نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره چهل و شش . زمستان۱۴۰۰

تاثیر پارامترهای ورودی نرم افزار Hydrus 3D روی شبیه‌سازی همزمان حرکت آب و جذب ریشه چغندرقند

مجید رئوف[۱]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۲/۰۶

مقاله پژوهشی

چکیده

پیش‌بینی دقیق حرکت آب درخاک و جذب ریشه، در راستای ایجاد شرایط رطوبتی بهینه منطقه ریشه، برای افزایش عملکرد گیاه اهمیت بسیار زیادی دارد. در این پژوهش، حرکت آب در خاک و جذب ریشه چغندرقند، به‌صورت همزمان با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS 3D شبیه‌سازی و تاثیر روش‌های استخراج پارامترهای ورودی، روی دقت شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، گیاه چغندرقند در سه لایسیمتر با بافت خاک یکسان کشت شد. آبیاری‌ها به‌صورت دو بار در هفته (ساعت ۸ یکشنبه و ساعت ۱۶ چهارشنبه)، انجام شد. رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری و آب زهکشی شده از لایسی‌مترها بعد از هر آبیاری، اندازه‌گیری شد. تابع هدف، مقادیر حجم آب زهکش شده از زیر لایسی‌مترها در زمانهای مختلف بود. با اندازه‌گیری، محاسبه یا شبیه‌سازی، پارامترهای ورودی نرم افزار HYDRUS 3D شامل رطوبت اولیه (به دو روش)، رطوبت اشباع (به سه روش)، رطوبت باقیمانده (به دو روش) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (به دو روش)، استخراج و شبیه‌سازی تکمیل گردید. نتایج نشان داد در حالتی که از رطوبت باقیمانده اندازه‌گیری شده (با روش دستگاه صفحات فشاری)، رطوبت اشباع مستخرج از نرم‌افزار RETC، رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده (با روش توزین) و هدایت هیدرولیکی اشباع مستخرج از نرم‌افزار Rosetta در شبیه‌سازی استفاده شود، دقت شبیه‌سازی بیشترین مقدار خواهد بود. در حالت ذکر شده مقادیر خطای نسبی، متوسط مجذور مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، نسبت خطای متوسط هندسی و ضریب تبیین، به‌ترتیب ۱۷/۵۸درصد، ۰/۷۵۹ لیتر، ۰/۸۶۶، ۰/۷۷۷ و ۰/۸۸۵ بود. همچنین بررسی مقادیر GMER نشان داد که در بیشتر شبیه‌سازی‌ها مدل کم برآورد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حل عددی، کم‌برآورد، RETC، Rosetta

۱- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. Tel:09189127697 و Mail: majidraoof2000@gmail.com

مقدمه

شبیه‌سازی عددی راه حلی مؤثر در بهینه‌سازی مدیریت آب در مزرعه می‌باشد (Meshkat et al., 1999; Schmitz et al., 2002; Cote et al., 2003). شناخت فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی حاکم در خاک که بر روی جذب ریشه تأثیر دارند، یک گام اساسی به‌سوی توسعه کارآمد و سازگار با محیط زیست در جهت مدیریت آب و خاک در منطقه ریشه است. حرکت آب در خاک و مواد انتقال یافته با آب، غالباً نتیجه مستقیم رفتار ریشه گیاهان است. لذا بررسی نحوه جذب آب توسط ریشه گیاه، مورد تأکید اکثر محققین می‌باشد (زارع و همکاران، ۱۳۹۲). ارتباط بین عملکرد گیاه و سیستم ریشه، رویکردی است که به نظر می‌رسد محققین روی آن در دهه‌های اخیر توجه زیادی نموده‌اند (Lynch and Brown, 2001). آب از خاک به ریشه و از ریشه به برگ و سپس به جو حرکت می‌کند. جذب آب توسط ریشه به‌صورت یک ترم تخلیه در معادله حاکم بر جریان آب در خاک (معادله ریچاردز) قرار می‌گیرد. به‌طور کلی دو معیار میکروسکوپی و ماکروسکوپی در مدل کردن جذب آب توسط ریشه مطرح است (Bechmann et al., 2014). مدل‌های میکروسکوپی به‌دلیل نیاز به تعیین دقیق هندسه ریشه و اندازه‌گیری پارامترهای زیاد کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های ماکروسکوپی به‌سبب سادگی و عدم نیاز به پارامترهای زیاد به‌ویژه پارامترهای گیاهی، به‌طور گسترده در بررسی جذب آب توسط ریشه مورد استفاده قرار می‌گیرند (عباسی، ۱۳۸۶). معادله حاکم برای جریان آب در خاک (مورد استفاده در نرم‌افزار Hydrus)، معادله دوبعدی ریچاردز (Richards, 1931)، می‌باشد (رابطه ۱):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial z} + K(h)\right] - S \quad (1)$$

که در رابطه ۱: θ: درصد رطوبت حجمی [L^3L^{-3}]، h: بار فشار آب در خاک [L]، t: زمان [T]، K: هدایت هیدرولیکی [LT^{-1}]، x: جهت افقی و z: جهت عمودی را نشان می‌دهند. همچنین S نشان دهنده‌ی تخلیه از محیط موردنظر (مقدار جذب آب توسط ریشه از خاک)، می‌باشد [$L^3L^{-3}T^{-1}$]. در رابطه (۱) پارامترهای θ و K هر دو تابعی از میزان پتانسیل ماتریک خاک بوده و می‌توانند از معادلات زیر استخراج گردند (Mualem, 1976; VanGenuchten, 1980).

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+[\alpha\, h]^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$K(h) = K_s\, S_e^L \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (3)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}\ ,\ n > 1 \quad (4)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta r}{\theta s - \theta r} \quad (5)$$

که در روابط ۲ تا ۵، θ_s: درصد آب خاک اشباع [L^3L^{-3}]، θ_r: درصد آب خاک باقیمانده [L^3L^{-3}]، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع [LT^{-1}]، n: شاخص توزیع خلل و فرج و l: پارامتر مربوط به پیوستگی منافذ خاک که توسط معلم (۱۹۷۶) به‌دست آمده و در بسیاری از خاک‌ها برابر ۰/۵ می‌باشد.

خصوصیت مهم معادله ریچاردز این است که از داده‌های رطوبتی و هیدرولیکی استفاده می‌کند و در شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی بسیار کاربرد دارد. اندازه‌گیری مستقیم توزیع شدت جذب آب در کل پروفیل مشکل است. دشواری این مسئله به‌علت دینامیکی بودن درصد رطوبت خاک است که تحت اثر دو عامل جذب ریشه و گرادیان پتانسیل رطوبت خاک می‌باشد. بنابراین اغلب نیاز است که معادله ریچاردز را با تابع ترم جذب پیوند داد تا بتوان مدل‌های جذب ریشه را در مقابل داده‌های صحرایی محک زد. معادله ریچاردز پیوند داده شده با تابع ترم جدید عموماً با درنظر گرفتن شرایط مرزی و شرایط اولیه و به دو روش تفاضلات محدود و المان‌های محدود به‌صورت عددی حل می‌شود. جهت حل معادله دیفرانسیلی ریچاردز، نیاز به شرایط اولیه و مرزی وجود دارد (Simunek et al., 2006). از جمله پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D، رطوبت اولیه، رطوبت باقیمانده، رطوبت

اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مورد آزمایش می‌باشند که به روش‌های مختلف قابل استخراج می‌باشند. از جمله روش‌های استخراج پارامترهای مذکور، روش اندازه‌گیری در مزرعه و آزمایشگاه و استفاده از نرم‌افزارهای RETC و Rosetta می‌باشند. تحقیقات متفاوتی در زمینه تاثیر پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 1,2,3D روی نتایج خروجی از این نرم‌افزار انجام شده است (Simunek and Hopman 2009، Bechmann et al. 2014، بشارت و همکاران ۱۳۹۰، میرزایی و ناظمی ۱۳۹۰، و دهقان ۱۳۹۷). تمامی تحقیقات ذکر شده نشان داده است که مقادیر پارامترهای ورودی روی نتایج خروجی نرم‌افزار تاثیر داشته و این تاثیر در برخی از پارامترها شدیدتر از برخی پارامترهای دیگر بوده است.

