی دارای طول و قطر ۳ سانتی‌متر از نقاط مختلف پیاز رطوبتی نمونه‌برداری شد. در هر آزمایش، با نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه، مشخصات رطوبتی و هیدرولیکی زودیافت خاک تعیین گردید. بر اساس مشخصات رطوبتی و هیدرولیکی خاک بدست آمده، پارامترهای مدل ون گنوختن-معلم با استفاده از مدل رُزِتا (Rosetta) برآورد و بررسی‌های عددی توسط مدل هایدروس انجام شد. نهایتا مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه‌برداری و ابعاد جبهه رطوبتی اندازه‌گیری شده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل هایدروس مقایسه گردید. پس از تعیین دقت مدل، شبیه‌سازی‌ها برای عمق‌های نصب قطره‌چکان ۲۰، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر برای گیاه ذرت شیرین تکرار و بهترین عمق نصب قطره‌چکان در خاک مورد مطالعه برای گیاه مورد نظر بر اساس حداقل تلفات نفوذ عمقی و تبخیر با توجه به سیستم توزیع ریشه گیاه پیشنهاد گردید.

شبیه‌سازی حرکت آب در خاک

جریان آب در خاک با درجه اشباع متغیر با استفاده از فرم اصلاح شده معادله ریچاردز به‌صورت زیر بیان می‌شود (Simunek et al. 2006):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[K\left(K_{ij}^{A}\frac{\partial h}{\partial x_i} + K_{iz}^{A}\right)\right] \qquad (۱)$$

که در آن θ مقدار حجمی آب $\left[L^3L^{-3}\right]$، h بار فشاری $[L]$، x_i مختصات فضایی $[L]$ ($i=1,2$ برای مدل دو بعدی و $i=1,2,3$ برای مدل سه بعدی)، t زمان $[T]$، K_{ij}^{A} مولفه‌های تنسور هدایت هیدرولیکی ناهمروندی بدون بعد K^A و K تابع هدایت هیدرولیکی غیراشباع $\left[LT^{-1}\right]$ می‌باشد که توسط رابطه ۲ بیان می‌شود:

Archive of SID

www.SID.ir

$$K(h,x_i)=K_s(x_i)K_r(h,x_i) \quad (۲)$$

که در آن K_r هدایت هیدرولیکی نسبی $[L]$ و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع $[LT^{-1}]$ می‌باشد. تنسور ناهم‌روندی $[K_{ij}^A]$ در رابطه ۱ برای توضیح یک محیط ناهم‌روند به‌کار می‌رود. برای یک محیط همروند، اعداد واقع در قطر ماتریس $[K_{ij}^A]$ برابر یک و مقادیر خارج از قطر برابر صفر می‌باشند (Simunek et al. 2006). در این مطالعه، خاک هم‌روند فرض شد، که در این حالت تنسور هم‌روندی بدون بعد K^A به یک ماتریس واحد تبدیل می‌شود. اگر معادله ۱ برای جریان صفحه‌ای در یک سطح مقطع عمودی به‌کار رود، $x_1=x$ مولفه افقی و $x_2=x$ مولفه عمودی (مثبت رو به بالا) خواهد بود.

مشخصه‌های هیدرولیکی خاک با استفاده از روابط ون گنوختن–معلم به‌صورت زیر بیان می‌شوند (Simunek et al. 2007):

$$\theta(h)=f(x)=\begin{cases}\theta_r+\dfrac{\theta_s-\theta_r}{\left(1+|\alpha h|^n\right)^m} & h<0\\ \theta_s & h\geq 0\end{cases} \quad (۳)$$

$$K(h)=K_sS_e^l\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (۴)$$

$$m=1-1/n \quad ,n>1 \quad (۵)$$

که در آن θ_s مقدار رطوبت اشباع $[L^3L^{-3}]$، θ_r مقدار رطوبت باقی مانده $[L^3L^{-3}]$، α معکوس مقدار ورودی هوا $[L^{-1}]$، n شاخص توزیع اندازه منفذ و l پارامتر هدایت پذیری منفذ می‌باشد. مقدار l به‌طور متوسط برای بسیاری از خاک‌ها حدود ۰/۵ برآورد شده است. در مطالعه حاضر نیز مقدار این پارامتر برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شد. S_e مقدار رطوبت اشباع موثر می‌باشد که طبق رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$S_e=\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r} \quad (۶)$$

تمام پارامترهای هیدرولیکی ون گنوختن–معلم مورد استفاده در شبیه‌سازی‌های عددی مدل هایدروس به‌جز هدایت هیدرولیکی اشباع خاک که از آزمایش دارسی به‌دست آمد، با استفاده از مدل رُزِتا برآورد شدند که مقادیر نهایی این پارامترها در جدول ۳ ارائه شده‌اند. برای شبیه‌سازی عددی نحوه توسعه رطوبت حاصل از قطره‌چکان‌ها باید محدوده حل طوری تعیین شود که تمام مناطق تحت پوشش قطره‌چکان‌ها را در بر گیرد. در شرایط وجود خط و یا صفحه تقارن، محدوده حل می‌تواند کوچک‌تر در نظر گرفته شود. برای بررسی اثر متقابل دو قطره‌چکان مجاور در لترال منفرد (آزمایش‌های ۶ و ۷)، محدوده حل مطابق شکل ۲ در نظر گرفته شد.

همان‌طور که در شکل مشخص است، چهار صفحه قائم که در واقع سطح جانبی مکعب مستطیل منظور شده برای حل عددی را تشکیل می‌دهند هر کدام به‌عنوان یک صفحه تقارن با توجه به نحوه توسعه رطوبت در خاک می‌تواند در نظر گرفته شود. این چهار صفحه قائم متقارن به‌ترتیب عبارتند از: (۱) صفحه قائم عبوری از لترال؛ (۲) صفحه قائم عبوری از محل قطره‌چکان در شرایط عمود بر لترال؛ (۳) صفحه‌ای به موازات صفحه اول یعنی به موازات لترال در فاصله ۵۰ سانتی‌متری که در واقع صفحه تقارن بین دو لترال مجاور می‌باشد (فاصله لترال‌های مجاور یک متر است)؛ و (۴) صفحه‌ای به موازات صفحه دوم یعنی عمود بر لترال که از نقطه‌ای واقع بین دو قطره‌چکان (وسط دو قطره‌چکان) روی یک لترال عبور می‌کند. نهایتا دو صفحه افقی یکی منطبق بر سطح خاک و دومی با فاصله کافی از سطح افقی بالایی در نظر گرفته می‌شود. در مجموع این شش صفحه محدوده حل را محصور می‌نمایند. لازم به توضیح است که عمق صفحه افقی پایینی به‌اندازه‌ای در نظر گرفته می‌شود که مرز پیاز رطوبتی توسعه یافته با فاصله کافی از این مرز قرار داشته باشد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در این تحقیق محدوده شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک در لترال منفرد، نصف فاصله دو لترال (۵۰ سانتی‌متر) و نصف فاصله دو قطره‌چکان (۲۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد.

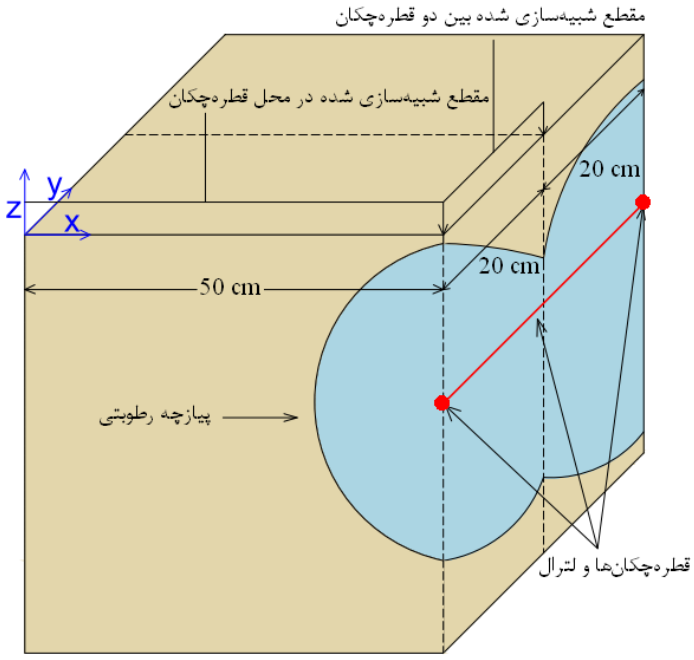
سه هندسه مختلف برای شبیه‌سازی جریان بین دوقطره‌چکان در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی وجود دارد: (۱) سیستم کاملا سه بعدی با دو منبع نقطه‌ای؛ (۲) سیستم صفحه‌ای دو بعدی تقریبی شامل یک منبع خطی؛ و (۳) سیستم محور متقارن دو بعدی تقریبی (Kandelous et al. 2011). در این مطالعه، شبیه‌سازی‌های عددی جریان از قطره‌چکان‌های سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، با استفاده از دو نوع هندسه (۱) سیستم کاملا سه بعدی (شکل ۳ الف)؛ و (۲) سیستم صفحه‌ای دو بعدی با محور متقارن (شکل ۳ ب) انجام شد. در هر مدل جهت مقایسه نتایج حاصل با داده‌های مشاهداتی، نزدیک‌ترین المان‌ها (گره‌ها) به محل نقطه نمونه‌برداری به‌عنوان نقاط مشاهداتی تعریف گردیدند.

