Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 980-991

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۹۹۱-۹۸۰

مقاله علمی-پژوهشی

شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط HYDRUS-1D در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی در کشت گندم با استفاده از نتایج مدل ET-HS

کامران عسگری[۱]، پیام نجفی[۲]، سیدحسن طباطبائی[۳*]، شجاع قربانی[۴]، شهرام کیانی[۵] و نگار نورمهناد[۶]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

در طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای باید از نحوه توزیع و تغییرات رطوبت خاک اطلاع داشت که تعیین صحرایی آن پرهزینه و زمان‌بر است. هدف پژوهش حاضر برآورد نیاز آبی با مدل ET-HS در کشت خطی گندم تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در منطقه خشک و نیمه‌خشک عملکرد مدل HYDRUS-1D در تخمین توزیع رطوبت بود. تیمارهای نصب قطره‌چکان در سه عمق صفر، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری و اندازه‌گیری رطوبت در شش عمق خاک (۱۰ تا۶۰ سانتی‌متری) با چهار تکرار در دوسال متوالی در منطقه خشک و نیمه خشک اصفهان طراحی شد.. رطوبت خاک به‌صورت روزانه توسط رطوبت سنج مدل Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd) اندازه‌گیری گردید. به کمک مدل ET-HS داده‌های تبخیر از خاک بدست آمد و در نرم‌افزار HYDRUS-1D استفاده شد. داده‌های شبیه‌سازی شده و مزرعه‌ای بر اساس شاخص‌های آماری مقایسه شدند. نتایج نشان داد در آبیاری قطره‌ای سطحی به‌جز عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری که ضریب تبیین (R^2) معادل ۰/۷۴ داشت، سایر عمق‌ها به نسبت دارای مقدار R^2 بالایی بودند و بهترین انطباق داده‌های رطوبت در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک بدست آمد (R^2=۰/۹۳). همچنین مقادیر شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌جز در عمق نصب قطره‌چکان صفر (۰/۶۲cm^3/cm^3) و ۳۰ سانتی‌متری (۰/۴۴) در سایر عمق‌ها پایین بود. بیشترین میزان ضریب مقدار باقی مانده (CRM)، ۰/۰۰۸ و کمترین آن ۰/۰۰۴۶- بدست آمد. با توجه به مطلوب بودن نتایج ارزیابی، می‌توان مدل HYDRUS را برای مدیریت بهینه آبیاری در کشت خطی گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: حرکت آب در خاک، رطوبت‌سنج ، قطره‌چکان، منطقه خشک و نیمه‌خشک

مقدمه

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یک فناوری کارآمد برای کاربرد آب در کشاورزی است و برای آبیاری میوه و سبزیجات با ارزش در مناطق (نیمه) خشک محبوبیت دارد. این آبیاری برای رشد محصولات ردیفی در منطقه Great Plains در ایالات متحده آمریکا و کانادا به طور فزاینده‌ای در حال استفاده است (Bordovsky and Porter, 2008.;Evett et al., 2014; Alberta Agriculture and Forestry, 2019). یک ویژگی مهم که باید در طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد توجه قرار گیرد، اندازه و شکل خاک مرطوب در اطراف قطره‌چکان می‌باشد. الگوی پیاز رطوبتی و سیستم ریشه‌ای گیاهان آبیاری شده توسط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ممکن است توسط عواملی از جمله طراحی آبیاری زیرسطحی و الگوی قراردهی قطره‌چکان‌ها، عمق و فاصله و میزان جریان آب (Stone et al., 2008) و برنامه‌ریزی و زمان‌بندی آبیاری (Machado and Oliveira, 2005) تحت تأثیر قرار گیرد. همچنین شکل منطقه رطوبتی تحت تأثیر هدایت هیدرولیکی غیراشباع است و در خاک‌های درشت بافت و یا مرطوب‌تر نسبت به خاک‌های ریز بافت و خشک نسبت عرض و ارتفاع منطقه رطوبتی کمتر است (Soulis et al.,

۱- دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، ایران
۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۵- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۶- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: Tabatabaei@sku.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.20.0

www.SID.ir

Archive of SID

. (2015; Kanda et al., 2020

پژوهش‌گران مدل‌های گوناگونی برای جذب آب توسط ریشه ارائه کرده‌اند (Feddes et al., 2001 ; Kang et al., 1994). از این میان، مدل HYDRUS (Simunek et al., 2009) یکی از مدل های پیشرفته در ارتباط با حرکت آب، عناصر و گرما در خاک می‌باشد. جذب آب توسط ریشه تحت تأثیر عوامل گوناگونی قرار دارد به عنوان مثال آب‌گریزی بر نفوذ عمقی و رواناب (Mousavizadeh et al., 2020) و در نتیجه جذب آب مؤثر است، همچنین وانگ و همکاران، با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-1D نشان دادند در خاک‌های آب‌گریز جذب آب ریشه و در نتیجه رشد ذرت در تابستان کاهش می‌یابد (Wang et al., 2021). نفوذ و توزیع آب با استفاده از مدل HYDRUS شبیه‌سازی می‌گردد (Simunek et al., 2013). بسیاری از پژوهش‌گران در شبیه‌سازی الگوی پخش آب (Gardenas et al., 2005; Siyal and Skages, 2009) و حرکت آلاینده‌ها (احمدی مقدم و طباطبائی، ۱۴۰۰) در خاک از نرم افزار HYDRUS استفاده کرده‌اند. با فرض همگن و همسان بودن خاک، معادله زیر برای این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد (معادله ریچاردز):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial z} - K(h)\right] - S \qquad (۱)$$

که در این معادله θ میزان حجمی آب خاک، h بار آبی خاک (L)، t زمان (T) ، z عمق (L) ، K هدایت هیدرولیکی (LT^{-1})، S نشان دهنده جذب آب توسط ریشه گیاه از خاک (T^{-1}) است. فدس و همکاران، S را تحت عنوان بار فشاری h برای محاسبه معرفی نمودند و ونگنوختن این فرمول را بسط داد تا بتوان تنش اسمزی را نیز از روی فشار اسمزی محاسبه نمود (Feddes et al., 1978; Van Genuchten, 1980):

$$S(h.\pi) = \alpha(h.\pi)\beta(z)T_p \qquad (۲)$$

که در آن Tp میزان پتانسیل تبخیر و تعرق (LT^{-1})، β توزیع فضایی ریشه (L^{-1})، α تابع کاهش جذب آب توسط ریشه تحت تنش، h بار آبی خاک (L) و π بار اسمزی (L) می‌باشد. کاهش تحت تنش، تابعی از میزان تنش شوری و آب می‌باشد. تابع محاسبه تنش آب توسط به صورت یک تابع رگرسیون مقطعی با چهار میزان بار آب $h4 < h3 < h2 < h1$ پارامتردهی شد که در این پژوهش از همین رابطه استفاده شد (Feddes et al., 1978; Simunek et al., 2009; Skaggs, et al., 2006):

$$\propto_h (h) = \begin{cases} \frac{h-h4}{h3-h4} & h3 > h > h4 \\ \frac{h-h1}{h2-h1} & h2 \geq h \geq h3 \\ 0 & h1 > h > h2 \\ & h2 \leq h4 \text{ or } h \geq h1 \end{cases} \qquad (۳)$$