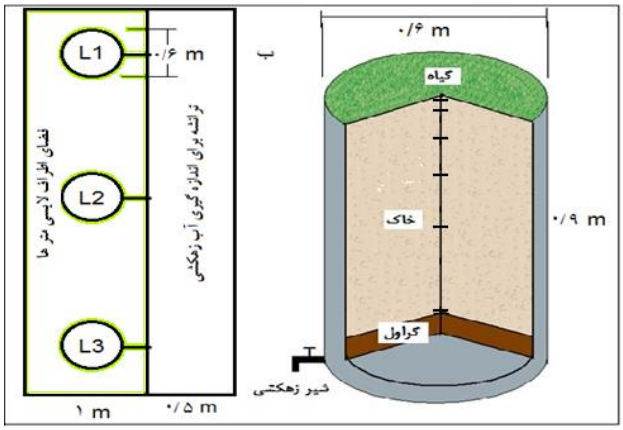
ابراهیمی و رئوف (۱۳۹۴ و **۱۳۹۵**)، منحنی‌های نگهداشت آب خاک و هدایت هیدرولیکی، به دست آمده از روش حل معکوس در نرم‌افزار Hydrus 3D، در سه سطوح مختلف ورودی نرم‌افزار رزتا را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نمودند. نتایج نشان داد در تخمین منحنی نگهداشت آب خاک و هدایت هیدرولیکی استفاده از مدل SSC+BD به‌عنوان ورودی نرم‌افزار رزتا دارای بیشترین دقت می‌باشد.

هدف از این تحقیق بررسی دقت نتایج خروجی نرم‌افزار Hydrus 3D، در شبیه‌سازی همزمان حرکت آب در خاک و جذب ریشه چغندرقند در محیط لایسی‌متر، به ازای مقادیر مختلف ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی هانگار دانشگاه محقق اردبیلی واقع در خیابان دانشگاه شهر اردبیل انجام شد. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شمالی و ۴۸ درجه و ۱۷ درجه‌ی شرقی می‌باشد (شکل ۱). برای انجام این تحقیق از سه لایسی‌متر حجمی فلزی (شکل ۱) به قطر ۵۸ سانتی‌متر و عمق ۹۰ سانتی‌متر استفاده شد. در انتهای لایسی‌مترها شیری برای خروج آب زهکشی تعبیه شد که زه‌آب بعد از جمع‌آوری، با استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد. به منظور سهولت در زهکشی آب اضافی، لایه‌ی شنی به‌ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف لایسی‌مترها ریخته شد. گیاه چغندرقند در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶، در لایسی‌مترها و مساحتی در اطراف لایسی‌مترها کشت و جهت جوانه‌زنی آبیاری کامل شد. آبیاری‌ها به‌صورت دو بار در هفته (ساعت ۸ یکشنبه و ساعت ۱۶چهارشنبه)، انجام شد. آب زهکشی نیز در صورت وجود، در هر دور آبیاری جمع‌آوری و در دو زمان (ساعت ۱۰ و ۱۸) با استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد. جهت جلوگیری از تبخیر زه‌آب، سطح ظرف جمع‌آوری کننده آب زهکشی با پلاستیک پوشانده شد. آبیاری گیاهان کشت شده به روش ساده دستی صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری مقادیر بارش روزانه یک عدد باران‌سنج در کنار لایسی‌مترهای مورد نظر نصب شد و بارندگی‌های روزانه اندازه‌گیری و ثبت گردید. جهت استخراج رطوبت خاک در زمان‌های مختلف در طول فصل رشد گیاه از دو روش استفاده شد. در روش اول، جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک موجود در لایسی‌مترها قبل از هر آبیاری، از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر، نمونه خاک دست خورده از هر لایسی‌متر برداشت شد. جهت برداشت نمونه خاک برای تعیین رطوبت خاک، عمل تنک کردن گیاهچه‌های چغندرقند طوری صورت گرفت که محل‌های مناسبی برای برداشت نمونه خاک در داخل هر لایسی‌متر باقی مانده باشد. علاوه بر برداشت نمونه قبل از هر آبیاری، در طول فصل کاشت تا برداشت چغندرقند در چندین زمان مختلف از اعماق مختلف نیز با استفاده از مته نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک دست خورده برای تعیین رطوبت در اعماق پایین‌تر خاک برداشت گردید. در روش دوم از بلوک‌های گچی مدفون در اعماق ۰، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۸۰ سانتی‌متری استفاده شد.



شکل (۱): نمایی شماتیک از لایسی‌مترها

قبل از آبیاری عدد دستگاه مقاومت‌سنج ELE مدل MC-302، قرائت و با استفاده از منحنی کالیبراسیون دستگاه، میزان رطوبت محاسبه شد. اعداد استخراج شده از روش مقاومت سنجی، در ابتدای فصل، دارای دقت قابل قبولی نسبت به اعداد اندازه‌گیری شده بودند، اما با گذشت زمان از ابتدای فصل کشت خطای روش مقاومت سنجی نسبت به روش اندازه‌گیری شده افزایش یافت و اجباراً، از روش مقاومت سنجی تنها برای تعیین رطوبت اولیه خاک (رطوبت زمان کاشت گیاه چغندرقند) در شبیه‌سازی استفاده شد. همچنین سعی شد با انجام آبیاری به موقع رطوبت خاک از حد رطوبت سهل‌الوصول کمتر نگردد تا به گیاه تنش رطوبتی وارد نشود. اندازه‌گیری‌ها تا ۲۰ آبان ۱۳۹۶ (زمان برداشت گیاه چغندرقند) ادامه داشت. با توجه به اینکه تراکم گیاهچه‌های چغندرقند بیشتر از حد معمول شده بود، عمل تنک کردن آن دو بار صورت گرفت. بعد از دومین تنک کردن فاصله گیاهچه‌ها از هم تقریبا به حالت متعارف کشت چغندرقند یعنی حدود ۱۰۰ هزار بوته در هکتار (طالقانی و همکاران، ۱۳۸۳) رسید.