جدول ۳- پارامترهای هیدرولیکی مدل ون گنوختن–معلم مورد استفاده در شبیه‌سازی‌های عددی

پارامتر	θ_r ($cm^3\,cm^{-3}$)	θ_s ($cm^3\,cm^{-3}$)	α (cm^{-1})	n (-)	L (-)	K ($cm\,h^{-1}$)
آزمایش‌های ۶ و ۷	۰/۰۳۹۱	۰/۳۹۸۶	۰/۰۳۳۶	۱/۴۸۵۴	۰/۵	۶/۶

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- شماتیک محدوده جریان مورد استفاده برای شبیه‌سازی‌های عددی آزمایش‌های ٦ تا ۷

سیستم دو بعدی با محور متقارن

در حالت دو بعدی همان‌طور که در شکل‌های مذکور ملاحظه می‌شود، فرض بر آن است که فلوی جریان به‌صورت یکنواخت در طول لترال وارد خاک یا محیط متخلخل اطراف خود می‌شود. لذا لترال به‌عنوان یک محور تقارن در داخل محدوده خیس شده خاک می‌تواند در نظر گرفته شود. در این شرایط، شبیه‌سازی جریان روی صفحه‌ای عمود بر لترال نحوه توزیع رطوبت در اطراف لترال را نشان می‌دهد. در این روش، محدوده جریان مستطیلی و شامل نصف فاصله بین دو لترال می‌باشد. عرض و عمق محدوده جریان برای هر شبیه‌سازی با توجه به فاصله لترال‌ها و فاصله قطره‌چکان‌ها روی لترال و دبی قطره‌چکان تعیین شد. برای مشخص کردن قطره‌چکان از یک نیم‌دایره در سمت چپ محدوده جریان استفاده شد. سپس محدوده جریان به المان‌های محدود مثلثی گسسته‌سازی شد. اندازه المان‌ها با دور شدن از محل قطره‌چکان افزایش یافت به‌طوری که اندازه کوچک‌ترین المان در نزدیکی قطره‌چکان حدود ۰/۵ سانتی‌متر و بزرگ‌ترین المان در سمت دیگر محدوده جریان حدود ۲ سانتی متر بود.

سیستم سه‌بعدی

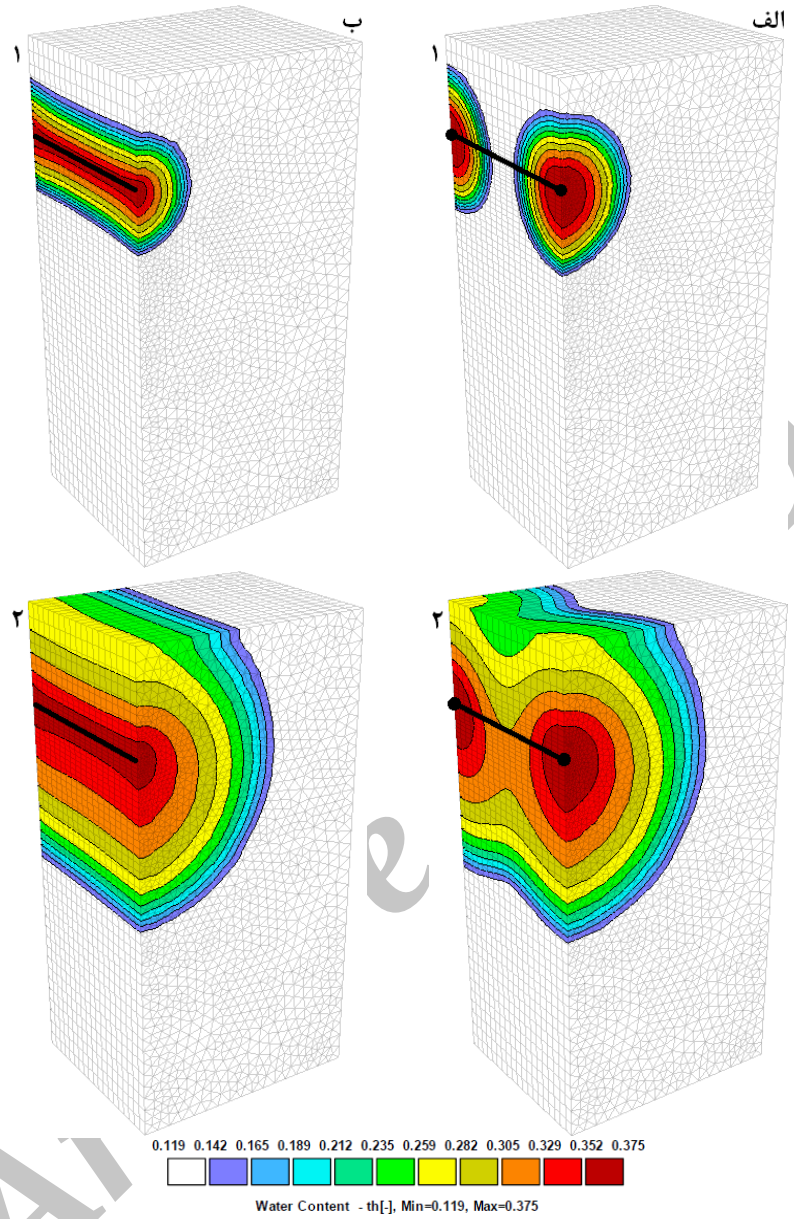
در این روش، هر قطره‌چکان به‌عنوان یک منبع نقطه‌ای در نظر گرفته شد. به‌علت متقارن بودن توزیع آب در خاک و برای کاهش مدت زمان محاسبات، فقط یک چهارم محدوده واقعی جریان شبیه‌سازی شد. همانند هندسه دو بعدی صفحه‌ای، ابعاد محدوده جریان برای هر شبیه‌سازی به‌علت متغیر بودن فاصله لترال‌ها، فاصله قطره‌چکان‌ها روی لترال و دبی قطره‌چکان متفاوت بود. سپس محدوده جریان به المان‌های محدود مثلثی گسسته‌سازی شد. در این هندسه نیز اندازه المان‌ها با دور شدن از محل قطره‌چکان افزایش یافت.