خلیلی و همکاران، شبیه‌سازی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را برای قطره‌چکان‌های موجود در دو عمق ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک انجام دادند و نشان دادند که این مدل تغییرات رطوبت خاک در اطراف قطره‌چکان را به خوبی و با خطای میانگین ریشه مربعات بین ۰/۰۱۴ و ۰/۰۳۳ برای عمق نصب ۴۰ سانتی‌متر و ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۲۵ برای عمق نصب ۵۰ سانتی‌متر برآورد کرد. (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵). کندلوس و همکاران، نیز دو آزمایش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت شرایط آزمایشگاهی و مزرعه انجام دادند. آن‌ها با مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای هر دو عامل رطوبت خاک و ابعاد ناحیه خیس شده نشان دادند که دقت پیشگویی HYDRUS بسیار زیاد بوده و می توان از آن به عنوان ابزاری مفید که قادر به بهینه کردن همه فاکتورهای اصلی در امر طراحی روش-های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است، استفاده کرد (Kandelous et al., 2012). شان و همکاران، محتوی رطوبتی خاک را در یک زمین شیب‌دار تحت آبیاری قطره‌ای با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط HYDRUS مقایسه کردند. برای ردیابی حرکت آب در خاک و جریان غیر اشباع، در عمق ۰/۲۵ متر و ۰/۵ متر در زیر دو ردیف موازی قطره‌چکان از یک فناوری حسگر متحرک پیشرفته استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند یک رابطه منحنی الخط (n=7) بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده‌ی زمان رسیدن جبهه رطوبتی در عمق‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ متر وجود داشت. R^2 بالای همه رگرسیون ها نشان داد که HYDRUS پیش‌بینی خوبی از جریان آب در خاک تحت آبیاری قطره‌ای ارائه داده است (Shan et al., 2019). تو و همکاران، رواناب سطحی و محتوای آب خاک در عمق ۱۰ ،۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در باغ مرکبات جنوب چین را بررسی کردند و از مدل HYDRUS-1D برای تخمین تبخیر و تعرق استفاده نمودند. آن‌ها نشان دادند بر اساس مدل HYDRUS-1D، می‌توان تغییر رطوبت خاک در باغ مرکبات را محاسبه کرد. ضرایب تعیین (R^2) بین محتویات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده آب خاک در کرت‌ها از۰/۸ تا ۰/۹۴ بود و RMSE فقط ۰/۰۱۳—۰/۰۲۴بود که نشان می‌دهد محتوای آب خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده تقریبا با یکدیگر برابر است. بنابراین، مدل کالیبره شده HYDRUS-1D می‌تواند روند تغییر رطوبت آب خاک در باغ مرکبات را به خوبی شبیه‌سازی کند (Tu et al., 2021). سینگ و همکاران، از لوله های متخلخل و نوار تیپ جهت بررسی تغییرات الگوی رطوبتی در آبیاری زیرسطحی استفاده کردند. آن ها میزان راندمان مدل HYDRUS را در پیش‌بینی عرض و عمق خیس‌شدگی به ترتیب ۹۶/۴ و ۹۸/۴ درصد اعلام کردند (Sing et al., 2006). این مدل در بحث‌های مدیریتی نیز بکار می‌رود به‌طور مثال ژانگ و همکاران، تأثیر مالچ و آبیاری زیرسطحی بر حرکت آب خاک با HYDRUS را بررسی کردند (Zhang et al., 2014) و اِل نِصر و همکاران، نیز تأثیر استفاده از دو قطره‌چکان در آبیاری زیرسطحی را در خاک مورد بررسی قرار دادند (El-Nesr et al., 2014). همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

لی و همکاران، نیز حرکت آب و هدرروی آن را در کشت مستقیم برنج در مزرعه با HYDRUS ارزیابی نمودند (Li et al., 2014).

با توجه به اینکه در نواحی خشک و نیمه‌خشک از جمله اصفهان آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مزارع غلات در حال توسعه می‌باشد و بررسی و تحقیق خاصی در زمینه آبیاری قطره‌ای بویژه زیرسطحی در کشت خطی غلات انتشار نیافته است، واسنجی مدل HYDRUS بر اساس زمان‌بندی آبیاری متکی بر پیش‌بینی مدل تبخیر و تعرق و نیاز آبی اصلاح شده جهت مناطق خشک و نیمه-خشک برای تخمین رطوبت خاک جهت کاهش هزینه‌های اولیه ضروری می‌باشد. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد مدل عددی HYDRUS در تخمین رطوبت خاک در کشت خطی گندم تحت روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حاشیه شهر اصفهان (۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۳ درجه شرقی، ۱۵۹۰ متر بالای سطح دریا) در منطقه نیمه خشک فلات مرکزی ایران دارای تابستانی با هوای خشک و گرم و زمستان‌های ملایمی قرار داشت. متوسط بارش سالانه این منطقه حدود ۱۸۶/۹ میلی‌متر می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۴). متوسط تبخیر و تعرق حدود ۱۵۴۷ میلی‌متر و متوسط دما بین ۳/۴ تا ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در طی دوران مطالعه (بهمن تأتیر ماه ۱۳۹۰و۱۳۹۱) درجه حرارت بین ۶- تا ۳۲ درجه و رطوبت نسبی بین ۳ تا ۱۰۰ درصد بود. خاک محل آزمایش از نوع شنی لومی مطابق جدول ۱ و خصوصیات آب مطابق جدول ۲ بود. سطح آب زیرزمینی محل مورد آزمایش بیشتر از دو متر زیر سطح خاک قرار داشت.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

عمق	شن (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	pH	EC (dS/m)	O.C (gr/100gr)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
۲۵-۰	۶۰	۱۵	۲۵	۸/۱	۲/۵	۱/۷۶	۳/۱۷	۲۰۰/۴
۵۰-۲۵	۶۰	۱۵	۲۵	۸/۱	۲/۴	۱/۷۵	۳/۱۶	۲۰۰/۳

جدول۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب

منبع آب	pH	EC (dS/m)	$N\text{-}NO_3$ (mg/l)	$N\text{-}NH_4$ (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Ni (mg/l)
آب معمولی	۷/۰	۱/۲	۲۲	۰/۲۳	۰/۱۳	۱۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰

آماده‌سازی زمین و تعیین دور و زمان آبیاری

زمین مورد مطالعه به ۲۴ عدد پلات با ابعاد ۳×۳ متر بر اساس طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی تقسیم گردید. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از آبیاری قطره‌ای سطحی (DI^1_0)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر (SDI^2_{15}) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر (SDI_{30}). قطره‌چکان‌ها از نوع میان خطی با دبی چهار لیتر بر ساعت مورد استفاده قرار گرفتند. زمان‌بندی آبیاری بر اساس مدل ET-HS که برای مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه داده شده، محاسبه گردید (نجفی و طباطبائی، ۲۰۰۷؛ نجفی و عسگری، ۲۰۰۸). روش محاسبه در شکل ۱ نمایش داده شده است. به این منظور از داده‌های ایستگاه هواشناسی بهره برده شد و مقادیر بدست آمده به عنوان مقدار تبخیر و تعرق در مدل HYDRUS مورد استفاده قرار گرفت. دور آبیاری در گیاه گندم دو روز در میان بود و هر مرتبه به مدت یک ساعت آبیاری انجام می‌گرفت.