تعیین پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D

جهت مقایسه نتایج خروجی از نرم‌افزار با مقادیر اندازه‌گیری شده، ابتدا پارامترهای ورودی نرم‌افزار با روش‌های متفاوت تعیین شده و در هر بار شبیه‌سازی مقادیر خطا استخراج و مورد مقایسه قرار گرفتند. بسیاری از پارامترهای ورودی نرم‌افزار از جمله، خصوصیات مربوط به خاک، عمق و حجم آب آبیاری، عمق و حجم زه‌آب، در طول فصل زراعی به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شدند. تعدادی از پارامترهایی که دقت شبیه‌سازی حرکت آب در خاک و جذب ریشه چغندقند را تحت تاثیر قرار می‌دهند و پارامترهای هدف طرح می‌باشند به چندین روش مختلف تعیین گردید. این پارامترها شامل رطوبت اولیه (به دو روش)، رطوبت اشباع (به سه روش)، رطوبت باقیمانده (به دو روش) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (به دو روش) بودند. جدول (۱) روش‌های تعیین پارامترهای مختلف ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D را نشان می‌دهد.

جدول (۱): روش‌های تعیین پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D

ردیف	نام پارامتر	روش استخراج	
		اندازه‌گیری	نرم‌افزار
۱	رطوبت اولیه (θ_i)	وزن کردن نمونه خاک	-
		مقاومت سنجی (بلوک‌های گچی)	
۲	رطوبت اشباع (θ_s)	اشباع کردن نمونه خاک	Rosetta RETC
۳	رطوبت باقیمانده (θ_r)	صفحات فشاری	Rosetta
۴	هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)	استوانه‌های مضاعف	Rosetta

تابع هدف و معیارهای ارزیابی خروجی نرم-افزار Hydrus 3D

در شبیه‌سازی هم‌زمان حرکت آب در خاک و جذب ریشه چغندرقند، مقادیر حجم زه‌آب به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. بنابراین با کمک این پارامتر، نتایج استخراج شده از نرم‌افزار Hydrus 3D با مقادیر اندازه-گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. جهت تعیین تاثیر تغییر مقادیر اولیه هر پارامتر، مقادیر سایر پارامترها ثابت (مقدار اندازه‌گیری شده) و مقدار پارامتر مورد نظر متغیر در نظر گرفته شد. این کار برای تمام پارامترها انجام شد و در هر بار شبیه‌سازی مقدار خطا استخراج و در نهایت برای هر پارامتر، مقدار و روشی که دارای خطای کمتر بود انتخاب شد. جهت ارزیابی دقت نرم-افزار Hydrus 3D از شاخص‌های، ضریب تبیین (R^2)، خطای نسبی (RE[1])، متوسط مجذور مربعات خطا (RMSE[2])، راندمان نش ساتکلیف (NSE[3]) و نسبت خطای متوسط هندسی (GMER[4])، به شرح زیر استفاده شد.

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \times 100 \qquad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)^2}{N}} \qquad (۷)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \bar{M})^2} \qquad (۸)$$

$$GMER = EXP(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \ln(\frac{M_i}{O_i})) \qquad (۹)$$

که در روابط (۶) تا (۹)، M_i: و O_i: به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده (شبیه‌سازی شده)، $\bar{O}$: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و N: تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده حجم زه‌آب می‌باشد. پارامتر GMER بیانگر بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. GMER برابر با یک تطابق کامل بین مقادیر اندازه-گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد. مقدار GMER کمتر از یک نشان می‌دهد مدل به طور کلی کم‌برآورد و GMER بزرگ‌تر از یک نشان می‌دهد مدل دارای بیش‌برآورد است (Wagner et al., 2001).

نتایج و بحث

خصوصیات خاک و پارامترهای ورودی نرم-افزار Hydrus 3D

خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک در اعماق مختلف، در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. در جدول شماره (۲) خصوصیات مورد نظر در چهار عمق ۱۵-۰ ، ۳۰-۱۵ ، ۵۰-۳۰ و ۹۰-۵۰ سانتی‌متر آورده شده‌اند. درصد بالای ذرات شن در تمام اعماق بیانگر این موضوع است که آب داده شده به لایسی‌مترها به احتمال زیاد به آسانی زهکشی خواهد شد و ذخیره رطوبتی خاک و نگهداشت آن بالا نخواهد بود. بنابراین نمی‌توان دور آبیاری بالا را اعمال نمود، زیرا در این صورت احتمال وارد شدن تنش به گیاه وجود خواهد داشت. در اعماق پایین‌تر از ۳۰ سانتی‌متر، جرم ویژهٔ ظاهری نسبتاً بیشتر و تخلخل نسبتاً کمتر است، این مورد می‌تواند به‌دلیل اثر وزن ستون خاک اعماق بالا در اعماق پایین باشد (Raoof et al., 2009). خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک وارد نرم‌افزارهای Rosetta و RETC شد و مقادیر پارامترهای رطوبت باقیمانده (θ_r)، رطوبت اشباع (θ_s) و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) از نرم‌افزار Rosetta و پارامتر رطوبت اشباع از نرم‌افزار RETC استخراج شدند. جدول شماره (۳) مقادیر استخراج شده پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D را در روش-های مختلف نشان می‌دهد. در شکل شماره (۲) مقادیر عمق آب آبیاری و زهکش شده از زیر لایسی‌مترها آورده شده است. عمق آب آبیاری و بارندگی به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D می‌باشند. آبیاری گیاه چغندرقند با هشت لیتر در هر دور آبیاری

1 Relative Error
2 Root Mean Square Error
3 Nash-Sutclifffe Efficiency
4 Geometric Mean Error Ratio

به ازای هر لایسی‌متر (معادل ۳۲/۲ میلیمتر) در ابتدای دوره رشد آغاز شد.

جدول (۲): برخی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه (خاک لایسی‌متر) در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	جرم ویژهٔ ظاهری $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$	تخلخل کل (٪)	رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه (٪)	رطوبت حجمی پژمردگی دائم (٪)	درصد ذرات تشکیل دهنده (٪)			بافت خاک
					رس	سیلت	شن	
۱۵-۰	۱/۴	۴۴/۱	۲۲/۹	۱۳/۲	۶	۳۱	۶۳	لوم شنی
۳۰-۱۵	۱/۳	۴۶/۲	۲۳/۱	۱۳/۵	۶	۳۰	۶۴	لوم شنی
۵۰-۳۰	۱/۴	۴۵/۳	۲۳/۷	۱۲/۳	۵	۳۲	۶۳	لوم شنی
۹۰-۵۰	۱/۴	۴۳/۷	۲۲/۵	۱۳	۵	۳۲	۶۳	لوم شنی

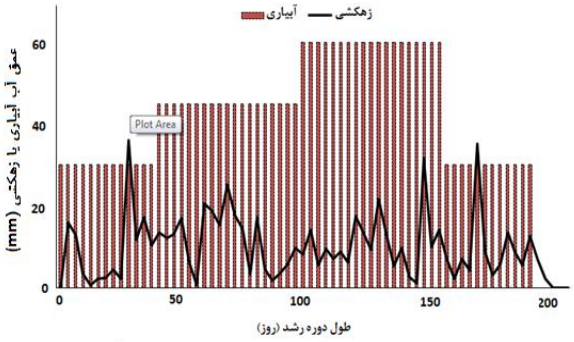
جدول (۳): مقادیر استخراج شده پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D به روش‌های مختلف

روش استخراج	پارامتر			
	$(-)\theta_i$	$(-)\theta_r$	$(-)\theta_s$	$(cm/day)K_s$
اندازه‌گیری	۰/۲۵۴ (وزنی) ۰/۳۳۹ (مقاومت سنجی)	۰/۱۳ (وزنی)	۰/۴۴۸ (وزنی)	۲۸۱/۶ (استوانه‌های مضاعف)
نرم افزار Rosetta	-	۰/۰۳۵۳	۰/۳۹۵	۸۳/۴۹
نرم افزار RETC	-	-	۰/۴۵۸	-