شرایط اولیه و مرزی

متوسط مقدار رطوبت اولیه خاک به‌عنوان شرط اولیه برای مدل‌ها وارد شد. این مقدار در تمام پروفیل خاک دارای مقداری ثابت بود. از یک شرط مرزی شار ثابت برای المان‌های نمایانگر قطره‌چکان استفاده شد. مقادیر شارها از طریق تقسیم دبی قطره‌چکان به سطحی از محدوده که به‌عنوان قطره‌چکان تعریف شده بود به‌دست آمدند. برای حالت دو بعدی، شار ورودی یکنواخت از استوانه جانبی لترال منظور گردید. همچنین، از یک شرط مرزی زهکشی آزاد در طول مرز پایین محدوده جریان استفاده شد. برای بقیه مرزهای جریان، شرط مرزی بدون شار در نظر گرفته شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- توزیع مقدار رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شبیه‌سازی شده به‌عنوان (الف) سیستم سه بعدی با دو منبع نقطه‌ای و (ب) سیستم دو بعدی با یک منبع خطی با تقارن محوری؛ با مقادیر آب کاربردی کم (۱) و زیاد (۲)

آزمون دقت داده‌های خروجی مدل هایدروس

برای مقایسه مقادیر ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی و مقادیر رطوبتی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، میانگین خطای استاندارد (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب کارآیی مدل (CE) که به ضریب نَش- ساتکلیف نیز معروف است بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب توسط روابط ۷ تا ۹ محاسبه شد. x_i و y_i به‌ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، $\bar{x}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد مشاهدات هستند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2} \qquad (۷)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right)} \qquad (۸)$$

www.SID.ir

$$CE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \right) \quad (۹)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش‌های صحرایی

آزمایش‌های ۱ تا ۵

منحنی‌ای پیشروی مشاهداتی جبهه رطوبتی در صفحه‌ای عمود بر لترال در محل قطره‌چکان برای آزمایش‌های ۱ تا ۵ در شکل ۴ ارائه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با فرض تقارن جریان قطره‌چکان، نمونه‌برداری‌ها برای نصف جبهه رطوبتی حاصل از هر آزمایش انجام شده و منحنی‌های پیشروی نیز به‌جز برای آزمایش ۵ که در آن جبهه رطوبتی کاملا نامتقارن بود فقط برای سمت راست قطره‌چکان در صفحه‌ای عمود بر لترال نشان داده شده‌اند. انتظار می‌رود در ساعات اولیه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک لوم شنی شکل جبهه رطوبتی تقریبا دایره‌ای بوده و سپس پیشروی عمودی رو به پایین جبهه رطوبتی در اثر نیروی ثقل (نفوذ عمقی آب) به پیشروی رو به بالای آن در اثر پدیده مویینگی غلبه داشته باشد. ولی همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در عمل در آزمایش ۳ پس از گذشت ۵ ساعت از شروع آبیاری و در آزمایش ۵ پس از گذشت ۳ ساعت از شروع آبیاری حرکت رو به بالای آب تا حدی زیاد بوده که آب به سطح خاک رسیده (شکل ۵) و بنابراین امکان توزیع مناسب رطوبت در خاک وجود نداشته است. این مسئله در منحنی پیشروی جبهه رطوبتی حاصل از آزمایش ۵ در شکل ۴ به‌طور واضح مشاهده می‌شود. علت این مسئله کم بودن ظرفیت نفوذپذیری خاک در مقایسه با دبی قطره‌چکان است لذا فشار آب در اطراف قطره‌چکان افزایش یافته و به‌دلیل وزن کم لایه فوقانی امکان جابه‌جایی خاک و باز نمودن یک مسیر جریان ترجیحی به سطح خاک فراهم می‌شود. این پدیده به اثر دودکش (Chimney Effect) معروف بوده و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌های ریزبافت که لترال‌ها در عمق کم نصب شده باشند نیز گزارش شده است (Anonymous, 2012). با حفر خاک و اختلاط کامل آن، یک خاک همگن با تراکم کم‌تر اطراف لترال ایجاد گردید که نفوذپذیری آن بیش‌تر بود. در نتیجه مشکل اثر دودکش برطرف گردید. برای جلوگیری از مشکلاتی مثل رسیدن آب به سطح خاک بایستی دقت کافی در تطبیق شدت جریان قطره‌چکان و فاصله قطره‌چکان‌ها با مشخصات هیدرولیکی خاک منظور گردد.

آزمایش‌های شماره ٦ و ٧

منحنی‌های مشاهداتی پیشروی جبهه رطوبتی حاصل برای آزمایش‌های ۶ و ۷ نیز مشابه آزمایش‌های قبلی تهیه و در شکل ۶ ارائه شده‌اند. در این حالت نیز با فرض وجود تقارن، نمونه‌برداری‌ها از سطح ترانشه حفر شده بین دو قطره‌چکان انجام شد. در شکل ۶ ب قطره‌چکان دوم با یک دایره توخالی و منحنی‌های پیشروی جبهه رطوبتی مورد انتظار مربوط به آن نیز با خط‌چین نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۶ الف مشاهده می‌شود پس از ۴ ساعت آبیاری شکل پیاز رطوبتی دایره‌ای است. شکل پیاز رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای در ابتدا دایره‌ای و سپس بیضوی و کشیده می‌شود. زیرا در ابتدای نفوذ مهم‌ترین عامل اختلاف پتانسیل هیدرولیکی بین نقطه تماس با آب و سایر نقاط خاک، چه در جهت عمودی و چه در جهات جانبی، پتانسیل ماتریک بوده و پتانسیل ثقلی نسبت به آن اندک است. اما پس از چندی که خاک مرطوب شد تفاوت پتانسیل ماتریک بین نقاط در جهات افقی و عمودی از بین رفته ولی اختلاف پتانسیل ثقلی همچنان باقی است. در نتیجه نفوذ عمقی آب ادامه داشته در حالی که نفوذ جانبی قطع می‌شود. در نتیجه پیاز رطوبتی حالت کشیده به خود می‌گیرد. با توجه به شکل ۶ ب مشخص است که توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یک مسئله سه بعدی می‌باشد. پس از گذشت زمان طولانی و ادغام جبهه‌های رطوبتی دو قطره‌چکان مجاور جریان بین دو قطره‌چکان به حالت یکنواخت می‌رسد و فرض دو بعدی بودن جریان به لحاظ تئوریک می‌تواند صحیح باشد. می‌توان چنین استنباط نمود که پس از همپوشانی رطوبت حاصل از قطره‌چکان‌های مجاور نوار نسبتا یکنواختی از خاک در طول لترال خیس می‌شود و در این شرایط می‌توان لترال را به‌عنوان محور تقارن منطقه خیس‌شده خاک در نظر گرفت.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی ابعاد جبهه رطوبتی و توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی توسط مدل هایدروس

ابعاد جبهه رطوبتی (شعاعی، رو به بالا و رو به پایین)

منحنی‌های پیشروی جبهه رطوبتی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هایدروس دو بعدی و سه بعدی در صفحه‌ای عمود بر لترال منفرد در محل قطره‌چکان برای آزمایش‌های ۶ و ۷ و در صفحه‌ای قائم موازی با لترال (در حالت مماس بر آن) در فاصله دو قطره‌چکان مجاور در شکل ۷ ارائه شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، جبهه رطوبتی شبیه‌سازی شده توسط هایدروس دو بعدی بین دو قطره‌چکان (x=0 تا x=-20) به‌صورت یک خط راست دیده می‌شود. با توجه به این‌که در این شرایط خط لترال به‌عنوان محور تقارن منطقه خیس شده خاک در نظر گرفته شده است، لذا محدوده خیس شده به‌صورت یک استوانه متقارن حول محور لترال ظاهر می‌شود. برای تعیین دقت شبیه‌سازی‌های هایدروس دو بعدی و سه بعدی برای آزمایش‌های ۶ و ۷ در محل قطره‌چکان، فواصل شعاعی مرز پیاز