بر اساس تجزیه خاک، مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در ابتدای کشت به سطح خاک اضافه گردید. در ادامه گیاه گندم (*Triticum* spp) به‌طور خطی با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر کشت گردید. کرت‌های مورد کشت با استفاده از سامانه آبیاری نصب‌شده در مزرعه آبیاری گردید. آزمایشات در سال دوم تکرار گردید.

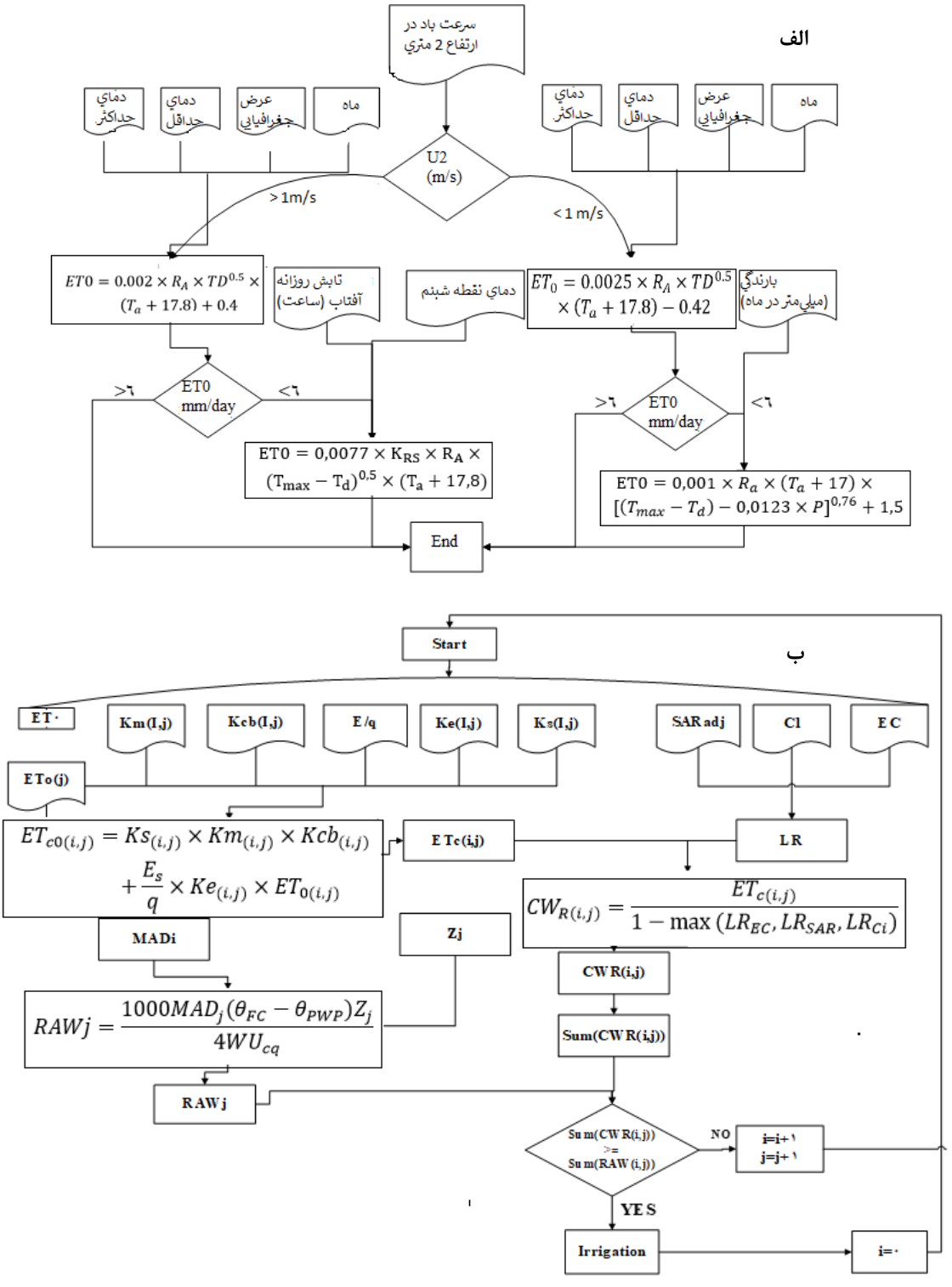
اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت خاک در شش عمق مختلف در هر کرت مطابق شکل ۲ اندازه‌گیری گردید. از دستگاه Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd) برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه استفاده گردید. این دستگاه متشکل از یک حس‌گر دستی و یک دستگاه ثبت داده تشکیل شده است که بوسیله یک کابل به هم متصل شده‌اند. دستگاه در ابتدای آزمایش مطابق دستورالعمل کارخانه واسنجی گردید. به منظور تعیین رطوبت در عمق‌های مختلف، لوله‌ای از جنس پی وی سی به طول ۸۰ سانتی‌متر به طور عمودی در هر کرت نصب گردید تا حس‌گر دستگاه به عمق خاک دسترسی داشته باشد.

1- Drip Irrigation (DI)
2- Subsurface Drip Irrigation (SDI)

www.SID.ir

Archive of SID

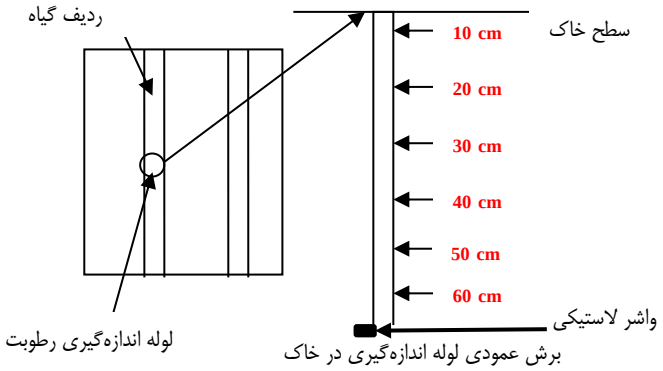


شکل ۱- الف) مدل ET-HS برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل ب) مدل ET-HS برای محاسبه زمان و میزان آبیاری گیاه

