گزارش کوتاه علمی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

ارزیابی مدل Hydrus-2D در نفوذ آب به خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در لایسیمتر وزنی

سینا بشارت[۱]، *جواد بهمنش[۲]، حسین رضایی[۲] و رضا دلیر حسن‌نیا[۳]

[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه،
[۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۹

چکیده

حرکت آب در خاک با استفاده از مدل‌های عددی قابل شبیه‌سازی است، کاربرد این مدل‌ها در برخی موارد به‌علت یک‌بعدی بودن یا وجود ریشه گیاهان با خطا همراه است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی مدل نفوذ و جذب ریشه به‌صورت دوبعدی توسط مدل Hydrus-2D در یک لایسمتر بوده است. این مدل براساس ورود معادله جذب ریشه در مدل دوبعدی حرکت آب در خاک کامل شده است و پارامترهای معادلات حاکم براساس حداقل‌سازی خطای باقی‌مانده بین داده‌های رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بهینه شد. میزان رطوبت خاک در لایسیمتر در نقاط و اعماق مختلف خاک به‌دست آمد. برای واسنجی مدل حرکت آب در خاک از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. براساس بهینه کردن پارامترهای مدل نام‌برده، درصد رطوبت‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در یک دوره ۳۰ روزه همخوانی بسیار بالایی را نشان دادند. براساس نتایج به‌دست آمده مقدار R^2 به‌طور عموم بین ۰/۹۲ و ۰/۹٤ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۰۲۳٦ مترمکعب بر مترمکعب محاسبه شد. همچنین در این مقاله با استفاده از تخمین‌های مختلف به روش شبکه عصبی، تأثیر مشخصات هیدرولیکی خاک بر روی شبیه‌ازی‌های مدل Hydrus مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که نرم‌افزار Hydrus-2D براساس پارامترهای بهینه شده از انعطاف‌پذیری بالایی در شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت در خاک برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: درصد رطوبت خاک، لایسیمتر وزنی، نرم‌افزار Hydrus-2D، نفوذ آب

* مسئول مکاتبه: j.behmanesh@urmia.ac.ir

مقدمه

براساس مطالعات هیدرولوژیک، تعیین الگوی پخش رطوبت در خاک با تأثیر ریشه گیاه مهم‌ترین کنترل‌کننده جریان آب به اتمسفر و آب‌های زیرزمینی است (کانادل و همکاران، ۱۹۹٦). برای فهم بهتر مقدار جریان آب در خاک، تغییرات زمانی و مکانی رطوبت در خاک مورد نیاز است. تعیین این پدیده همراه با جذب ریشه فهم جریان شیمیایی در خاک را میسر می‌نماید (اسولین، ۲۰۰۲). تعیین مقدار نفوذ و حرکت آب در خاک همراه با جذب می‌تواند زمان و مقدار ورود آلودگی را به آب‌های زیرزمینی را مشخص نموده و براساس نتایج پیش‌بینی شده می‌توان مقدار آلودگی را کاهش داد (کلوسیر و گرین، ۱۹۹٤).

نرم‌افزار Hydrus یکی از باارزش‌ترین مدل‌هایی است که در تحلیل و طراحی سیستم‌های آبیاری در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل Hydrus در مطالعات فراوان آزمایشگاهی و مزرعه‌ای برای شبیه‌سازی و یا برآورد معکوس ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار گرفته است (عباسی و همکاران، ۲۰۰۳؛ سیمونک و همکاران، ۲۰۰٦؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰٦).