با گذشت زمان از ابتدای دوره رشد و به‌علت افزایش دمای هوا و طول مدت روشنایی روزانه و در نتیجه افزایش میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه، میزان آب آبیاری به ۱۲ لیتر (معادل ۴۵/۴۴ میلیمتر) و سپس به ۱۶ لیتر (معادل ۶۴/۴ میلیمتر) افزایش یافته و در نهایت در انتهای دوره (که دمای هوا و مدت روشنایی روزانه کاهش یافت) به‌علت کاهش میزان تبخیر و تعرق به هشت لیتر (معادل ۳۲/۲ میلیمتر) کاهش داده شد. اگرچه مقدار آب آبیاری در دوره‌های میانی رشد چغندرقند افزایش یافت، لیکن مقدار آب زهکش شده دارای افزایش محسوس نبود. این موضوع بیانگر آن است که اکثر آب داده شده به لایسی-مترها به‌صورت تبخیر و تعرق از سیستم لایسی‌متر خارج شده است. در برخی زمان‌ها حجم آب زهکش شده افزایش داشت، که به‌دلیل وجود بارندگی زیاد و آب مازادی است که از بارش ایجاد شده است. البته این موضوع می‌تواند به کم بودن میزان تبخیر و جذب ریشه گیاه نیز مرتبط باشد زیرا در روزهایی که دمای هوا پایین بود، میزان تبخیر تعرق کم بوده و در نتیجه میزان زه‌آب افزایش یافت. در شکل (۳) مقادیر رطوبت حجمی خاک برای چهار عمق مورد اندازه‌گیری (متوسط سه لایسی‌متر)، مقادیر بارندگی روزانه برای کل دوره رشد چغندرقند، حد رطوبتی ظرفیت زراعی خاک، حد رطوبتی پژمردگی دائم و ضریب تخلیه مجاز ارائه شده است. چنانچه از شکل (۳) مشخص است در بخش زیادی از دوره رشد رطوبت اندازه‌گیری شده در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر کمتر از سایر اعماق بود. همچنین رطوبت در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر از رطوبت بقیه اعماق بیشتر بوده است. با توجه به اینکه اکثر اندازه-گیری رطوبت در عمق سطحی قبل از آبیاری (زمانی که رطوبت خاک تخلیه شده است) صورت گرفته است، دلیل پایین‌تر بودن رطوبت در عمق ۱۵-۰ تبخیر بیش از حد آب از لایه بالایی خاک بود زیرا این لایه بیشتر در معرض اتمسفر قرار داشته است.

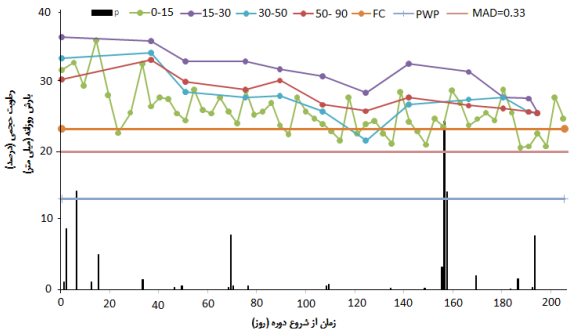
شبیه‌سازی جریان آب در خاک و جذب ریشه

شبیه‌سازی جریان آب در خاک و جذب ریشه در پنج مرحله صورت گرفت. در مرحله اول مقادیر پارامترهای θ_r ، θ_s و K_s ثابت فرض شده و برای پارامتر θ_i دو مقدار متفاوت در نظر گرفته شد.



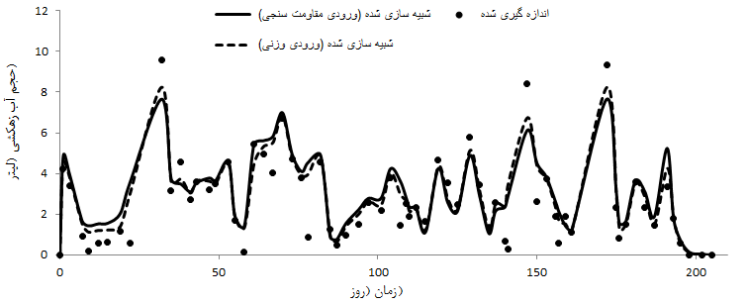
شکل (۲): مقدار متوسط ارتفاع آب آبیاری و زهکش شده گیری از لایسی‌مترها

در مراحل ۲، ۳ و ۴ نیز به‌ترتیب پارامترهای θ_r ، θ_s و K_s متغیر فرض شده و بقیه پارامترهای ورودی ثابت (مقادیر اندازه‌گیری) شده فرض شدند. در مرحله ۵، شبیه‌سازی بر اساس مقادیر بهینه هر پارامتر صورت گرفت. شکل شماره (۴) تاثیر تغییر در مقدار پارامتر θ_i را در مقدار آب زهکش شده شبیه‌سازی شده از زیر لایسی‌متر را نشان می‌دهد. در شبیه‌سازی شکل (۴) برای پارامترهای ورودی θ_r ، θ_s و K_s همگی از مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده شده است. در مقادیر اندازه-گیری شده رطوبت اولیه، نرم‌افزار Hydrus 3D در

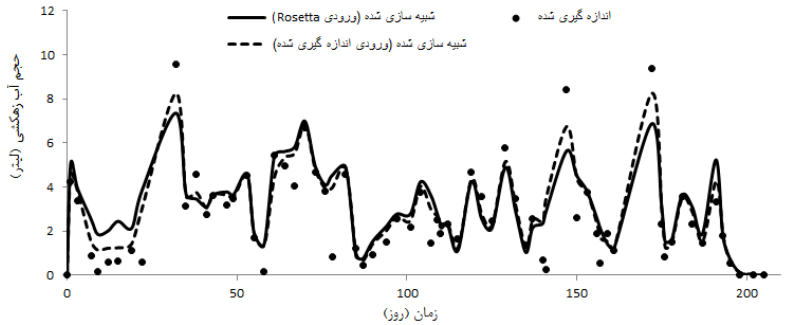


شکل (۳): مقادیر بارش و متوسط رطوبت حجمی اندازه شده خاک برای اعماق مختلف

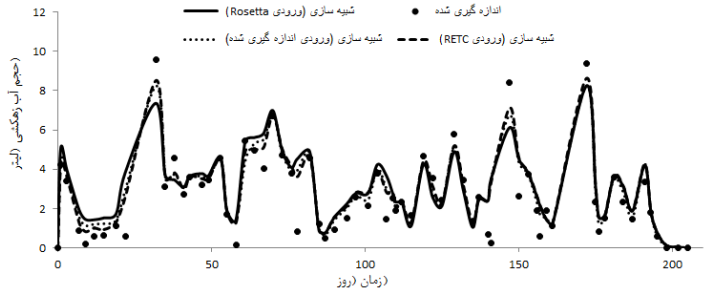
شبیه‌سازی مقادیر زه‌آب، دارای دقت بالاتری بود. دقت شبیه‌سازی برای حجم بالای زه‌آب، بیشتر بود. اشکال (۵) تا (۷) به‌ترتیب تاثیر تغییرات پارامترهای θ_r ، θ_s و K_s (با فرض ثابت بودن سایر پارامترها)، را روی حجم زه‌آب شبیه‌سازی شده نشان می‌دهند. چنانچه از اشکال (۵) تا (۷) مشخص است در بسیاری از زمان‌ها، منحنی-های شبیه‌سازی شده روی همدیگر افتاده و تطابق بسیار بالایی را نشان می‌دهند (اعداد جدول (۴) نیز این موضوع را تصدیق می‌نمایند).