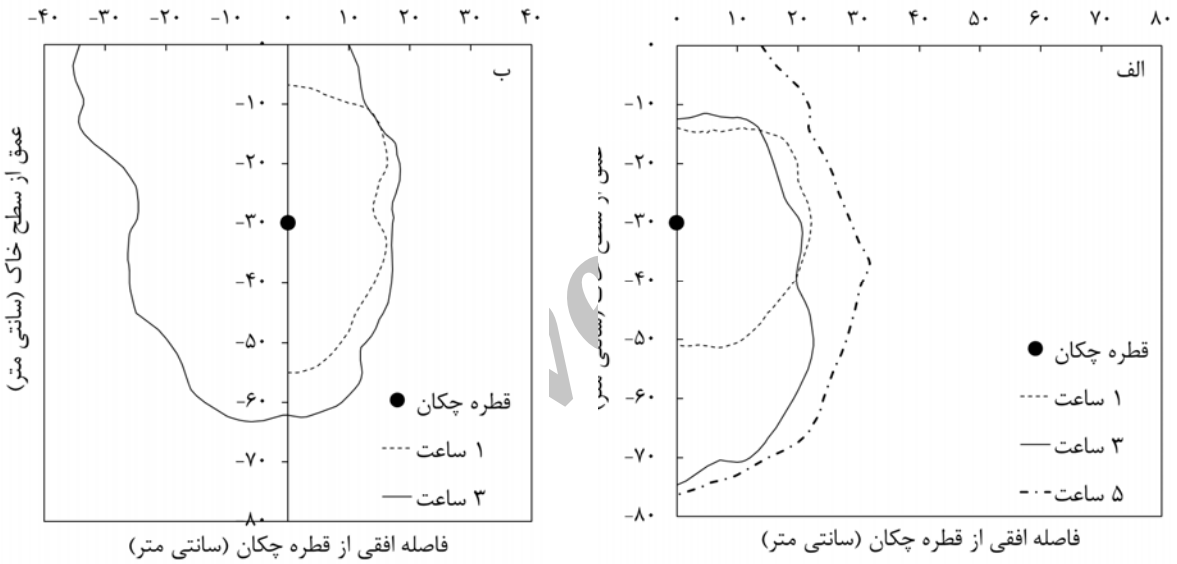
Archive of SID

www.SID.ir

رطوبتی از محل قطره‌چکان روی صفحه قائم عمود بر لترال (پروفیل عبوری از محل قطره‌چکان) در زاویه‌های ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۰، ۱۰-، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰-، ۵۰-، ۶۰-، ۷۰-، ۸۰- و ۹۰- درجه نسبت به محور x ها (علامت مثبت جهت رو به بالا، علامت منفی جهت رو به پایین و صفر جهت افقی از محل قطره-چکان را نشان می‌دهند) محاسبه شد. به‌طور مشابه، فواصل عمودی مرز پیاز رطوبتی رو به بالا و رو به پایین از محل قطره‌چکان نیز محاسبه گردید. مقایسه آماری مقادیر ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی مشاهداتی و شبیه سازی شده در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مدل هایدروس دو بعدی با مقادیر R^2، RMSE و CE به‌ترتیب مساوی ۰/۷۱، ۴/۳۹ و ۰/۱۹، پروفیل جبهه رطوبتی را در صفحه قائم عمود بر لترال در فاصله بین دو قطره‌چکان به‌خوبی شبیه‌سازی نکرده است ولی در سه حالت دیگر نتایج مطلوب است. لذا مدل هایدروس سه بعدی با داشتن مقادیر میانگین RMSE کم‌تر و CE بیش‌تر نسبت به هایدروس دو بعدی کارآیی بهتری در شبیه‌سازی ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی در محل و بین دو قطره‌چکان دارد.

توزیع رطوبت خاک

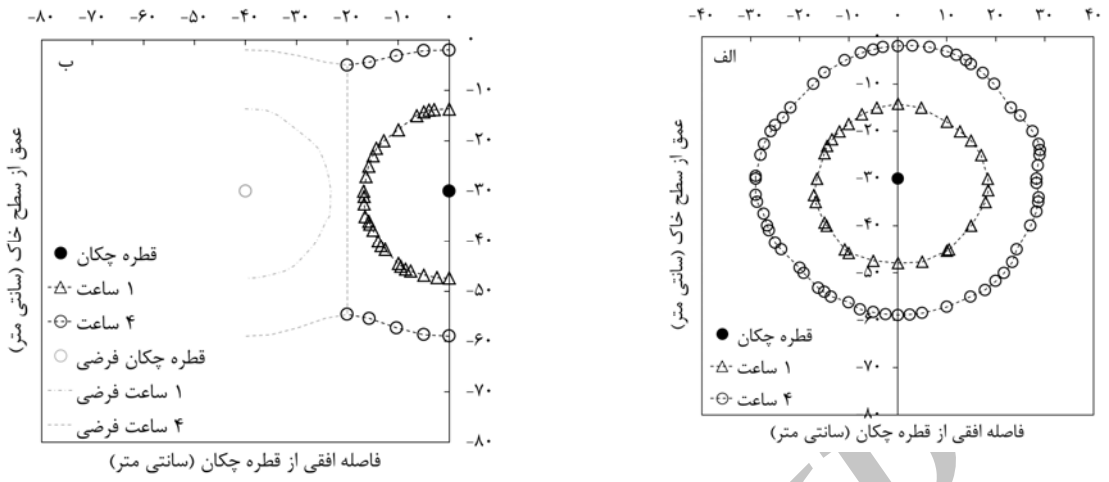
با توجه به این‌که لترال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زیر سطح خاک قرار دارد، آب خروجی از قطره‌چکان در سه جهت رو به بالا (از طریق پدیده مویینگی)، رو به پایین (در اثر نیروی ثقل و مویینگی) و افقی (در اثر مویینگی) حرکت می‌کند. مقدار این حرکت توسط شدت کاربرد آب و نوع خاک تعیین می‌شود.



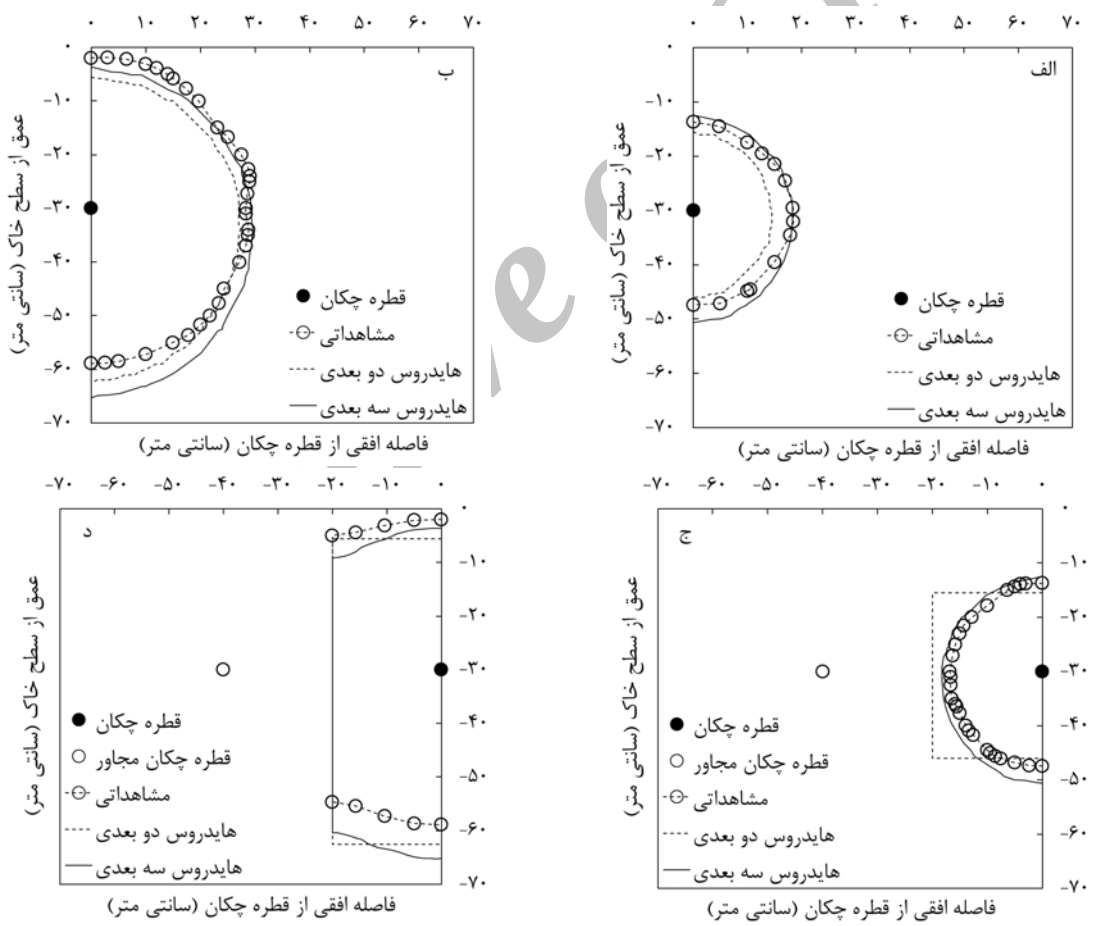
شکل ٤- جبهه رطوبتی مشاهداتی (الف) برای آزمایش‌های ۱ تا ۳ (به‌ترتیب ۱، ۳ و ۵ ساعت پس از شروع آبیاری) و (ب) برای آزمایش‌های ٤ و ۵ (به‌ترتیب ۱ و ۳ ساعت پس از شروع آبیاری)

شکل ۵- رسیدن آب به سطح خاک در ساعات اولیه آبیاری

www.SID.ir



شکل ٦- جبهه رطوبتی برای آزمایش‌های ٦ و ٧ (به‌ترتیب ١ و ٤ ساعت پس از شروع آبیاری) (الف) در محل قطره‌چکان و (ب) بین دو قطره‌چکان