(Km ضریب تنش آب خاک، Kcb ضریب پایه گیاه، E/q تلفات تبخیر، Ke ضریب تبخیر و تعرق خاک، Ks ضریب تنش شوری، MAD حداکثر رطوبت قابل تخلیه، RAW آب سهل الوصول، CWR آب موردنیاز گیاه و Z منطقه توسعه ریشه می‌باشند).

www.SID.ir

Archive of SID

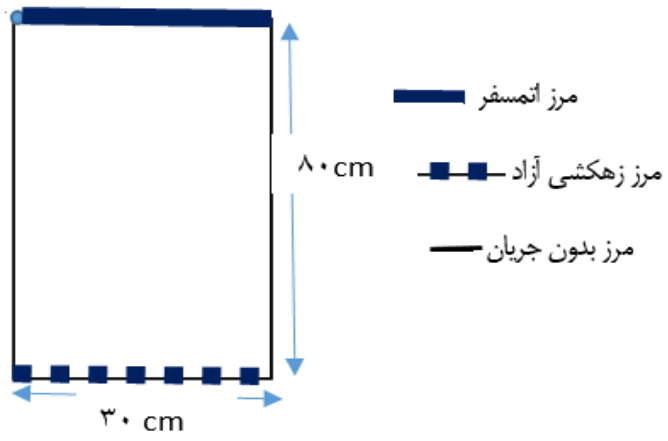


شکل ۲- نمایی از نصب لوله دسترسی اندازه‌گیری رطوبت خاک در هر کرت

جهت ممانعت از ورود آب به لوله، انتهای هر لوله با استفاده از یک واشر لاستیکی مسدود شد و ابتدای لوله‌ها هم با درپوش پلاستیکی بسته شد و فقط در زمان اندازه‌گیری رطوبت باز می‌شد. با حرکت عمودی حس‌گر درون لوله دسترسی، دستگاه به طور خودکار رطوبت خاک را هر ده سانتی‌متر ثبت نمود. رطوبت خاک به طور روزانه در ساعت ده صبح در تمام لوله‌های نصب‌شده در کرت‌های آزمایشی قرائت گردید.

شبیه‌سازی با مدل HYDRUS

HYDRUS یکی از مدل‌های مناسب برای شبیه‌سازی حرکت آب و انتقال آلاینده ها در خاک می‌باشد. در این تحقیق شبیه‌سازی با مدل HYDRUS -1D انجام شد. قبل از اجرای مدل و شبیه‌سازی توزیع و حرکت آب لازم بود که پارامترهای هیدرولیکی خاک تعیین شوند، پارامترهایی که برای HYDRUS مورد نیاز می‌باشند در جدول ۳ آمده است. این پارامترها توسط مدل Rosetta که به مدل HYDRUS لینک است، تعیین شدند. مدل Rosetta بر اساس شبکه عصبی کار می‌کند و پس از اخذ داده‌های مربوط به بافت خاک، درصد ذرات خاک، درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، پارامترهای هیدرولیکی خاک تخمین می زند. در پژوهش حاضر بافت خاک به روش هیدرومتری، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به وسیله دستگاه فشاری و نفوذپذیری به روش بار ثابت اندازه گیری شد. خاک محل آزمایش همگن و همسان در نظر گرفته شده که از نوع شنی لومی با وزن مخصوص ۱/۴۸ $g.cm^{-3}$ می باشد. مدل تعریف شده در HYDRUS به‌صورت مستطیلی به عرض ۳۰ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری در نظر گرفته شد که منبع جریان در گوشه سمت چپ خط بالا قرار گرفته است و به صورت یکنواخت عمل می کند (شکل ۳).



شکل ۳- محدوده شبیه‌سازی شده برای مدل

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار رطوبت موجود در خاک، قبل از اولین آبیاری اندازه گیری و محاسبه گردید و به عنوان میزان رطوبت اولیه خاک استفاده شد. برنامه آبیاری قطره‌ای به صورت دو روز در میان به مدل معرفی و دبی ورودی آب در زمان های غیرآبیاری مقدار صفر در نظر گرفته شد. در این محیط فرض بر این است که از جوانب جریان صورت نگرفته است. از اتمسفر به عنوان مرز بالایی استفاده شد و مرز انتهایی، مرز زهکشی آزاد می‌باشد.

جدول ۳- پارامترهای هیدرولیکی خاک مورد استفاده توسط مدل HYDRUS

Ks (cm/d)	*Θr (%)	Θs (%)	α	n	l
۲۵/۷۲	۰/۰۵۱	۰/۲۳	۰/۰۲۵	۱/۳۸	۰/۵

*رطوبت به صورت حجمی می‌باشد

برای مقایسه داده‌های مشاهده شده مزرعه‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل از شاخص‌های آماری R^2، ریشه مربعات خطا (RMSE) و ضریب مقدار باقی مانده (CRM) استفاده شد. نتایج با استفاده از نرم افزار STATISTICA 10 تحلیل آمار شد.

نتایج و بحث

این تحقیق در دو سال متوالی انجام گرفت و چون آنالیز آماری بین دو سال اختلاف معنی‌داری نشان نداد میانگین اعداد دو سال گرفته شده و در شکل‌ها نمایش داده شده است. رطوبت اندازه‌گیری شده خاک در عمق‌های مختلف خاک (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متری) تحت تیمارهای مختلف آبیاری (شامل آبیاری قطره‌ای سطحی DI_0، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر (SDI_{15}) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر (SDI_{30}) در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