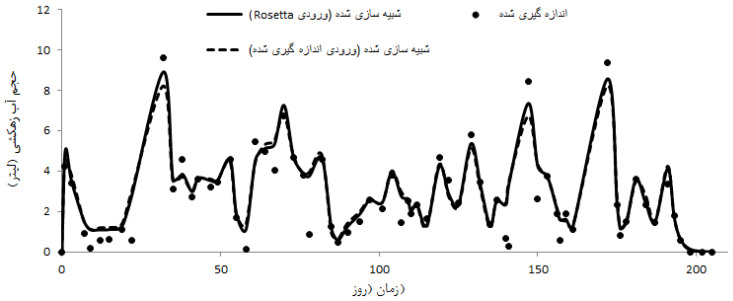
شکل (۴): تاثیر مقادیر مختلف رطوبت اولیه (θ_i) روی مقدار آب زهکش شده از زیر لایسی‌متر حاوی چغندرقند



شکل (۵): تاثیر مقادیر مختلف رطوبت باقیمانده (θ_r) روی مقدار آب زهکش شده از زیر لایسی‌متر حاوی چغندرقند



شکل (۶): تاثیر مقادیر مختلف رطوبت اشباع (θ_s) روی مقدار آب زهکش شده از زیر لایسی‌متر حاوی چغندرقند



شکل (۷): تاثیر مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) روی مقدار آب زهکش شده از زیر لایسی‌متر حاوی چغندرقند

در تاثیر مقادیر مختلف رطوبت باقیمانده، روی مقدار حجم زه‌آب شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار به نظر می‌رسد زمانی که داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند، دقت شبیه‌سازی بیشتر از زمانی است که داده‌های مستخرج از روزتا استفاده شده است. همچنین در مورد تاثیر تغییرات پارامترهای رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع (به‌ترتیب شکل‌های ۶ و ۷)، به‌ترتیب شبیه‌سازی با ورودی نرم-افزار RETC و Rossetta دارای دقت بیشتری بوده‌اند.

جدول شماره (۴) مقادیر پارامترهای آماری مورد استفاده در تحقیق، برای شبیه سازی‌های مختلف را نشان می‌دهد. مقادیر پارامترهای آماری RE، RMSE، NSE، GMER و R^2 برای حالت‌هایی که تمام پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D، اندازه‌گیری شده هستند، به‌ترتیب برابر ۲۱/۸ درصد، ۰/۸۷۵، ۰/۸۲۲، ۰/۷۶۵ و ۰/۸۴ به دست آمدند.

جدول (۴): مقادیر پارامترهای آماری برای شبیه سازی‌های مختلف

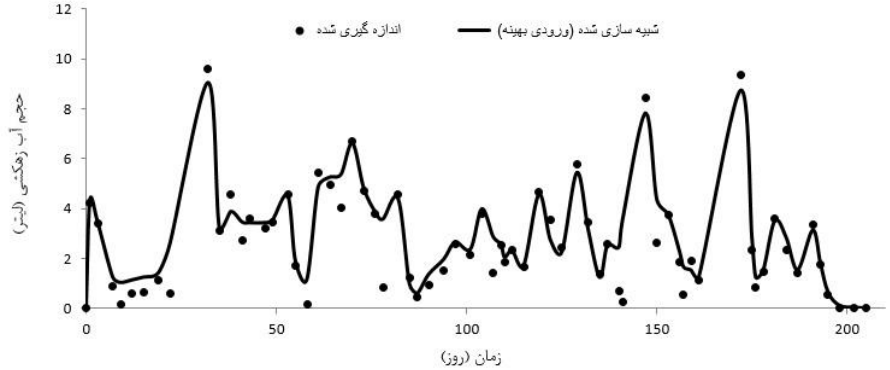
متغیر	روش استخراج پارامتر ورودی	معیار آماری RE (%)	RMSE (lit)	NSE (-)	GMER (-)	R^2 (-)
θ_i	اندازه‌گیری[۱]	۲۱/۸	۰/۸۷۵	۰/۸۲۲	۰/۷۶۵	۰/۸۴
	اندازه‌گیری [۲]	۲۸/۹۵	۱/۰۵۷	۰/۷۴۱	۰/۷۲۶	۰/۷۸
θ_r	اندازه‌گیری[۱]	۲۱/۸	۰/۸۷۵	۰/۸۲۲	۰/۷۶۵	۰/۸۴
	Rosetta	۳۱/۶۸	۱/۱۶۱	۰/۶۸۷	۰/۷۱۱	۰/۷۲
θ_s	اندازه‌گیری[۱]	۲۱/۸	۰/۸۷۵	۰/۸۲۲	۰/۷۶۵	۰/۸۴
	Rosetta	۲۸/۵۸	۱/۰۷۱	۰/۷۳۴	۰/۷۲۴	۰/۷۷
	RETC	۲۰/۷۱	۰/۸۱۴	۰/۸۴۶	۰/۷۵۵	۰/۸۷
K_s	اندازه‌گیری[۱]	۲۱/۸	۰/۸۷۵	۰/۸۲۲	۰/۷۶۵	۰/۸۴
	Rosetta	۱۸/۱۶	۰/۷۷۹	۰/۸۵۹	۰/۷۸	۰/۸۸

