محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

شبیه‌سازی حرکت آب در خاک در روش آبیاری بارانی با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS

سمانه اطمینان[۱]، وحیدرضا جلالی*[۲]، مجید محمودآبادی[۲]، عباس خاشعی سیوکی[۳]، محسن پوررضا بیلندی[۳]

[۱]دانشجوی دکترای فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۳]دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

چکیده

کاربرد روش‌های نوین آبیاری به منظور کاهش مصرف آب در کشاورزی یکی از روش‌های مدیریت منابع آب در جهت جبران کمبود منابع آب مصرفی طی چند دهه اخیر است. استفاده از این روش‌ها مستلزم مطالعه روند تغییرات رطوبت خاک و میزان قابل دسترسی آن برای گیاه می‌باشد. از این‌رو در این مطالعه با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS به مطالعه روند تغییرات رطوبت خاک تحت روش آبیاری بارانی در شرایط مزرعه‌ای پرداخته شده است. میزان رطوبت خاک در چهار بازه زمانی (۲ ساعت، ۲ روز، ۴ روز و ۶ روز بعد از اتمام آبیاری) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی میزان واسنجی مدل از دو شاخص RMSE و MAE استفاده شد. مقدار RMSE برای بازه‌های زمانی فوق به ترتیب برابر با ۰/۰۲۴، ۰/۰۲۸، ۰/۰۲۰ و ۰/۰۳ می‌باشد که بیانگر دقت بالای مدل در برآورد مقدار رطوبت خاک است. همچنین روند تغییرات رطوبت خاک بیانگر وجود اختلاف اندکی بین مقدار اندازه‌گیری‌شده با مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد که این واقعیت نشان‌دهنده توانمندی بالای مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک است. از این‌رو برای مدیریت دقیق میزان آب مصرفی در روش آبیاری بارانی می‌توان از مدل دوبعدی HYDRUS بهره‌مند شد.

کلمات کلیدی: مدیریت آب، رطوبت خاک، مدل‌سازی.

مقدمه

کمبود منابع آب شیرین، الزام ارائه راه‌کارهایی برای افزایش راندمان مصرف آب با هدف بالابردن سطح تولیدات کشاورزی و مدیریت مسائل زیست محیطی را ایجاب می‌نماید که در این راستا کاربرد روش‌های آبیاری نوین (بارانی و قطره‌ای) به عنوان راه‌حلی کاربردی با هدف صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب، به عنوان جایگزین روش‌های سنتی (غرقابی) مطرح می‌باشد(ملکیان و قیصری، ۱۳۹۰). مطالعه و ارزیابی حرکت و توزیع آب در خاک و الگوی جذب آب توسط ریشه گیاه نیازمند کاربرد مدل‌های شبیه‌ساز می‌باشد که طی فرآیند شبیه‌سازی می‌توان به بررسی اثرات طولانی مدت عملیات کشاورزی و روش‌های آبیاری بر میزان عملکرد پرداخت و حتی امکان مطالعه اثرات آن بر محیط زیست نیز فراهم می‌گردد. در این زمینه می‌توان مدل دو بعدی HYDRUS را نام برد که دارای قابلیت شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک و الگوی جذب آب توسط ریشه گیاه به صورت شعاعی و عمودی است (Simunek et al., 1999). مطالعات Chen و همکاران (۲۰۱۴) در زمینه حرکت آب و انتقال املاح تحت آبیاری با آب شور نشان داد که مدل هایدرس دو بعدی به خوبی توانسته است میزان حرکت آب و املاح در خاک را شبیه‌سازی کند. Wang و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS به مطالعه رطوبت خاک تحت کشت گندم در چهار عمق مختلف با بافت لوم سیلتی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی پارامترهای مورد نظر و همچنین توانایی مدل مورد مطالعه در برآورد رطوبت خاک طی شش نوبت آبیاری بود. Romas و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل دو بعدی هایدروس به شبیه‌سازی رطوبت خاک، هدایت الکتریکی و غلظت نیترات خاک تحت شرایط مدیترانه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که مدل مذکور به خوبی قادر به برآورد پارامترهای مورد نیاز برای فرآیند شبیه‌سازی است و همچنین به‌خوبی توانسته است فرآیندهای مورد نظر را شبیه‌سازی نماید. هدف از این مطالعه شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک تحت روش آبیاری بارانی با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS می‌باشد و همچنین سنجش میزان دقت و صحت مدل هایدروس در شبیه‌سازی است. قابل ذکر است عملکرد مدل دو بعدی HYDRUS بیشتر برای آبیاری سطحی، زیرسطحی و قطره‌ای ارزیابی شده است در حالی که در زمینه ارزیابی میزان توانایی و دقت مدل هایدروس برای روش آبیاری بارانی، مطالعات محدودی انجام شده است.