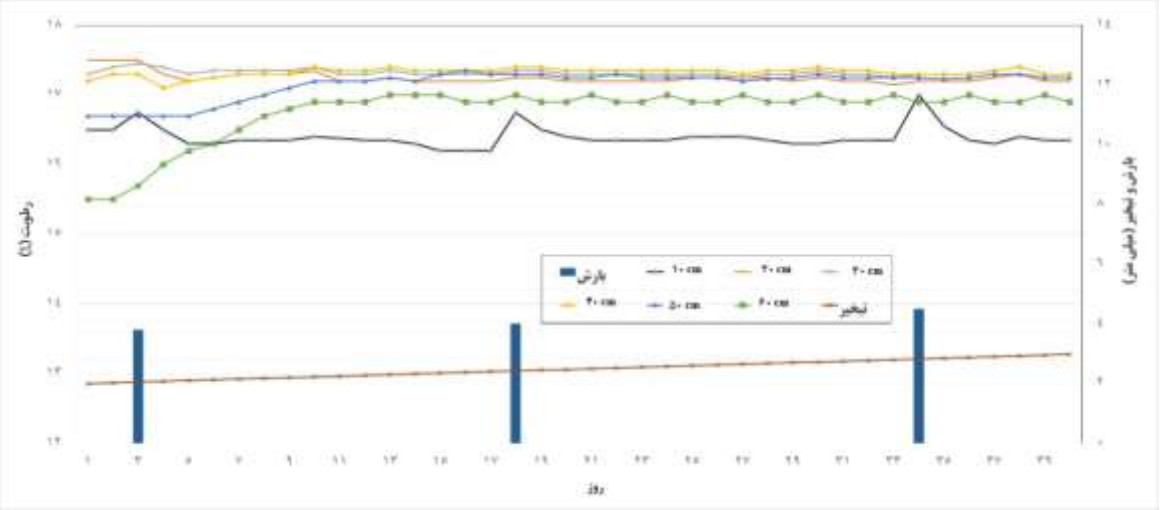
این شکل‌ها نشان‌دهنده میانگین میزان رطوبت خاک در بازه زمانی ۴۰ روزه در تکرارهای مختلف آزمایش می‌باشد. همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌گردد میزان رطوبت برآورد شده در لایه سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متری) نسبت به سایر لایه‌ها کمتر بود و این اختلاف (اختلاف رطوبت لایه سطحی و لایه های زیرین) با افزایش عمق نصب قطره‌چکان بیشتر شده است. که دلیل آن رطوبت کمتر لایه سطحی خاک با افزایش عمق قطره چکان می‌باشد، ولی سایر لایه‌های خاک دارای رطوبت تقریبا مشابهی بودند و رطوبت خاک در طی روند آزمایش تقریبا یکنواخت بود. در شکل ۴ (ج) نیز مشاهده شد که شکل رطوبت خاک علاوه بر لایه سطحی در لایه زیرین آن نیز (۲۰-۱۰ سانتی‌متری) از سایر عمق‌ها فاصله گرفته و در حد میانه مقدار رطوبت در لایه سطحی (۱۰-۲۰ سانتی‌متری) ولایه زیرین آن (۳۰- ۴۰ سانتی‌متری) بود. این نتیجه به دلیل عمق بیشتر قطره‌چکان و حرکت کمتر آب به لایه‌های بالایی به دلیل جاذبه بود.

عملکرد مدل HYDRUS توسط تجزیه و تحلیل آماری مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای بررسی شد. در آبیاری سطحی بجز عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری رطوبت خاک که در تیمارهای DI_0، SDI_{15} و SDI_{30} مقادیر R^2 به ترتیب برابر ۰/۷۴، ۰/۷۸ و ۰/۸۸ بود، سایر عمق‌ها به نسبت دارای مقدار R^2 بالایی بودند و بهترین انطباق در تیمار DI_0 در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری سطح خاک (R^2=۰/۹۳)، در تیمار SDI_{15} در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری سطح خاک (R^2=۰/۹۴) و در تیمار SDI_{30} در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری سطح خاک (R^2=۰/۹۵) به‌دست آمد که دقیقا لایه زیرین عمق نصب قطره‌چکان بودند (جدول ۴). همچنین مقادیر شاخص RMSE بجز در عمق ۰-۱۰ آبیاری سطحی، در سایر عمق‌ها پایین بود (جدول ۴). مقدار CRM بیان کننده آن است که مدل موردنظر مقدار رطوبت خاک را بیشتر (مقادیر منفی) یا کمتر (مقادیر مثبت) از مقادیر واقعی برآورد می‌نماید (رز و همکاران، ۱۹۷۳). از نظر شاخص CRM در آبیاری قطره‌ای سطحی عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری مقدار CRM مثبت و بالاتری نسبت به بقیه مقادیر محاسبه‌شده داشتند ولی در آبیاری‌های قطره‌ای زیرسطحی مقادیر این شاخص اختلاف زیادی در عمق‌های مختلف خاک با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۴).

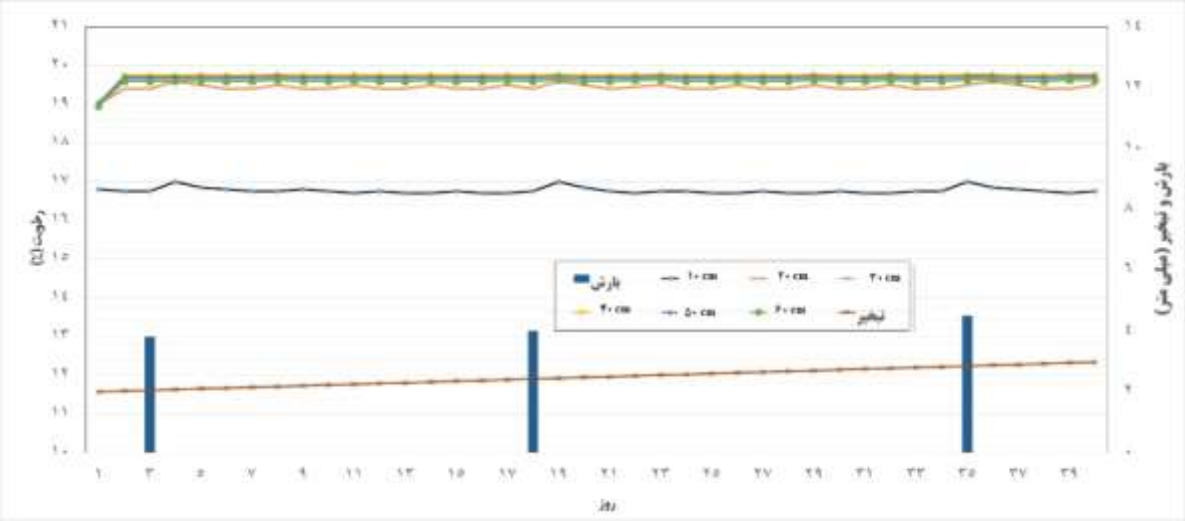
بنابراین در عمق ۰-۲۰ در آبیاری قطره‌ای سطحی مقدار رطوبت کمتر از مقدار واقعی تخمین زده شده. در شکل ۵ نیز پروفیل توزیع رطوبت خاک در سه زمان ابتدا، میانه و انتهای دوره آزمایش تحت تیمارهای عمق مختلف آبیاری نشان داده شده است که مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده با میزان شبیه‌سازی شده حاصل از مدل HYDRUS مورد مقایسه قرار گرفته است. کریمی گوغری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود بر روی شبیه سازی الگوی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک شنی با مدل HYDRUS مقدار R^2 برابر ۰/۹۲ را گزارش نمودند که بیانگر دقت بالای این مدل در پیش بینی در این تحقیق بود. شان و همکاران، مدل HYDRUS را در سامانه آبیاری قطره‌ای به کار بردند و نشان دادند مطابقت داده‌های رطوبت شبیه‌سازی شده توسط HYDRUS و اندازه‌گیری شده در عمق ۰/۵ متری ($0.983 > R^2 > 0.933, p < 0.01$) بهتر از عمق ۰/۲۵ متری ($0.817 > R^2 > 0.804, p < 0.01$) بود. تخمین کمتر زمان رسیدن جبهه رطوبتی در عمق ۰,۲۵ متری و الگوی منحنی‌الخط بودن آن احتمالا به دلیل تغییرات مکانی جرم مخصوص ظاهری خاک و هدایت هیدرولیکی خاک بود (Shan et al., 2019).