۱- اندازه‌گیری به روش وزن کردن ۲- اندازه‌گیری به روش مقاومت سنجی

دو پارامتر RE و RMSE بیانگر خطای مدل، پارامتر NSE بیانگر راندمان مدل، GMER بیانگر بیش برآوردی یا کم برآوردی مدل و R^2 بیانگر همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده حجم آب زهکش شده، از زیر لایسی‌مترها می‌باشد. بر اساس جدول (۴)، اگر چه مقدار خطای نسبی بالا بوده (بیشتر از ۲۰ درصد) و ضعف مدل در شبیه‌سازی را بیان می‌کند اما مقادیر کم پارامتر RMSE (کمتر از ۰/۹ لیتر) و بالای NSE (بالای ۰/۸) بیان می‌کند که شبیه‌سازی با دقت قابل قبولی صورت گرفته است. در این حالت مقدار ضریب تبیین نیز برابر ۰/۸۴ به دست آمد که مقداری قابل قبول است. در حالتی که برای پارامتر رطوبت اولیه از روش اندازه‌گیری شده مقاومت‌سنجی استفاده شد، خطای شبیه‌سازی افزایش داشته و کارآیی مدل کاهش داشته است. استفاده از نرم‌افزار Rosetta در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده، در تخمین پارامتر رطوبت باقیمانده، به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D، باعث افزایش خطای شبیه‌سازی و کاهش راندمان نش ساتکلیف شد. در مورد پارامتر رطوبت اشباع، اگرچه مقدار استخراج شده از نرم‌افزار RETC بسیار نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده به دست آمده است، خطای شبیه‌سازی در حالتی که از داده نرم‌افزار RETC، به‌عنوان ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D استفاده شد، کمتر به دست آمد. برای رطوبت اشباع خطای نتایج مستخرج از Rosetta به مراتب بیشتر از دو حالت دیگر (ورودی مستخرج از RETC و اندازه‌گیری شده)، به دست آمد. پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع یک پارامتر بسیار حساس است که معمولا اندازه‌گیری آن بسیار مشکل است. در این تحقیق نتایج مستخرج از شبیه سازی نشان داد که چنانچه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (به‌عنوان یک ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D) از نرم‌افزار Rosetta استخراج گردد، دقت بیشتری نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده خواهد داشت. به نظر می‌رسد، مقدار اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع مقداری بزرگ بوده و برای خاک مورد آزمایش مناسب نمی‌باشد. از جمله دلایلی که می‌توان برای بالا بودن هدایت هیدرولیکی اشباع بیان نمود، وجود ترک‌های بزرگ و کوچک در سطح خاک است که باعث هدایت و جریان یافتن شدید آب و انتقال آن به فضای بین خاک و دیواره فلزی لایسی‌متر شده است. نتایج مستخرج برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک برای حالتی که هدایت هیدرولیکی اشباع متغیر باشد، با تحقیقات ابراهیمی و رئوف (۱۳۹۴) و بشارت و همکاران (۱۳۹۳) تطابق نشان می‌دهد. مقادیر کمتر از واحد پارامتر GMER در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد که در تمامی شبیه‌سازی‌ها، نرم‌افزار Hydrus 3D یک مدل کم برآورد بوده است. اگرچه شدت کم برآوردی در سناریوهای مختلف، متفاوت است، اما کم برآوردی طوری است که در تمام حالت‌ها مقدار GMER بین ۰/۷۱۱ تا ۰/۷۸

تغییر نموده است. ضریب تبیین (R^2) نیز در تمامی شبیه‌سازی‌ها قابل قبول بوده و بزرگتر از ۰/۷ به دست آمده است. این پارامتر وابستگی بین حجم آب زهکش شده روزانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را بیان می‌کند. بشارت و همکاران (۱۳۹۳) ذکر نموده‌اند که مقادیر مختلف پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D روی دقت شبیه‌سازی این نرم‌افزار تاثیرگذار می‌باشد و حتی در برخی موارد باعث عدم همگرایی حل عددی و در نتیجه ایجاد خطا در نرم‌افزار می‌گردد. از آنجا که ترکیب رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده وزنی، رطوبت باقیمانده اندازه‌گیری شده، رطوبت اشباع مستخرج از نرم‌افزار RETC و هدایت هیدرولیکی اشباع مستخرج از نرم‌افزار Rosetta، دارای کمترین خطای شبیه‌سازی می‌باشند، در سناریو آخر یک شبیه‌سازی با حالت بیان شده صورت گرفت. شکل (۸) حجم زه‌آب شبیه‌سازی شده در این حالت را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد

.
.



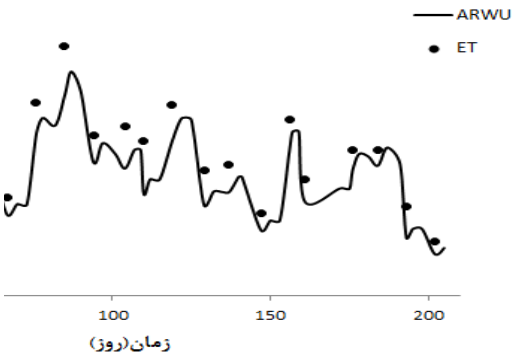
شکل (۸): حجم آب زهکش شده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده (حالت بهینه) از زیر لایسی‌متر حاوی چغندرقند

برای شبیه‌سازی و استخراج شکل (۸) مقادیر پارامترهای θ_i ، θ_r و θ_s به‌ترتیب برابر ۰/۲۵۴، ۰/۱۳، ۰/۴۵۸ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌مترمکعب و مقدار K_s برابر ۸۳/۴۹ متر بر روز استفاده شده است. در این حالت (استفاده از پارامترهای بهینه ورودی)، مقادیر پارامترهای آماری RE، RMSE، NSE، GMER و R^2 به‌ترتیب برابر ۱۷/۵۸درصد، ۰/۷۵۹ لیتر، ۰/۸۶۶، ۰/۷۷۷ و ۰/۸۸۵ به دست آمد که بهترین شبیه‌سازی بوده و دارای کمترین خطا و بیشترین کارآیی بود. اکبری و همکاران (۱۳۹۵) طی تحقیقی که بر روی گیاه مرجع چمن انجام دادند نشان دادند که تغییر در مقادیر اولیه ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D، روی دقت شبیه‌سازی تاثیر گذاشته و چنانچه ترکیبی از روش‌های مختلف برای استخراج پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D استفاده گردد، خطای شبیه‌سازی می‌تواند به حداقل برسد.

شکل (۹) مقادیر حجم آب تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و واقعی جذب آب توسط ریشه (ARWU[1]) را نشان می‌دهد. برای استخراج حجم آب تبخیر و تعرق شده از معادله بیلان آب در محیط لایسی‌متر و برای استخراج حجم واقعی جذب آب توسط ریشه از خروجی نرم‌افزار Hydrus 3D استفاده شد. متوسط حجم کل آب تبخیر و تعرق شده از هر لایسی‌متر، در کل دوره رشد، برابر ۲۶۷/۵ لیتر بوده که معادل ۱۰۱۳ میلی‌متر ارتفاع آب می‌باشد. در همین دوره، متوسط حجم واقعی آب جذب شده توسط ریشه در هر لایسی‌متر، برابر ۲۳۶/۸ لیتر بوده که معادل ۸۹۷ میلی‌متر ارتفاع آب می‌باشد. تقریبا در تمام روزهای دوره حجم تبخیر و تعرق روزانه بیشتر از حجم روزانه جذب آب توسط ریشه

1 Actual Root Water Uptake

بوده است. دلیل این پدیده به بیشتر بودن حجم تبخیر در مقایسه با حجم آب مصرفی جهت رشد گیاه مربوط می‌شود، زیرا مقدار تعرق در هر دو جزء تبخیر و تعرق و آب جذب شده توسط ریشه برابر و مشترک است.



شکل (۹): متوسط حجم واقعی آب جذب شده توسط ریشه و آب تبخیر و تعرق شده از لایسی‌مترها

دلایلی که باعث شده است تا اختلاف تبخیر و تعرق و آب واقعی جذب شده توسط ریشه گیاه در ابتدای دوره زیاد بوده و با نزدیک شدن به انتهای دوره کاهش یابد، شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- در ابتدای دوره، از آنجا که ارتفاع و عمق ریشه دوانی گیاه کم است لذا نیاز به آب کمتری دارد و جذب کمتری نیز انجام می‌دهد.

۲- در ابتدای دوره، سطحی از خاک که توسط فضای سبز گیاهی پوشیده شده است کم بوده و لذا مقدار جذب کم است، اما چون تبخیر از سطح لخت خاک صورت می‌گیرد باعث می‌گردد که مجموع تبخیر و تعرق از مقدار آب جذب شده توسط گیاه بیشتر شود.