* ایمیل نویسنده مسئول: v.jalali@uk.ac.ir

مواد و روش

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند واقع در روستای امیرآباد (۵ کیلومتری بیرجند) صورت گرفت. برای این منظور، در زمینی به وسعت ۳۰۰۰ مترمربع که به مدت ۴ سال تحت کشت یونجه بود پروفیلی به عمق ۱ متر حفاری شد، از ۵ عمق خاک، ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد و برای اندازه‌گیری بافت خاک و سایر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک به آزمایشگاه انتقال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در فواصل زمانی مختلف از TDR استفاده گردید که رطوبت خاک در هر ۵ عمق به مدت ۵ ماه متوالی طی مراحل آبیاری بارانی اندازه‌گیری شد. این مزرعه تحت آبیاری بارانی بود که دبی هر نازل برابر با ۰/۵ لیتر در ثانیه می‌باشد و تعداد کل نازل‌های سیستم بارانی ۱۰ عدد می‌باشد که کرت مورد نظر در هر هفته به مدت ۸ ساعت آبیاری می‌شد. اطلاعات هواشناسی منطقه نیز از ایستگاه هواشناسی دانشگاه تهیه شد.

شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک از مدل دو بعدی HYDRUS استفاده شد که حرکت آب در خاک با حل عددی معادله ریچاردز مورد بررسی قرار می‌گیرد. معادله ریچاردز به روش عددی عناصر گالرین حل شده است و قادر به شبیه‌سازی حرکت آب در خاک تحت شرایط اشباع و غیراشباع است (Simunek et al., 1999).

شرایط اولیه و مرزی

شرایط اولیه جریان براساس میزان دبی نازل‌ها و مساحت خیس‌شده تعریف شد. از جریان جانبی و افقی در طول پروفیل صرف‌نظر شده است. برای حاشیه پایینی پروفیل با توجه به بافت و پایین بودن سطح آب زیرزمینی، شرایط زهکشی آزاد و برای حاشیه بالایی شرایط مرزی اتمسفری (تبخیر و تعرق و میزان بارندگی) در نظر گرفته شد.

تعین پارامترهای هیدرولیکی مدل

قبل از اجرای مدل نیاز است که پارامترهای هیدرولیکی خاک براساس مدل ون‌گنوختن- معلم تعین شوند که پارامترهای مورد نظر در جدول ۱ ارائه شده‌اند و برای محاسبه این پارامترها از نرم‌افزار Rosseta استفاده شد.

جدول ۱- پارامترهای هیدرولیکی مدل ون‌گنوختن- معلم

عمق خاک (cm)	بافت خاک	θ_r	θ_s	α	n	K_s(cm/min)
۰-۲۰	لوم رسی شنی	۰/۰۶۶۸	۰/۳۲۳۲	۰/۰۶	۲/۱۸	۱/۲
۲۰-۴۰	لوم رسی شنی	۰/۰۶۷	۰/۳۲۵۶	۰/۰۵۶	۲/۱۴	۱/۵
۴۰-۶۰	لوم شنی	۰/۰۵۹	۰/۳۵۱	۰/۰۵	۱/۷۸	۱۴/۵
۶۰-۸۰	لوم شنی	۰/۰۵۱	۰/۳۲۸۹	۰/۰۸۷	۱/۶۷	۱۴/۶
۸۰-۱۰۰	لوم شنی	۰/۰۶	۰/۳۸۷	۰/۰۲۷	۱/۵۱	۱۴/۶

واسنجی مدل

در ابتدا لازم است که میزان صحت عملکرد مدل مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور از شاخص‌های RMSE و MAE استفاده شد. RMSE (مجذور میانگین مربعات خطا) بیانگر میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی از مقادیر اندازه‌گیری شده است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر عملکرد بهتر مدل می‌باشد. MAE (میانگین مطلق خطا) بیش برآورد و کم‌برآورد مدل را مشخص می‌کند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum(O_i - P_i) \quad (۲)$$

که در روابط فوق O_i ، مقدار اندازه‌گیری‌شده و P_i ، مقدار شبیه‌سازی شده است.