شکل ٧- پروفیل جبهه رطوبتی (الف) در محل قطره‌چکان برای آزمایش ٦ (١ ساعت پس از شروع آبیاری)، (ب) در محل قطره‌چکان برای آزمایش ٧ (٤ ساعت پس از شروع آبیاری)، (ج) روی صفحه‌ای قائم موازی با لترال برای آزمایش ٦ (١ ساعت پس از شروع آبیاری) و (د) روی صفحه‌ای قائم موازی با لترال برای آزمایش ٧ (١ ساعت پس از شروع آبیاری)

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه آماری مقادیر ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

آزمایش	هایدروس سه بعدی			هایدروس دو بعدی		
	R^2	RMSE	CE	R^2	RMSE	CE
محل قطره‌چکان	۰/۸۷	۲/۵۴	۰/۸۰	۰/۹۸	۲/۷۳	۰/۷۸
بین دو قطره‌چکان	۰/۸۱	۳/۹۶	۰/۷۰	۰/۷۱	۴/۳۹	۰/۱۹

جدول ۵ مقایسه آماری مربوط به پروفیل‌های رطوبتی خاک را در محل قطره‌چکان برای آزمایش‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر RMSE و R^2 بین شبیه‌سازی‌های سه بعدی و دو بعدی نشان می‌دهد که دو مدل تقریبا دارای دقت برابری در شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک در پروفیل عبوری از محل قطره‌چکان می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان آبیاری از ۱ ساعت به ۴ ساعت، مقدار RMSE بین شبیه‌سازی‌های سه بعدی و دو بعدی از ۰/۰۶۸ به ۰/۰۲۵ کاهش یافته است. انتظار می‌رود با افزایش زمان آبیاری جبهه‌های رطوبتی دو قطره‌چکان مجاور کاملا ادغام شده و جریان آب بین دو قطره‌چکان به حالت یکنواخت برسد. در این صورت می‌توان جریان را دو بعدی در نظر گرفت.

مثال کاربردی

همان‌طور که قبلا اشاره شد، هدف نهایی از تحقیق حاضر استفاده کاربردی از مدل هایدروس در تعیین عمق مناسب نصب قطره‌چکان در خاک مورد مطالعه برای گیاه ذرت شیرین می‌باشد. به‌عنوان یک قاعده کلی، فاصله لترال‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مضربی از فاصله ردیف محصول می‌باشد، در حالی‌که فاصله قطره‌چکان‌ها معمولا به فاصله گیاه در امتداد ردیف بستگی دارد. فاصله‌گذاری لترال‌ها برای گیاه ذرت معمولا یک لترال بین دو ردیف است. اخیرا برای به حداکثر رساندن عملکرد، از کشت ذرت با تراکم بالاتر استفاده شده است. بدین منظور، فاصله ردیف ۲۰ اینچ (۵۰ سانتی‌متر) به‌کار می‌رود. در این حالت، فاصله لترال ۴۰ اینچ (۱۰۰ سانتی‌متر) برای آبیاری دو ردیف محصول توسط یک لترال مناسب خواهد بود. Camp (1998) در بررسی گسترده‌ای از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عمق نصب لترال‌ها (قطره‌چکان‌ها) را در محدوده ۰/۲ تا ۰/۷ متر گزارش داده است که این عمق عمدتا توسط نوع گیاه و خصوصیات خاک تعیین می‌شود. برای گیاه ذرت معمولا قطره‌چکان‌ها در عمق ۱۲ اینچ (۳۰ سانتی‌متر) دفن می‌شوند ولی عمق نصب ۸ تا ۱۸ اینچ (۲۰ تا ۴۵ سانتی‌متر) نیز ممکن است به‌کار رود. نصب عمیق قطره‌چکان، تلفات ناشی از تبخیر را به حداقل می‌رساند اما این باید با در نظر گرفتن عمق ریشه و تجمع ریشه با پتانسیل افزایش تلفات نفوذ عمقی در این حالت در تعادل باشد (Gilley and Allred, 1974; Thomas et al., 1974; Philip, 1991). شدت جریان قطره‌چکان بسته به سرعت نفوذ آب به خاک و شدت کاربرد مورد نظر ممکن است بین ۰/۱۶ تا ۱ گالن بر ساعت (حدود ۰/۶ تا ۴ لیتر بر ساعت مورد استفاده قرار گیرد. فاصله قطره‌چکان‌ها بسته به مشخصات خاک معمولا بین ۱۸ تا ۲۴ اینچ (۴۵ تا ۶۰ سانتی‌متر) می‌باشد. برای محصولات با ریشه‌های کم‌عمق که نسبت به تنش آبی حساس هستند، می‌توان با آبیاری با تناوب بیش‌تر مخصوصا در خاک‌های شنی عملکرد بالاتری به‌دست آورد. برای محصولات حساس به تنش آبی، آبیاری روزانه یا دو بار در هفته بدون توجه به نوع خاک پیشنهاد شده است. در تحقیق حاضر، ابتدا مدت زمان آبیاری برای دور آبیاری ۳ روز با استفاده از اطلاعات جدول ۶ برابر با ۶/۵ ساعت محاسبه شد و سپس مدل کالیبره شده برای عمق‌های مختلف نصب قطره‌چکان ۲۰، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به مدت ۷۲ ساعت اجرا شد. پیشروی رو پایین جبهه رطوبتی، عمق ناحیه خشک خاک و میزان تلفات نفوذ عمقی بر حسب سانتی‌متر بلافاصله پس از آبیاری (۶/۵ ساعت آبیاری) و در فاز توزیع مجدد رطوبت (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از قطع آبیاری) در محل قطره‌چکان و نصف فاصله بین دو قطره‌چکان در جدول (۷) و شکل‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده‌اند.

جدول ۵- مقایسه آماری مقادیر رطوبت مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به پروفیل خاک در محل قطره‌چکان

آزمایش	مدت آبیاری (h)	فاصله لترال (cm)	فاصله قطره‌چکان (cm)	عمق قطره‌چکان (cm)	مقایسه	R^2	RMSE
۶	۱	۱۰۰	۴۰	۳۰	Obs-H3D	۰/۸۳	۰/۰۲۹
					Obs-H2D	۰/۶۳	۰/۰۶۱
					H3D-H2D	۰/۹۳	۰/۰۶۸
۷	۴	۱۰۰	۴۰	۳۰	Obs-H3D	۰/۸۰	۰/۰۳۶
					Obs-H2D	۰/۸۷	۰/۰۴۸
					H3D-H2D	۰/۹۸	۰/۰۲۵

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- اطلاعات مورد استفاده در محاسبه مدت زمان آبیاری

گیاه	فاصله ردیف‌های کشت (cm)	فاصله بوته‌ها روی ردیف (cm)	فاصله لترال (cm)	فاصله قطره‌چکان (cm)	حداکثر نیاز آبی (mm/day)	عمق موثر ریشه* (cm)
ذرت شیرین	۵۰	۲۰	۱۰۰	۴۰	۱۰/۶	۴۰ تا ۶۰

*عمق موثر ریشه که شامل حدودا ۸۰ درصد ریشه‌های تغذیه کننده در یک خاک عمیق، یکنواخت و خوب زهکشی شده می‌باشد.