www.SID.ir

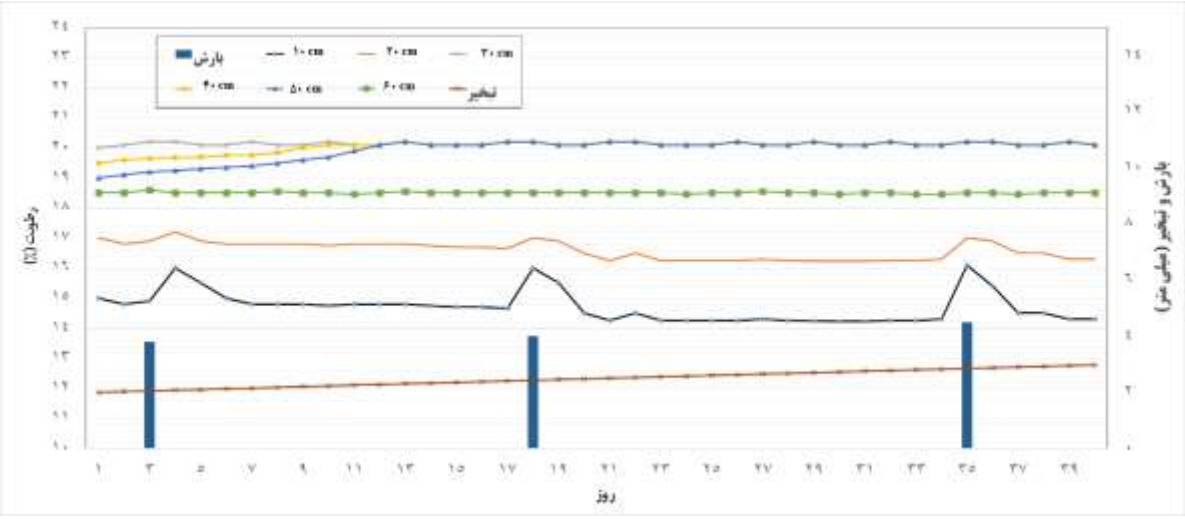
Archive of SID



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ٤- داده‌های رطوبت اندازه‌گیری‌شده خاک در عمق‌های مختلف خاک در تیمارDI_0 (الف)، SDI_{15} (ب)، SDI_{30} (ج)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- شاخص‌های آماری در هر تیمار

عمق خاک (cm)		۱۰- ۰	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	٤۰-۳۰	٥۰-٤۰	٦۰-٥۰
تیمار DI_0	R2	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۷
	RMSE	۰/۶۲	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۵
	CRM	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱۹
تیمار SDI_{15}	R2	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۰۵	۰/۹۱
	RMSE	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۶
	CRM	-۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۱۹	-۰/۰۰۴۸	-۰/۰۰۳۱	-۰/۰۰۳۷	-۰/۰۰۰۹
تیمار SDI_{30}	R2	۰/۸۸	۰/۹۰۵	۰/۹۰۵	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۲
	RMSE	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۳۲
	CRM	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۲۳

پوریزدان‌خواه و همکاران (۱۳۹۳) نیز در شبیه‌سازی رطوبت خاک با استفاده از مدل HYDRUS در خاک سنگین گزارش نمودند که این مدل دارای دقت بالایی (RMSE برابر ۰/۰۱۲۳ و ضریب کارایی برابر ۷۷٪) در شبیه‌سازی مقادیر رطوبت خاک در این تیپ خاک دارد. راکی و همکاران، مدل عددی HYDRUS-1D برای برآورد رطوبت خاک (θ) در اعماق مختلف ، تبخیر و تعرق واقعی محصول (ETa) و همچنین نفوذ عمقی در گندم زمستانی تحت مدیریت های مختلف آبیاری (سطحی و قطره‌ای) در منطقه تنسیفت (مراکش مرکزی) ارزیابی کردند. شبیه‌سازی HYDRUS-1D در مرحله زمانی روزانه در طی دو فصل رشد انجام شد نتایج به وضوح نشان داد که شبیه‌سازی‌ها و همچنین اندازه‌گیری‌ها به خوبی به آبیاری و بارندگی پاسخ داد و مدل به درستی رطوبت را در منطقه ریشه شبیه‌سازی می‌کند. مقادیر متناظر R^2 و RMSE به ترتیب۰/۸۷ و ۰/۰۲ cm^3 / cm^3 به دست آمد (Er-Raki et al., 2021).

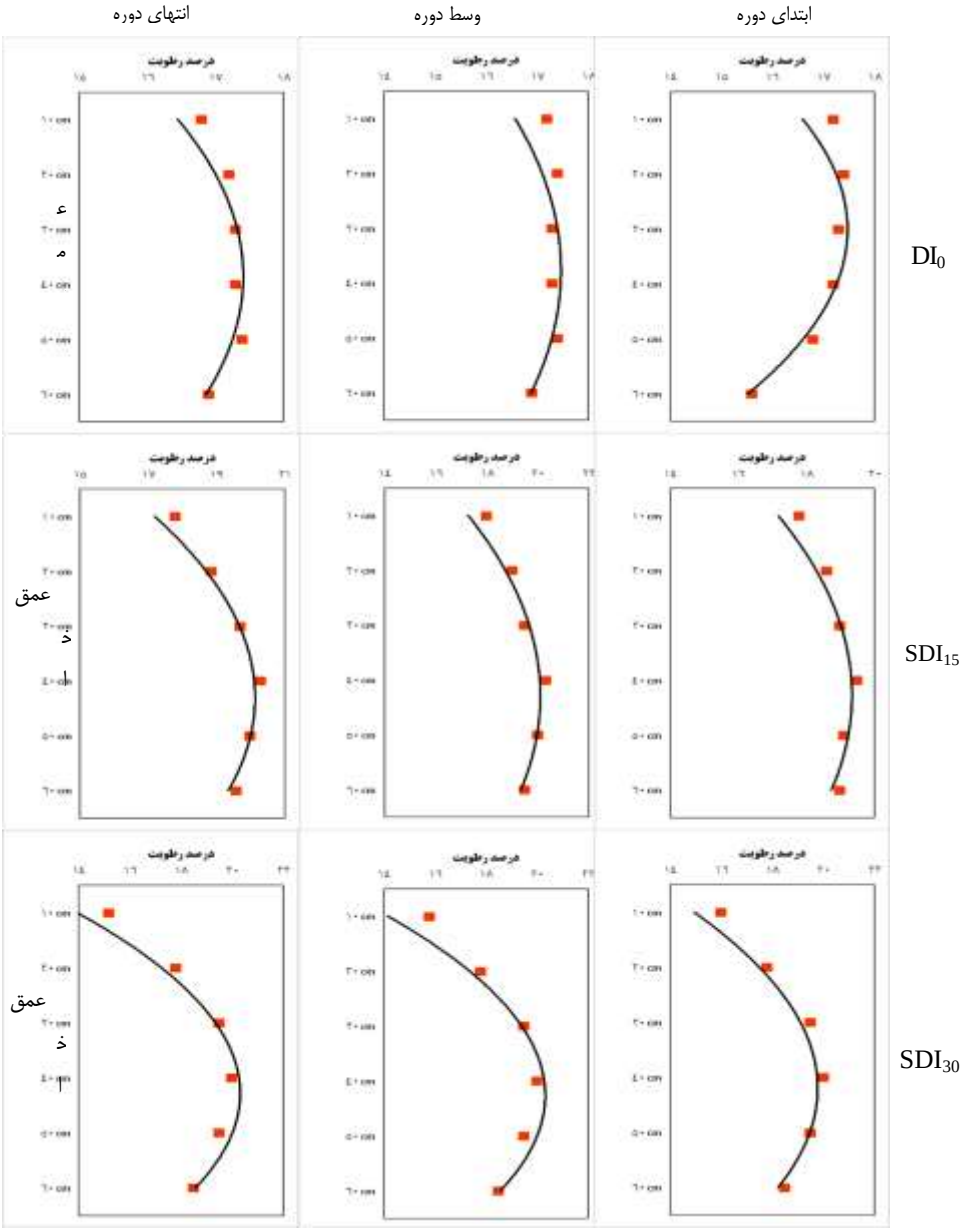
هنری مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) نیز در ارزیابی خود از عملکرد مدل HYDRUS بیان نمودند که این مدل در یک دوره ۱۳ روزه مشتمل بر آبیاری و بارندگی توانایی بالایی در شبیه سازی جریان آب در خاک نشان داد. قره شیخ بیات و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خود بر روی شبیه‌سازی عددی رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی به این نتیجه دست یافتند که از این مدل می‌توان در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی در خاک‌هایی با بافت سنگین نیز استفاده نمود. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که کمترین دقت تخمین مربوط به لایه سطحی خاک بود.