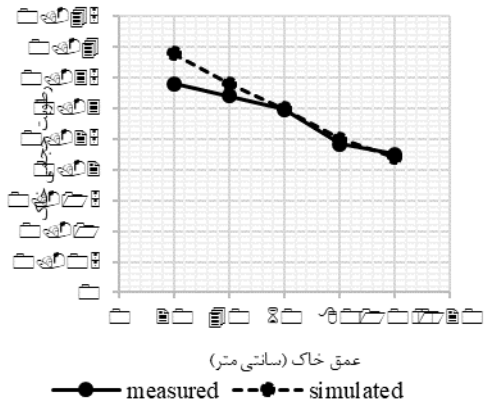
نتایج و بحث

برای ارزیابی عملکرد مدل دو بعدی HYDRUS ابتدا میزان عملکرد مدل واسنجی گردید. بدین منظور مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در عمق‌های مختلف خاک با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت. روند تغییرات رطوبت خاک در عمق‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص‌های ارزیابی برای هر ۴ دوره زمانی (۲ ساعت بعد از اتمام آبیاری، ۲ روز، ۴ روز و ۶ روز از اتمام آبیاری) محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده‌اند. مقدار شاخص RMSE در این بازه‌های زمانی به ترتیب برابر با ۰/۰۲۴، ۰/۰۲۸، ۰/۰۲۰ و ۰/۰۳ بدست آمد که بیانگر میزان دقت مدل در برآورد رطوبت خاک است. همچنین مقدار شاخص MAE نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۱۴، ۰/۰۰۱۳، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۳۲ می‌باشند. برای بررسی بهتر دقت مدل روند تغییرات رطوبت خاک در دو بازه زمانی نشان داده شدند (شکل ۱) که بیانگر نزدیک بودن نقاط اندازه‌گیری به نقاط شبیه‌سازی است. با توجه به نتایج حاصل از دو شاخص ارزیابی می‌توان عنوان نمود که مدل توانسته است مقدار رطوبت خاک را بعد از آبیاری در فواصل زمانی مختلف به خوبی برآورد نماید. بعد از اطمینان از میزان واسنجی مدل، توزیع رطوبت خاک با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS شبیه‌سازی شد.

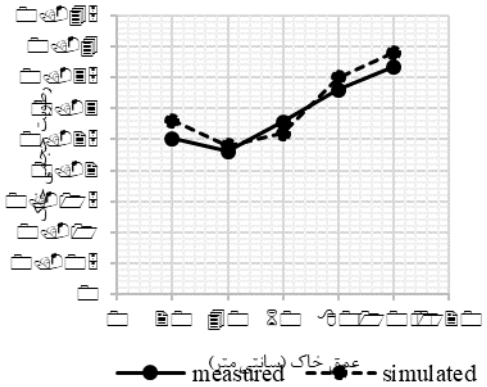
جدول۲- ارزیابی واسنجی مدل دوبعدی HYDRUS

زمان اندازه‌گیری	RMSE	MAE
۲ ساعت بعد از اتمام آبیاری	۰/۰۲۴	۰/۰۱۴
۲ روز بعد از اتمام آبیاری	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱۳
۴ روز بعد از اتمام آبیاری	۰/۰۲۰	۰/۰۱۲
۶ روز بعد از اتمام آبیاری	۰/۰۳	۰/۰۳۲