جدول ۷- ابعاد شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس سه‌بعدی

عمق قطره‌چکان		۶/۵ ساعت		۲۴ ساعت		۴۸ ساعت		۷۲ ساعت	
		محل	بین	محل	بین	محل	بین	محل	بین
۲۰	عمق ناحیه خشک خاک*	–	–	–	–	–	–	–	–
	پیشروی رو به پایین*	۵۲/۹۳	۴۷/۵۱	۶۴/۴۲	۶۳/۰۷	۶۹/۱۷	۶۸/۵۳	۷۱/۶۹	۷۱/۳۰
	تلفات نفوذ عمقی	–	–	۴/۴۲	۳/۰۷	۹/۱۷	۸/۵۳	۱۱/۶۹	۱۱/۳۰
۳۰	عمق ناحیه خشک خاک*	۳/۸۵	۹/۵۸	–	–	–	–	–	–
	پیشروی رو به پایین*	۶۲/۹۲	۵۰/۴۲	۷۳/۳۷	۷۳/۱۸	۷۸/۹۸	۷۸/۳۷	۸۱/۳۳	۸۰/۸۷
	تلفات نفوذ عمقی	۲/۹۲	–	۱۳/۳۷	۱۳/۱۸	۱۸/۹۸	۱۸/۳۷	۲۱/۳۳	۲۰/۸۷
۴۵	عمق ناحیه خشک خاک*	۱۹/۰۵	۲۴/۶۳	۱۱/۹۳	۱۲/۹۹	۹/۴۱	۹/۵۶	۷/۸۹	۷/۸۰
	پیشروی رو به پایین*	۷۷/۹۳	۷۲/۶۳	۸۹/۳۷	۸۸/۰۹	۹۳/۹۲	۹۳/۲۸	۹۶/۲۲	۹۵/۷۷
	تلفات نفوذ عمقی	۱۷/۹۳	۱۲/۶۳	۲۹/۳۷	۲۸/۰۹	۳۳/۹۲	۳۳/۲۸	۳۶/۲۲	۳۵/۷۷

*مقادیر عمق ناحیه خشک خاک و پیشروی رو به پایین در محل و نصف فاصله بین دو قطره‌چکان از سطح خاک محاسبه شده‌اند.

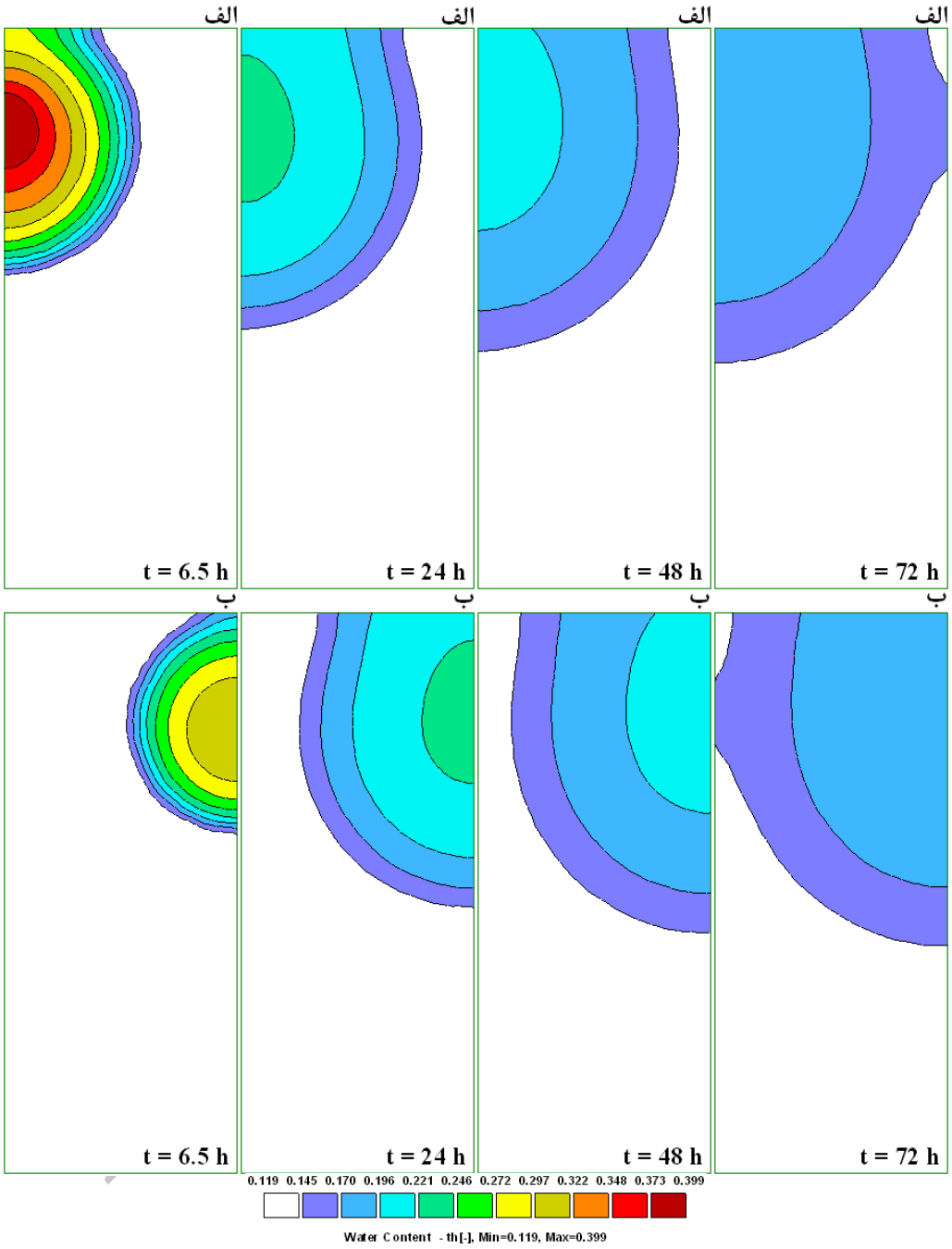
حدود ۲/۵ ساعت پس از شروع آبیاری و فقط برای قطره‌چکان نصب شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری آب به سطح خاک رسید. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در قطره‌چکان نصب شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری آب به سطح خاک رسیده و مقدار عمق ناحیه خشک خاک صفر می‌باشد. در حالی‌که حداکثر عمق ناحیه خشک برای قطره‌چکان نصب شده در عمق ۴۵ سانتی‌متری به‌دست آمده است. از طرف دیگر، میزان تلفات نفوذ عمقی با افزایش عمق نصب قطره‌چکان افزایش یافته و نصب قطره‌چکان در عمق ۴۵ سانتی‌متری منجر به بیش‌ترین مقدار تلفات نفوذ عمقی نسبت به دو عمق دیگر شده است. با توجه به مقادیر عمق ناحیه خشک خاک بلافاصله پس از آبیاری (۳/۸۵ سانتی‌متر در محل قطره‌چکان و ۹/۵۸ سانتی‌متر در نصف فاصله بین دو قطره‌چکان مجاور روی یک لترال) و مقادیر تلفات نفوذ عمقی آب کم‌تر نسبت به نصب در عمق ۴۵ سانتی‌متری ارائه شده در جدول ۷ به نظر می‌رسد عمق ۳۰ سانتی‌متری عمق مناسبی برای نصب لترال (قطره‌چکان) باشد. هر چه سطح خاک خشک‌تر باشد، میزان تبخیر آب از خاک و احتمال رواناب سطحی به حداقل می‌رسد اما ممکن است تلفات آب مثل تلفات نفوذ عمقی وجود داشته باشد که اثر کاهش تبخیر را خنثی کند. جوانه‌زنی علف هرز نیز در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در حالتی که سطح خاک خشک باقی بماند در مقایسه با حالتی که سطح خاک در آن‌ها مرطوب باشد کم‌تر باشد. بعضی از کشاورزان ترجیح می‌دهند که سطح خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به عنوان شاخصی از عملکرد سیستم به‌صورت دوره‌ای مرطوب باشد، حتی اگر این باعث تلفات تبخیر آب خاک و جوانه‌زنی علف هرز گردد. از طرفی، عمق نصب قطره‌چکان باید به اندازه کافی عمیق باشد تا امکان انجام عملیات زراعی در طول فصل رشد وجود داشته باشد. هنگامی‌که آبیاری برای جوانه‌زنی بذر و استقرار نهال مورد نیاز باشد، اغلب از آبیاری بارانی یا سطحی استفاده می‌شود و یا بارش‌های طبیعی پاسخگوی این نیاز می‌باشد که در این شرایط عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر ایده‌آل خواهد بود. در شرایطی که تامین رطوبت برای دوره جوانه‌زنی با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ضروری باشد (در نواحی خشک و نیمه خشک یا زمانی‌که امکان استفاده از دو سیستم آبیاری وجود نداشته باشد)، کشاورز ممکن است عمق نصب ۲۰ سانتی‌متری را ترجیح دهد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، پیشروی جبهه رطوبتی در محل قطره‌چکان و بین دو قطره‌چکان مجاور در لترال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی توسط مدل هایدروس شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی‌های عددی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با در نظر گرفتن دو نوع هندسه (۱) سیستم سه بعدی و (۲) سیستم دو بعدی با تقارن محوری انجام شد.