نتیجه‌گیری

کارآیی یک مدل زمانی مناسب ارزیابی می‌شود که بتواند در شرایط مزرعه ای تخمین خوبی از پارامترهای مد نظر ارائه نماید. در این پژوهش عملکرد مدل عددی HYDRUS در تخمین رطوبت خاک در کشت خطی گندم تحت روش آبیاری قطره ای سطحی و زیر سطحی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج اندازه‌گیری شده در مزرعه مشخص گردید که مدل مذکور توانایی بالایی در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک تحت تیمارهای مورد آزمایش داشته و قادر است شرایط رطوبتی خاک را در طول دوره آبیاری نیز با دقت بالایی تخمین بزند و گذشت زمان تاثیر معنی‌داری بر دقت شبیه‌سازی مدل نداشته است. مقدار ضریب تبیین در تمام عمق ها به‌جز عمق ۰-۱۰ بالا بود و بهترین انطباق داده‌های شبیه‌سازی در تیمارها دقیقا در لایه زیرین عمق نصب قطره‌چکان رخ داد. مقدار ضریب باقیمانده (CRM) در آبیاری قطره‌ای سطحی، در عمق ۰-۲۰ نشان داد رطوبت در این عمق کمتر از مقادیر واقعی برآورد شده ولی در آبیاری‌های قطره‌ای زیرسطحی با توجه به مقدار CRM رطوبت در تمام عمق‌ها به خوبی برآورد شده است. به‌طور کلی توصیه می‌گردد از این مدل برای شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک پیش از تعیین رژیم آبیاری و طراحی آبیاری قطره‌ای به منظور افزایش راندمان این روش استفاده گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- پروفیل توزیع رطوبت خاک در ابتدا، میانه و انتهای دوره آزمایش تحت تیمارهای عمق مختلف آبیاری (مربع میزان اندازه‌گیری شده و خط ممتد میزان شبیه‌سازی شده می‌باشد)

منابع

احمدی مقدم، ز. و طباطبائی، س.ح. ۱۴۰۰. تعیین دقت دو مدل CDEو MIM با حل معکوس در انتقال آلودگی تری کلرواتیلن (TCE)در یک محیط متخلخل کربناته نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۵۳(۱): ۳۹۴-۳۸۳.

پوریزدان خواه، ه.، خالدیان، م.، بیگلویی، م. و شاهین رخسار، پ. ۱۳۹۳. شبیه سازی رطوبت خاک تحت یک منبع خطی در خاک سنگین با استفاده از مدل HYDRUS-2D. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۳): ۵۹۹-۶۱۱.

خلیلی, م, اکبری, م, هزارجریبی, ا, ذاکری‌نیا, م, عباسی ,ف. کولائیان, ع. ۱۳۹۵. مدل کردن نیمرخ رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از HYDRUS-2D. نشریه آبیاری و زهکشی ایران,۱۰(۲):۱۳۶-۱۴۴.

عساکره، ح. ۱۳۸۴. تغییرات زمانی-مکانی بارش استان اصفهان در دهه های اخیر. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان. ۱۸(۱): ۹۱-

www.SID.ir

Archive of SID

.۱۱۶

قره شیخ بیات، م.، خالدیان، م.، بیگلویی، م. و شاهین رخسار، پ. ۱۳۹۴. شبیه سازی عددی رطوبت خاک در آبیاری قطره ای نواری زیرسطحی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۹): ۲۵۲-۲۶۱.

کریمی گوغری، ش.، ایراندوست، م. و حسینی نیا، م. ۱۳۹۰. شبیه سازی الگوی توزیع رطوبت در آبیاری قطره ای زیرسطحی در یک خاک شنی. مجله مهندسی منابع آب. ۴: ۴۹-۶۰.

هنری مقصودی، م.، اشرف زاده، ا. و خالدیان، م. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد مدل HYDRUS -2D/3D در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ذرت. اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Alberta Agriculture and Forestry (AAF). 2019. Alberta Irrigation Information. Basin Water Management Section Irrigation and Farm Water Branch.

Bordovsky, J.P. and Porter, D.O. 2008. Effect of Subsurface Drip Irrigation System Uniformity on Cotton Production in the Texas High Plains. Applied Engineering in Agriculture. 24:465-72.

El-Nesr, M.N., Alazba A.A. and Simunek, J. D. 2014. HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. Irrigation Science.32:111–125.

Evett, S.R., Colaizzi, P.D., O'Shaughnessy, S.A., and Lamm, F.R. 2014. The future of irrigation on the U.S. Great Plains. In: Proceedings of the 26th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, CO, p. 24.

Feddes, R.A., Hoff, H., Bruen, M., Dawson, T., De Rosnay, P., Dirmeyer, P., Jackson, RB., Kabat, P., Kleidon, A., Lilly, A. and Pitman, A.J. 2001. Modeling root water uptake in hydrological and climate models. Bulletin of the American Meteorological Society 82: 2797– 809.