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است در ساعات اولیه اتمام آبیاری بیشترین درصد رطوبت خاک در عمق‌های سطحی خاک مشاهده می‌شود. در حالی‌که بعد از گذشت زمان و رخداد فرآیند نفوذ آب در خاک کاهش درصد رطوبت خاک در لایه سطحی و افزایش رطوبت خاک در لایه‌های پایینی پروفیل خاک رخ داده است. در روز ۲ و ۴ بعد از آبیاری در وسط پروفیل کاهش شدید رطوبت مشاهده می‌شود که این کاهش شدید رطوبت در انتها لایه دوم و اوایل لایه سوم پروفیل خاک رخ داده که بیانگر تغییر بافت خاک و به تبع تغییرات پارامترهای هیدرولیکی در خاک را به همراه داشته است که باعث مشاهده این چنین رفتاری می‌گردد. با گذشت زمان کمترین مقدار رطوبت در پروفیل در روز ۶ در حدود ۰/۲۵ درصد حجمی است هرچند که مجدداً در لایه سوم تغییرات رطوبت از ۰/۲۷ به ۰/۲۵ و از ۰/۲۵ به ۰/۲۷ درصد مشاهده می‌شود که این اتفاق بیانگر توزیع مجدد رطوبت در این لایه است. البته قابل ذکر است که روند توزیع مجدد رطوبت در لایه چهارم در روزهای ۲ و۴ بعد از اتمام آبیاری نیز مشاهده شده است. برپایه نتایج بدست آمده می‌توان ذکر نمود که مدل مورد مطالعه دارای قابلیت کاربرد در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک تحت روش آبیاری بارانی است. نتایج مطالعات Wang و همکاران(۲۰۱۳) ، Romas و همکاران (۲۰۱۲) ، عطایی و همکاران (۱۳۹۷) و بشارت و همکاران (۱۳۹۳) نیز بیانگر توانایی مدل دو بعدی HYDRUS در برآورد رطوبت خاک تحت روش‌های مختلف آبیاری است.

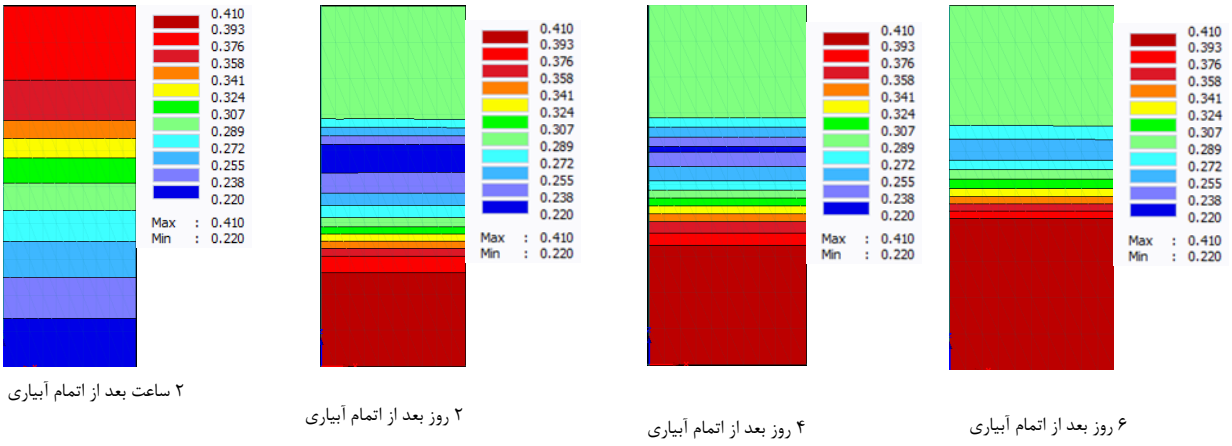


الف) ۲ ساعت بعد از اتمام



ب)۶ روز بعد از اتمام آبیاری

شکل ۱- واسنجی مدل طی ۲ ساعت و ۶ روز بعد از اتمام



۲ ساعت بعد از اتمام آبیاری | ۲ روز بعد از اتمام آبیاری | ۴ روز بعد از اتمام آبیاری | ۶ روز بعد از اتمام آبیاری