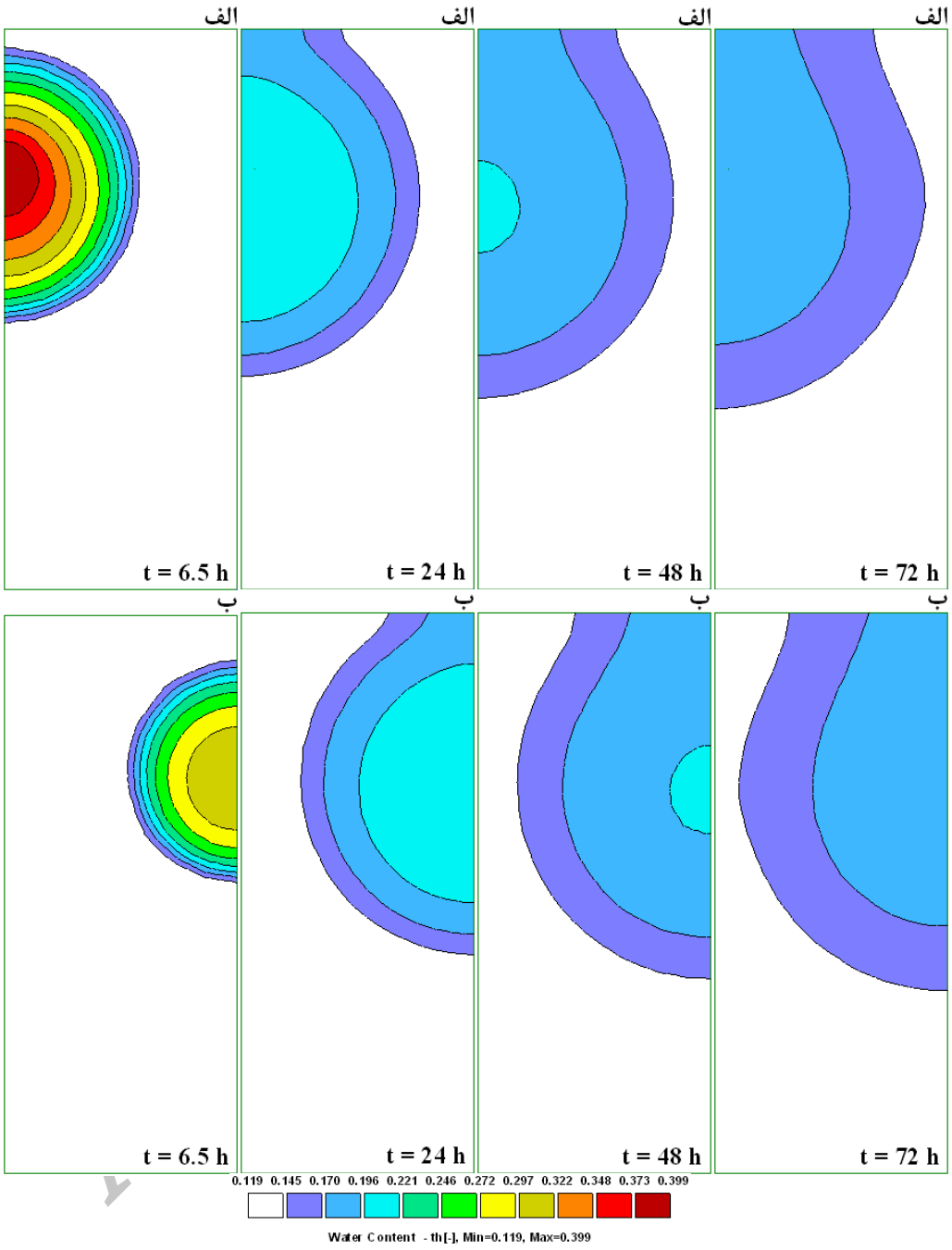
Archive of SID

www.SID.ir



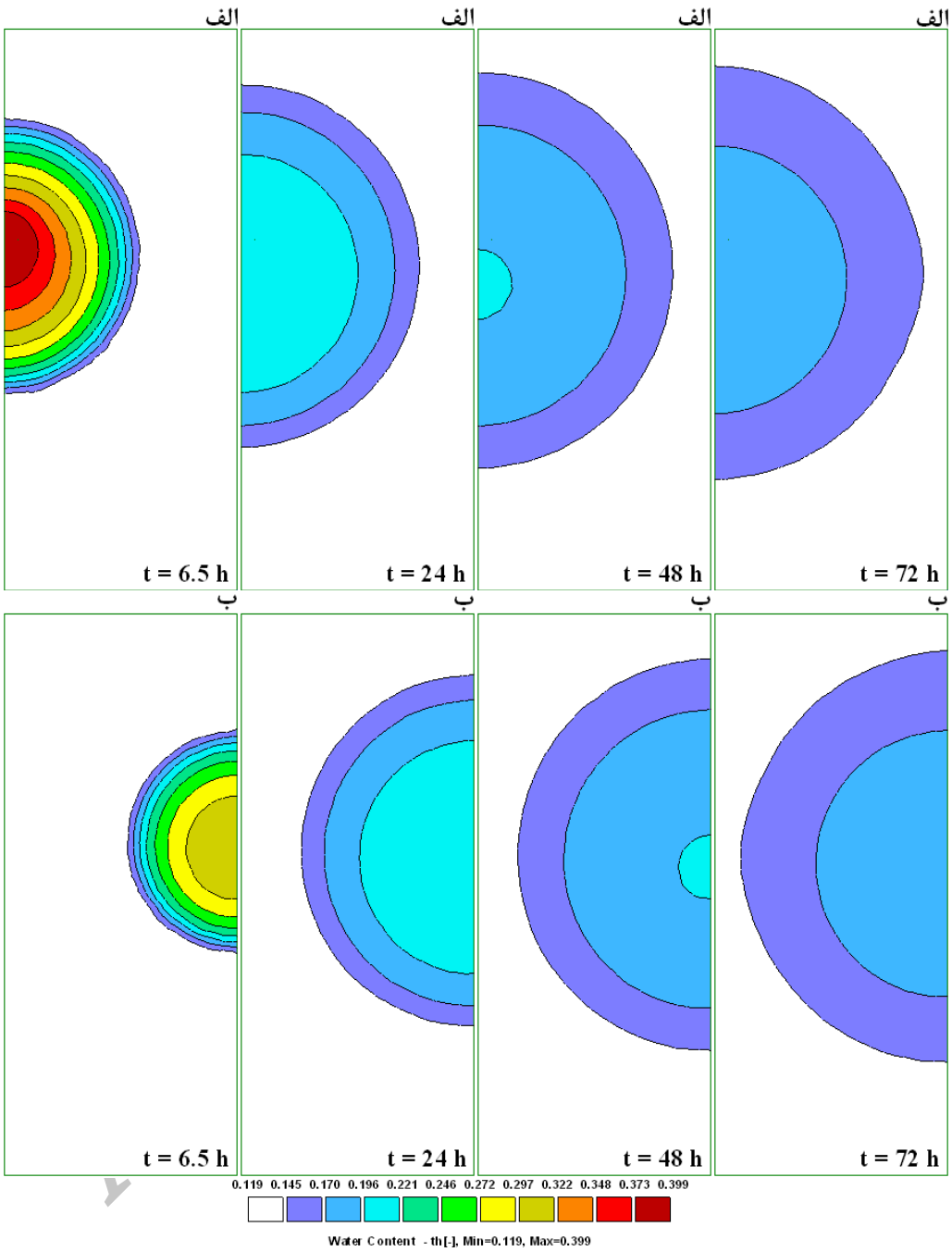
شکل ۸- توزیع رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس سه بعدی برای عمق نصب قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر در صفحه‌ای عمود بر لترال در (الف) محل قطره‌چکان و (ب) نصف فاصله بین دو قطره‌چکان

www.SID.ir



شکل ۹- توزیع رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس سه بعدی برای عمق نصب قطره‌چکان ۳۰ سانتی‌متر در صفحه‌ای عمود بر لترال در (الف) محل قطره‌چکان و (ب) نصف فاصله بین دو قطره‌چکان

www.SID.ir



شکل ۱۰- توزیع رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس سه بعدی برای عمق نصب قطره‌چکان ٤٥ سانتی‌متر در صفحه‌ای عمود بر لترال در (الف) محل قطره‌چکان و (ب) نصف فاصله بین دو قطره‌چکان