۳- با نزدیک شدن به انتهای دوره سطح لخت خاک کمتر شده و لذا تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد و باعث می‌گردد که مقادیر حجم آب تبخیر و تعرق شده به مقادیر حجم واقعی آب جذب شده توسط ریشه نزدیک‌تر گردند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر روش‌های مختلف استخراج پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D روی دقت شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب θ_i اندازه‌گیری شده وزنی، θ_r اندازه‌گیری شده، θ_s مستخرج از نرم‌افزار RETC و K_s مستخرج از نرم‌افزار Rosetta، دارای کمترین خطای شبیه‌سازی می‌باشند. در این حالت مقادیر پارامترهای θ_i ، θ_r و θ_s به‌ترتیب برابر ۰/۲۵۴، ۰/۱۳، ۰/۴۵۸ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌مترمکعب و مقدار K_s برابر ۸۳/۴۹ متر بر روز به‌دست آمد. از آنجا که مدل‌های حل عددی (از قبیل Hydrus)، به مقادیر ورودی بسیار حساس می‌باشند، نیاز است تا این پارامترها با دقت خوبی برآورد شده و وارد مدل گردند. در بسیاری از شبیه‌سازی‌ها به‌علت وارد کردن مقدار غیر واقعی یک پارامتر، مدل‌ها به همگرایی نرسیده و لذا حل عددی غیر ممکن شد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با کمک معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در قالب طرح تحقیقاتی شماره ۱۱۹۱ به انجام رسیده است.

منابع

ابراهیمی، ف. و م. رئوف. ۱۳۹۴. تاثیر سطوح مختلف ورودی نرم افزار Rosetta در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم افزار Hydrus 2D و اثر تغییر کاربری اراضی بر آنها. آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۲): ۳۰۳-۳۱۳.

ابراهیمی، ف. و م. رئوف. ۱۳۹۵. اثر تغییر کاربری اراضی بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در شرایط غیرماندگار و ارزیابی برخی اطلاعات جهانی. پژوهش‌های خاک، سال سی‌ام، شماره ۳، ص ۳۲۸-۳۱۹.

اکبری باصری، ز.، م. رئوف، ع. رسولزاده و ج. عزیزی. ۱۳۹۴. مدل‌سازی همزمان جریان آب خاک و جذب ریشه در لایسیمتر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۰۱ ص.

بشارت، س.، ج. بهمنش، ح. رضایی و ر. دلیر حسین نیا. ۱۳۹۳. ارزیابی مدل Hydrus – 2D در نفوذ آب به خاک با استفاده از اندازه گیری های آزمایشگاهی در لایسیمتر وزنی. پژوهش های حفاظت آب و خاک، سال بیست و یکم، شماره ۵. ص ۳۰۶-۲۹۷.

بشارت، س.، ا. ح. ناظمی، ع. ا. صدرالدینی وص. شهمراد. ۱۳۹۰. استفاده از نرم افزار Hydrus در شبیه سازی حرکت و جذب آب در خاک و ارائه نرم افزار Swmrum. دانش آب و خاک، سال بیست و یکم، شماره ۴. ص ۱۳۷-۱۲۱.

دهقان، ه. ۱۳۹۷. بررسی میزان جذب آب ریشه گیاه نخود در شرایط کم آبیاری با استفاده از مدلهای مختلف. مهندسی آبیاری و آب. سال هشتم، شماره ۳. ص ۲۲۳-۲۱۰.

زارع، ح.، س. بشارت، ک. زینال‌زاده و م. نشاطی‌راد. ۱۳۹۲. مدل جریان آب در خاک و جذب آب توسط گیاه. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک وهوا، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان.

طالقانی، د.، ف. حبیبی، و. عابدی، ج. قهاری، م. ا. جگینی و ب. م. قاسمی. ۱۳۸۳. تعیین تراکم گیاه و فاصله ردیف‌های چغندرقند در سیستم آبیاری قطره‌ای. ششمین کنگره کشاورزی و پرورش گیاهان. بابلسر، دانشگاه مازندران.

عباسی، ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. چاپ اول، تهران، انتشارت و چاپ دانشگاه تهران، ۲۵۰ صفحه.

میرزایی، ع. ا. و ا. ح. ناظمی. ۱۳۹۰. شبیه سازی حرکت شوری درخاک با استفاده ازمدل Hydrus 2D. مهندسی آبیاری و آب. سال اول، شماره ۳. ص ۷۰-۵۹.

Bechmann, M., C. Schneider, A. Carminati, D. Vetterlein, S. Attinnger and A. Hidebrandt. 2014. Effect of parameter choice in root water uptake models – the arrangement of root hydraulic properties within the root architecture affects dynamics and efficiency of root water uptake. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18: 4189–4206.

Cote, C. M., K. L. Bristow, P. B. Charleworth and F. J. Cook. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in sub-surface trickle irrigation. J Irrig Drain Eng. 22(3-4):143-156.

Lynch, J. P. and K. M. Brown. 2001. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. Plant and Soil. 237: 225–237.

Meshkat, M., R. C. Warner and S. R. Workman. 1999. Modeling of evaporation reduction in drip irrigation system. J Irrig Drain Eng. 125(6): 315-323.

Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 12(3): 513-522.

Raoof, M., A. A. Sadraddini, A. H. Nazemi and S. Marofi. 2009. Estimating saturated and unsaturated hydraulic conductivity and sorptivity coefficient in transient state in sloping lands. Journal of Food, Agriculture & Environment. 7 (3&4): 861-864.

Richards, L. A. 1931. Capillary conduction of liquids in porouse mediums. Physics. 1:318-333.

Schmitz, G. H., N. Shutze and U. Petersohn. 2002. New strategy for optimizing water application under trickle irrigation. J Irrig Drain Eng. 128(5): 287-297.

Simunek, J., M. Sejna and M. van Genuchten. 2006. The HYDRUS- 2D softrtare package for simulating two- dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variable saturated media. Version 2.o IGWMC-TPS-53 International Ground water Modeling center, Colorado school of mines, Golden, co.

Simunek J. and J. W. Hopmans. 2009. Modeling compensated root water and nutrient uptake. Ecological modeling. 220 (4). 505-521.

Van Genuchten, M. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892–898.

Wagner, B., V. Tarnawski, R. Hennings, V. Müller, U. Wessolek, R. Plagge. 2001. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. Geoderma, 102: 275-297.

Effect of Hydrus 3D Input Parameters on Simultaneous Simulation of Water Movement and Sugar Beet Root Water Uptake

Majid Raoof[1]

Abstract

The accurate prediction of soil water movement and root uptake are very important to provide optimal root zone moisture conditions for increasing plant yield. In this study, soil water movement and sugar beet root uptake were simultaneously simulated, using HYDRUS 3D software, and the effect of extraction methods of input parameters on the accuracy of simulation were evaluated. For this purpose, sugar beet was cultivated in three lysimeters with identical soil texture. Irrigation was performed twice a week (8 on Sunday and 16 on Wednesday). Volumetric water content and drainage water volume from lysimeters were measured before and after each irrigation, respectively. The volume of drainage water from the lysimeters at different times, was selected as objective function. Using measurement, calculation or simulation, the hydrus 3D software input parameters including initial moisture (with two methods), saturated moisture (with three methods), residual moisture (with two methods) and saturated hydraulic conductivity (with two methods), extracted and simulation were completed. The results showed that if the residual moisture derived from measurement (by pressure plate method), saturated moisture derived from RETC software, initial moisture derived from measurement (measured by weighing method) and hydraulic conductivity derived from Rosetta software, were used in the simulation, the simulation accuracy will be highest. The values of relative error, root mean square error, mean absolute error, geometric mean error ratio and coefficient of determination are 17.58%, 0.759 liters, 0.866, 0.777 and 0.885, respectively. Values of GMER parameter, also, showed that in most simulations the model is underestimated.