Feddes, RA., Kowalik, PJ. and Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Wiley, New York, NY.

Gardenas, A. I., Hpmans, J. W., Hanson, B. R. and Simunek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. Agricultural Water Management. 74(3): 219-242.

Kanda, E.K., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T. 2020. Soil water dynamics under Moistube irrigation. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C. 115, 102836.

Kandelous, M., Kamai, T., Vrugt, J.A., Simunek, J. Hanson, B. and Hopmans, J.W. 2012. Evaluation of subsurface drip irrigation design and management parameters for alfalfa. Agricultural Water Management. 109:81-93.

Kang, S.Z., Liu, X.M. and Xiong, Y.Z. 1994. Theory of water transport in the soil-plant atmosphere continuum and its application. Pp: 147–149. China Water Resources and Hydro-Power Publication House, Beijing.

Li, Y., Simunek, J. Jing, L.D., Zhang, Z. and Ni L. 2014. Evaluation of water movement and water losses in a direct-seeded-rice field experiment using Hydrus-1D. Agricultural Water Management. 142: 38–46.

Machado, R.M.A. and Oliveira, M.D.G. 2005. Tomato Root Distribution, Yield and Fruit Quality under Different Subsurface Drip Irrigation Regimes and Depths. Irrigation Science. 24:15-24.

Mosavizadeh, R., Tabatabaei, S. H., Nourmahnad, N. and Aras, S. 2021. Simulation of Runoff and Sediment in a Water Repellent Soil under Different Rainfall Intensity. Turkish Water and Soil Journal. Special Issue: 46-55. https://doi.org/10.21657/topraksu.700846

Najafi, P. and Asgari, K. 2008. Forecasting crop water requirement by ET-HS Model for arid and semi-arid region of IRAN. 2end IFIP international conference on computer and computing technologies in agriculture. (CCTA2008), October 18th -20th, 2008, Beijing, P.R.China.

Najafi, P. and Tabatabaei, S. H. 2007. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. Irrigation and Drainage. 56(4): 477-486.

Er-Raki, S., Ezzahar, J., Merlin, O., Amazirh, A., Hssaine, B. A., Kharrou, M. H. and Chehbouni, A. 2021. Performance of the HYDRUS-1D model for water balance components assessment of irrigated winter wheat under different water managements in semi-arid region of Morocco. Agricultural Water Management, 244, 106546.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10-14 December: 309-317.

Shan, G., Sun,Y., Zhou, H. Lammers, P. S., Grantz, D. A., Xue, X. and Wang, Z. 2019. A horizontal mobile dielectric sensor to assess dynamic soil water content and flows: Direct measurements under drip irrigation compared with HYDRUS-2D model simulation. Biosystems Engineering. 179: 13-21.

Simunek, J. D., Jacques, N., Twarakavi, C. and van Genuchten, M. 2009. Selected HYDRUS modules for modeling subsurface flow and contaminant transport as influenced by biological processes at various scales. Biologia. 64(3): 465–469.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal. 5(3): 824-837.

Soulis, K.X., Elmaloglou, S. and Dercas, N. 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. Agricultural Water Management. 148: 258–268.

Stone, K.C., Bauer, P.J. Busscher, W.J. and Millen, J.A. 2008. Narrow Row Corn Production with Subsurface Drip Irrigation. Applied Engineering in Agriculture. 24:455-64.

Van Genuchten, MTh. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society American Journal. 44:892–898.

Tu, A., Xie, S., Mo, M., Song, Y. and Li, Y. 2021. Water budget components estimation for a mature citrus orchard of southern China based on HYDRUS-1D model. Agricultural Water Management. 243, 106426.

Wang, X., Li, Y., Chau, H. W., Tang, D., Chen, J. and Bayad, M. 2021. Reduced root water uptake of summer maize grown in water-repellent soils simulated by HYDRUS-1D. Soil and Tillage Research. 209, 104925.

Zhang, Q., Wang, S., Li, L., Inoue, M., Xiang, J., Qiu, G. and Jin, W. 2014. Effects of mulching and sub-surface irrigation on vine growth, berry sugar content and water use of grapevines. Agricultural Water Management. 143:1–8.

Simunek, J., Sejna, M. and van Genuchten, M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0. Rep. IGCWMC TPS-53-251. Int. Ground Water Modeling Ctr., Colorado School of Mines, Golden.

Simunek, J. M., Sejna, H., Saito, M., Sakai and van Genuchten, M. Th. 2013. The Hydrus-1D software Package for Simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 4.17, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, 342 pp.

Simunek, J., van Genuchten, M.Th. and Sejna, 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. 213 pp.

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

Siyal, A.A. and Skages, T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe subsurface irrigation. Agricultural Water Management. 96:1587-1595.

Skaggs, T. H., Shouse, P. J. and Poss, J. A. 2006. Irrigating Forage Crops with Saline Waters: 2. Modeling Root Uptake and Drainage. Vadose Zone

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 980-991

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۹۹۱-۹۸۰

Simulation of Soil Water Distribution by HYDRUS- 1D Under Subsurface and Surface Drip Irrigation Systems in Wheat Cultivation Using the Results of ET-HS Model

K. Asgari[1], P. Najafi[2], S.H. Tabatabaei[3]*, S. Ghorbani[4], Sh. Kiani[5], N. Nourmahnad[6]

Recived: May. 07, 2021 Accepted: Jun. 07, 2021

Abstract

Water distribution and soil moisture changes are necessary to design the irrigation system that are costly and time consumer. This study aimed to estimate the performance of HYDRUS-1D model to estimate the distribution of soil moisture in the surface and subsurface drip irrigated in wheat cultivation using ET-HS model to estimate water demand in the arid region. A field experiment was conducted with three depth of emitter installation (0–15 and 30 cm) and moisture measurement at six soil depths (10 to 60 cm) with four repetitions for two consecutive years in arid and semi-arid areas of Isfahan. For this reason, Soil moisture was measured using soil moisture detector device (Diviner 2000) every day. Simulated and field data were compared on the basis of statistical indicators. The results showed that except in 0-10 cm with coefficient of determination (R^2 = 0.74), other layers have high R^2 value and best fit was at a depth of 10-20 (R^2=0.93). The root mean square error (RMSE) index values were low except in the surface layer (0-10) with 0 and 30 cm depth of emitter. Highest and lowest values of coefficient of residual mass (CRM) was 0.008 and -0.0046, respectively. Based on aforementioned results of the evaluation, the model can be used for optimal management of irrigation in arid and semi-arid.

Key words: Arid and semi-arid region, Dropper, Soil moisture detector device, Water movement in soil

1- Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
2- Associate Professor, Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
4- Professor, Department of Soil Science. Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
5- Associate Professor Department of Soil Science. Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
6- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University,Tehran, Iran
(*- Corresponding Author E-mail: Tabatabaei@sku.ac.ir)

www.SID.ir