ابعاد جبهه رطوبتی و مقادیر حجمی رطوبت مشاهداتی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های دو بعدی و سه بعدی مدل هایدروس مقایسه شدند. ابعاد پیشروی جبهه رطوبتی پیش‌بینی شده توسط مدل سه بعدی با مقادیر مشاهداتی همخوانی خوبی داشت. دقت مدل دو بعدی هایدروس در پیش‌بینی میزان رطوبت برای نقاط واقع در پروفیل خاک لحاظ شده در وسط دو قطره‌چکان چندان مطلوب نبود؛ گرچه دقت آن در پروفیل‌های عبوری از محل قطره‌چکان‌ها قابل قبول بود. بنابراین، در حالت کلی، مدل هایدروس سه بعدی از کارآیی

www.SID.ir

بهتری نسبت به هایدروس دو بعدی در شبیه‌سازی ابعاد جبهه رطوبتی در حد فاصل دو قطره‌چکان برخوردار است. همچنین با افزایش زمان آبیاری از ۱ ساعت به ۴ ساعت، اختلاف بین مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده در پروفیل‌های عبوری از محل قطره‌چکان‌ها توسط مدل دو بعدی و سه بعدی از ۰/۰۶۸ به ۰/۰۲۵کاهش یافت. انتظار می‌رود با افزایش زمان آبیاری جبهه‌های رطوبتی دو قطره‌چکان مجاور کاملا ادغام شده و جریان آب بین دو قطره‌چکان به حالت یکنواخت برسد. پس از تعیین دقت مدل هایدروس سه بعدی، از آن برای تعیین عمق مناسب نصب قطره‌چکان در خاک مورد مطالعه برای گیاه ذرت شیرین استفاده شد. بدین منظور، مدل کالیبره شده برای عمق‌های مختلف نصب قطره‌چکان ۲۰، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به مدت ۷۲ ساعت (دور آبیاری ۳ روزه) اجرا شد. مقدیر پیشروی رو پایین جبهه رطوبتی، عمق ناحیه خشک خاک و میزان تلفات نفوذ عمقی بر حسب سانتی‌متر بلافاصله پس از آبیاری (۶/۵ ساعت آبیاری) و در فاز توزیع مجدد رطوبت (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از قطع آبیاری) در محل قطره-چکان و نصف فاصله بین دو قطره‌چکان به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها برای سه عمق در نظر گرفته شده، عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌عنوان مناسب‌ترین عمق برای نصب لترال‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای گیاه ذرت شیرین در خاک مورد مطالعه پیشنهاد گردید، با این حال، عمق ۲۰ سانتی‌متر نیز بنا به ترجیح کشاورز قابل کاربرد می-باشد. در تحقیق حاضر تنها یک بافت مورد بررسی قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های دیگری در انواع خاک‌های زراعی برای لترال منفرد و مضاعف با در نظر گرفتن آرایش مختلف لترال‌ها و قطره‌چکان‌ها و دبی‌های مختلف قطره‌چکان انجام گیرد و توانایی مدل هایدروس در شبیه‌سازی سه بعدی جریان در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و نیز سطحی و تعیین عمق بهینه لترال مورد بررسی قرار گیرد. اثر جذب ریشه از اهمیت بالایی در تعیین عمق مناسب قطره-چکان (لترال) برخوردار است. توصیه می‌شود توانایی مدل هایدروس در افزودن اثر جذب ریشه به موضوع تحقیق حاضر نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

مراجع

Anonymous (July 2012). Recommended standards and guidance for performance, application, design, and operation and maintenance Subsurface Drip Systems. Washington State Department of Health, Devision of Environmental Health, Office of Shellfish and Water Protection.

Bufon, V.B., Lascano, R.J., Bednarz, C., Booker, J.D. and Gitz, D.C. (2011). Soil water content on drip irrigated cotton: comparison of measured and simulated values obtained with the Hydrus 2-D model. Irrig. Sci., DOI: 10.1007/s00271-011-0279-z.

Camp, C.R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. Trans. ASAE, 41: 1353-1367.

Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J. and Thorburn, P.J. (2003). Analysis of Soil Wetting and Solute Transport in Subsurface Trickle Irrigation. Irrig. Sci., 22: 143-156.

Gilley, J.R. and Allred, E.R. (1974). Infiltration and root extraction from subsurface irrigation laterals. Trans. ASAE, 17(5):927-933.

Lamm, F.R., Ayers, J.E., Nakayama, F.S. (Eds.) (2007). Micro irrigation for crop production. Design, operation, and management. Elsevier, Amsterdam.

Lazarovitch, N., Warrick, A.W., Furman, A. and Simunek, J. (2007). Subsurface Water Distribution from Drip Irrigation Described by Moment Analyses. Vadose Zone Journal., 6: 116-123.

Mollaei Kandelous, M.M. and Simunek, J. (2010a). Comparison of Numerical, Analytical, and Empirical Models to Estimate Wetting Patterns for Surface and Subsurface Drip Irrigation. Irrig. Sci., 28: 435-444.

Mollaei Kandelous, M.M. and Simunek, J. (2010b). Numerical Simulations of Water Movement in a Subsurface Drip Irrigation System under Field and Laboratory Conditions Using HYDRUS-2D. Agricultural Water Management, 97: 1070-1076.

Mollaei Kandelous, M.M., Simunek, J., van Genuchten, M.Th. and Malek, K. (2011). Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. Soil Sci. Sco. Am. J., 75: 488-497.

Philip, J.R. (1991). Effects of root and subirrigation depth on evaporation and percolation losses. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1520-1523.

Provenzano, G. (2007). Using HYDRUS-2D Simulation Model to Evaluate Wetted Soil Volume in Subsurface Drip Irrigation Systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE., 133(4): 342-349.

Simunek, J., Senja, M. and van Genuchten, M.T. (2007). The HYDRUS Software Package for Simulating Two-and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably- Saturated Media, User Manual, Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic.

Simunek, J., van Genuchten, M.T and Senja, M. (2006). The HYDRUS Software 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.

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.

Skaggs, T.H., Trout, T.J., Simunek, J. and Shouse, P.J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D Simulations of Drip Irrigation with Experimental Observations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE., 130(4): 304-310.

Archive of SID

www.SID.ir

Thomas, A.W., Kruse, E.G., and Duke, H.R. (1974). Steady infiltration from line sources buried in the soil. Trans. ASAE., 17(1):125-133.

Thorburn, P.J., Cook, F.J. and Bristow, K.L. (2003). Soil-Dependent Wetting from Trickle Emitters: Implications for System Design and Management. Irrig. Sci., 22: 121–127.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱
تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 7, Summer 2013, p. 205-221

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد۷، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۲۲۱-۲۰۵

Determining the Suitable Emitter Installation Depth Under Subsurface Drip Irrigation Using HYDRUS 3D Model

H. Kazemi[1*] and S.A.A. Sadraddini[2]

Abstract

In the present study, field experiments were carried out at the research fields of the Agricultural Faculty of the University of Tabriz in a sandy-loam soil in order to determine the wetting pattern dimensions and soil moisture distributions in the vicinity of an emitter and also in a domain between the two adjacent emitters in a subsurface drip irrigation system. The obtained data from experiments were compared to the results from HYDRUS two-dimensional and three-dimensional simulations. Results showed that HYDRUS-3D was more efficient than HYDRUS-2D in simulating wetting pattern dimensions on the constructed soil profiles one just at the emitter location and the other between the two adjacent emitters with RMSE values of 2.54 and 3.96, respectively. Comparison of the obtained values from the two and three dimensional simulations showed that the two models had acceptable accuracy in simulating the soil water distributions on the profile at the emitter location. Also, by increasing the irrigation duration from 1 hour to 4 hours, the value of RMSE between soil moisture values obtained from the two and three dimensional models decreased from 0.068 to 0.025. Considering the good accuracy of the three dimensional model, the calibrated model was run for three different emitter installation depths and the suitable emitter installation depth for sweet corn production in the studied soil was recommended to be 30 cm based on the plant maximum water need, minimum deep percolation and evaporation losses and the plant rooting system.

Key words: Subsurface drip irrigation, Moisture front, Sweet corn, Emitter installation depth

Archive of SID

1- Former M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Dep. of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*-Corresponding Author Email: honeyehkazemi@gmail.com)
2- Associate Professor, Dep. of Water Engineering, University of Tabriz

www.SID.ir