شکل ۲- روند شبیه‌سازی رطوبت خاک طی ساعات بعد از اتمام آبیاری در عمق‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در این پژوهش توزیع رطوبت خاک تحت روش آبیاری بارانی با استفاده از مدل دو بعدی HYDRUS مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص‌های واسنجی مدل بیانگر توانایی مدل در برآورد مقدار رطوبت خاک است که با توجه به مقدار RMSE در زمان‌های مختلف می‌توان ذکر نمود که مدل با خطای بسیار اندکی توانسته است مقدار رطوبت خاک را شبیه‌سازی نماید. همچنین روند رطوبت خاک در دو زمان شبیه‌سازی دارای روندی مشابه با نقاط اندازه‌گیری شده است. براین اساس مدل مذکور می‌تواند با صحت بالایی به شبیه‌سازی رطوبت خاک بپردازد. عملکرد مدل بیانگر میزان کاربرد آن در روش آبیاری بارانی است که می‌توان برای بررسی و برآورد میزان حرکت آب و املاح در خاک تحت این روش آبیاری از این مدل بهره برد.

منابع

بشارت، س.، ناظمی، الف. ح.، صدرالدینی، ع. الف. و شهمراد، ص. ۱۳۹۰. استفاده از نرم‌افزار HYDRUS در شبیه‌سازی حرکت و جذب آب در خاک و ارائه نرم‌افزار SWMRUM. نشریه دانش آب و خاک، ۲۱ (۴)، ۱۳۷-۱۲۱.

عطایی، ع.، نیشابوری، م. ر.، اکبری، م.، زارع‌حقی، د و عنابی میلانی، الف. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل هایدروس دو بعدی برای تعیین توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی درختان پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۴)، ۵۹۵-۵۸۱.

ملکیان، ر و قیصری، م. ۱۳۹۰. حساسیت سنجی مدل CSM-CERES-Maize نسبت به ظرفیت زراعی خاک برای شبیه‌سازی سرنوشت نیتروژن در نیمرخ اااک. حفاظت منابع و خاک. ۱ (۲)، ۱۳-۱.

Chen, M., Willgoose, G. R., & Saco, P. M. 2014. Spatial prediction of temporal soil moisture dynamics using HYDRUS- 1D. *Hydrological Processes*, *28*(2), 171-185.

Ramos, T. B., Šimůnek, J., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Prazeres, A., & Pereira, L. S. 2012. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. *Agricultural Water Management*, *111*, 87-104.

Šimunek, J. S., Sejna, M., & van Genuchten, M. T. 1999. The HYDRUS-2D Software Package for Simulating the Twodimensional Flow of Water. Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Porous Media, IGWMC-TPS, 53.

Wang, J., Gong, S., Xu, D., Juan, S., & Mu, J. 2013. Numerical simulations and validation of water flow and heat transport in a subsurface drip irrigation system using HYDRUS- 2D. Irrigation and Drainage, 62(1), 97-106.

Topic for submission: soil physics and growth plant

Simulation of soil water movement under drip irrigation using HYDRUS -2D

Samaneh Etminan[1], Vahidreza Jalali*[22], Majid Mahmoodabadi[3], Abbas Khashei siuki[4], Mohsen Pourreza Bilondi[5]

[1]Ph.D. candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

[2]Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.

[3]Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand.

Abstract:

Application of new irrigation methods to reduce water consumption in agriculture is one of the methods of water resources management to compensate the water resources shortage in recent decades. The use of these methods involves studying soil moisture changes and its available amount for the plant. Therefore, in this study, the 2-D HYDRUS was used to study the soil moisture variation under drop irrigation method in field conditions. Soil moisture content was measured in four periods (2 hours, 2 days, 4 days and 6 days after irrigation). The RMSE and MAE indices were used to evaluate the calibration of the model. The RMSE for the above time intervals is 0.024, 0.028, 0.02 and 0.03 respectively, which indicates the high accuracy of the model in estimating the soil moisture content. Also, the trend of soil moisture variation indicates a slight difference between the measured value and the simulated values, which indicates the high model's ability to simulate soil moisture. Consequently, HYDRUS 2-D model can be used accurately to manage water consumption in drip irrigation system.

Keywords: water management, soil moisture, modeling.

* Corresponding author, Email: v.jalali@uk.ac.ir