Keywords: Numerical solution, Underestime, RETC, Rosetta

[1] Assoc. Prof., Water Engineering Dept., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Tel: 09189127697 , Mail: majidraoof2000@gmail.com

Extended Abstract

Research Paper

Effect of Hydrus 3D Input Parameters on Simultaneous Simulation of Water Movement and Sugar Beet Root Water Uptake

Majid Raoof[1]

[1] Assoc. Prof., Water Engineering Dept., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Tel: 09189127697 , Mail: majidraoof2000@gmail.com

10.22125/IWE.2020.206150.1225.

Received:
09. November.2019
Accepted:
22. February.2020
Available online:
10. January.2022

Keywords: **Numerical solution, Underestime, RETC, Rosetta**

Abstract

The accurate prediction of soil water movement and root uptake are very important to provide optimal root zone moisture conditions for increasing plant yield. In this study, soil water movement and sugar beet root uptake were simultaneously simulated, using HYDRUS 3D software, and the effect of extraction methods of input parameters on the accuracy of simulation were evaluated. For this purpose, sugar beet was cultivated in three lysimeters with identical soil texture. Irrigation was performed twice a week (8 on Sunday and 16 on Wednesday). Volumetric water content and drainage water volume from lysimeters were measured before and after each irrigation, respectively. The volume of drainage water from the lysimeters at different times, was selected as objective function. Using measurement, calculation or simulation, the hydrus 3D software input parameters including initial moisture (with two methods), saturated moisture (with three methods), residual moisture (with two methods) and saturated hydraulic conductivity (with two methods), extracted and simulation were completed. The results showed that if the residual moisture derived from measurement (by pressure plate method), saturated moisture derived from RETC software, initial moisture derived from measurement (measured by weighing method) and hydraulic conductivity derived from Rosetta software, were used in the simulation, the simulation accuracy will be highest. The values of relative error, root mean square error, mean absolute error, geometric mean error ratio and coefficient of determination are 17.58%, 0.759 liters, 0.866, 0.777 and 0.885, respectively. Values of GMER parameter, also, showed that in most simulations the model is underestimated.

1. Introduction

The accurate prediction of soil water movement and root uptake are very important to provide optimal root zone moisture conditions for increasing plant yield. Numerical simulation is an effective solution in optimizing farm water management. Water moves from the soil to the roots and from the roots to the leaves and then to the atmosphere. The uptake of water by the roots is applied as a term of outflow in the equation governing soil water flow (Richards's equation). In general, there are two microscopic and macroscopic criteria in modeling root water uptake. An important feature of the Richards equation is that it uses moisture and hydraulic data and is very useful in simulating management scenarios. Initial and boundary conditions are required, to solve the Richards differential equation. The most important input parameters of Hydrus 3D software are initial, residual and saturated moisture and soil saturated hydraulic conductivity, which can be extracted by different methods. Among the methods for extracting the mentioned parameters are the field and laboratory measurement methods and use of RETC and Rosetta software.

2. Materials and Methods

In this study, soil water movement and sugar beet root uptake were simultaneously simulated, using HYDRUS 3D software, and the effect of extraction methods of input parameters on the accuracy of simulation were evaluated. This research was conducted in the hangar research farm of university of Mohaghegh Ardabili, located in Daneshgah Street of Ardabil city. For this purpose, sugar beet was cultivated in three lysimeters with identical soil texture. Sugar beet plant was planted on May 2, 2017, in lysimeters and the area around lysimeters and irrigated for germination. To measure daily rainfall, a rain gauge was installed next to the lysimeters and the daily rainfall was measured and recorded. Irrigation was performed twice a week (8 on Sunday and 16 on Wednesday). Volumetric water content and drainage water volume from lysimeters were measured before and after each irrigation, respectively. The sugar beet plant was thinned twice. After the second thinning, the distance between the seedlings reached almost the normal state of sugar beet cultivation, ie about 100,000 plants per hectare. Two methods were used to extract soil moisture at different times during the growing season. In the first method, to measure the lysimeters soil moisture, before each irrigation, a disturbed soil sample, from a depth of 0-15 cm, was taken from each lysimeters. In the second method, gypsum blocks buried at depths of 0, 5, 15, 25, 50 and 80 cm were used. The volume of drainage water from the lysimeters at different times, was selected as objective function. Using measurement, calculation or simulation, the hydrus 3D software input parameters including initial moisture (with two methods), saturated moisture (with three methods), residual moisture (with two methods) and saturated hydraulic conductivity (with two methods), extracted and simulation were completed.

3. Results and Discussion

The results showed that, the average total volume of evapotranspiration from each lysimeters, in the whole growth period, is equal to 267.5 liters, which is equivalent to 1013 mm of water height. During the same period, the average actual volume of absorbed water by the roots, in each lysimeters, was equal to 236.8 liters, which is equivalent to 897 mm of water height. Almost in all days of the period, the daily evapotranspiration was greater than the daily volume of root water absored. The reason for this phenomenon is related to the higher volume of evaporation compared to the water volume used for plant growth. If the residual moisture derived from measurement (by pressure plate method), saturated moisture derived from RETC software, initial moisture derived from measurement (measured by weighing method) and hydraulic conductivity derived from Rosetta software, were used in the simulation, then the simulation accuracy will be highest. To simulate in these conditions, the values of the parametersθ_i, θ_r and θ_s are equal to 0.254, 0.13, 0.458 cm3/cm3, and the value of K_s is equal to 83.49 m/d, were used. The values of relative error, root mean square error, mean absolute error, geometric mean error ratio and coefficient of determination are 17.58%, 0.759 liters, 0.866, 0.777 and 0.885, respectively. Values of GMER parameter, also, showed that in most simulations the model is underestimated.

.4. Six important references

1. Ebrahimi, F. and Raoof, M. 2015. Effect of Different Rosetta Predictive Model on Soil Hydraulic Properties Estimation Using Hydrus-2D and Effect of Land Use Changing on Their. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 9 (2): 303-313. (In Persian)

2. Ebrahimi, F. and Raoof, M. 2016. Effect of Land use Change on Unsaturated Hydraulic Conductivity under Unsteady State Flow Condition and Evaluation of Some Global Databases. Iranian Journal of Soil Research. 30 (3): 319-328. (In Persian)

3. Bechmann, M., C. Schneider, A. Carminati, D. Vetterlein, S. Attinnger and A. Hidebrandt. 2014. Effect of parameter choice in root water uptake models – the arrangement of root hydraulic properties within the root architecture affects dynamics and efficiency of root water uptake. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18: 4189–4206.

4. Simunek, J., M. Sejna and M. van Genuchten. 2006. The HYDRUS- 2D softrtare package for simulating two- dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variable saturated media. Version 2.o IGWMC-TPS-53 International Ground water Modeling center, Colorado school of mines, Golden, co.

5. Simunek J. and J. W. Hopmans. 2009. Modeling compensated root water and nutrient uptake. Ecological modeling. 220 (4). 505-521.
6. Van Genuchten, M. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892–898.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.