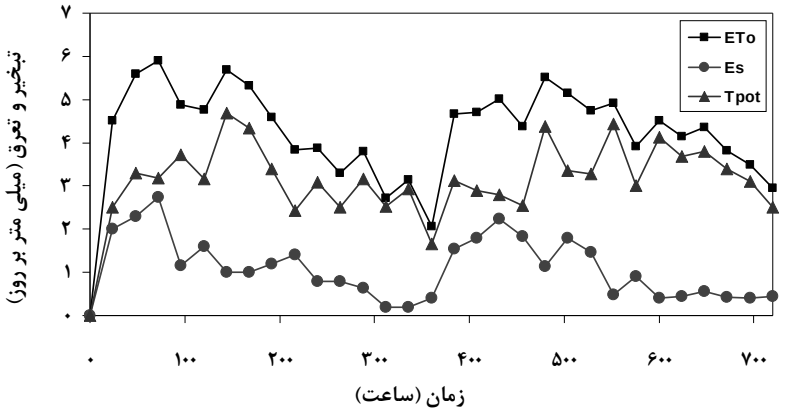
دانشمندان بسیاری الگوی پخش آب در خاک را اندازه‌گیری یا به‌صورت عددی در آبیاری زیرسطحی و سطحی شبیه‌سازی نموده‌اند (اسولین، ۲۰۰۲؛ گاردناس و همکاران، ۲۰۰۵؛ لازاروپچ و همکاران، ۲۰۰۷). در این میان تعدادی از دانشمندان با استفاده از نرم‌افزار Hydrus توزیع آب در خاک را شبیه‌سازی نمودند (گاردناس و همکاران، ۲۰۰۵؛ اسکاگز و همکاران، ۲۰۰٤؛ سیل و اسکاگز، ۲۰۰۹). به‌عنوان مثال اسکاگز و همکاران (۲۰۰٤) شبیه‌سازی به‌دست آمده از مدل Hydrus را با داده‌های مشاهداتی آبیاری قطره‌ای مقایسه نمودند که نتایج از همبستگی خوبی برخوردار بوده است.

هدف از انجام این پژوهش مطالعه و ارزیابی مدل Hydrus-2D و ارایه پارامترهای بهینه شده معادلات حرکت و جذب آب با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری در لایسیمتر وزنی در طول دوره ۳۰ روزه بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها یک لایسیمتر وزنی در آزمایشگاه طراحی و ساخته شد. برای ساخت لایسیمتر از یک سیلندر پلاستیکی با مساحت ۷۸۰۰ سانتی‌مترمربع و عمق ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. داخل محفظه لایسیمتر خاکی با بافت لومی و با جرم مخصوص ظاهری ۱/٤ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌صورت یکنواخت ریخته شد (پس از اتمام آزمایش‌ها کنترل گردید). به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک، لوله‌هایی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر در ستون خاک نصب گردید. درصد رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR برای لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۱ متر اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های عملی این پژوهش در زمستان سال ۱۳۸۹ و بهار سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه تخصصی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام گرفت. رطوبت خاک به‌طور پیوسته هر ۲ ساعت یک‌بار به‌صورت شعاعی در ۳ لوله نصب شده و به‌صورت عمقی در ٦ عمق از خاک به‌مدت ۳۰ روز ثبت گردید.

علاوه‌بر پارامترهای جذب ریشه و تنش در خاک، لازم است پارامترهای هیدرولیکی خاک مانند تخلخل (n) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks) بهینه شوند. مشخصات هیدرولیکی خاک مورد آزمایش در آزمایشگاه اندازه‌گیری و به‌دست آمد.

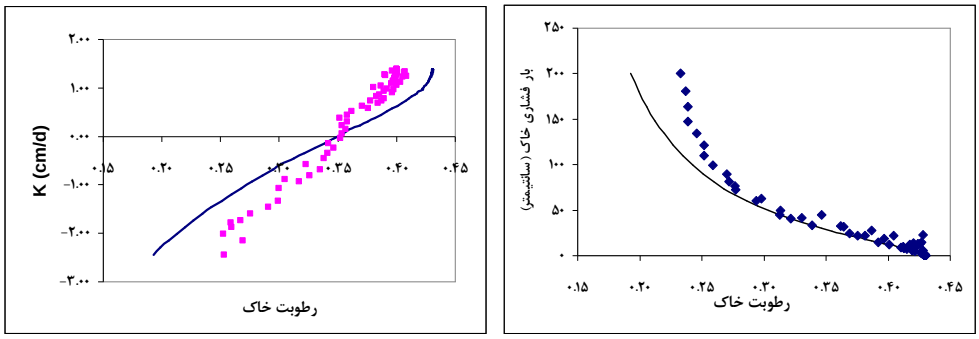


شکل ۱- تغییرات تبخیر و تعرق مرجع (ETo)، تبخیر از سطح خاک (Es) و تعرق پتانسیل نسبت به زمان.

نتایج و بحث

منحنی رطوبتی خاک بهینه شده و منحنی هدایت هیدرولیک خاک توسط الگوریتم غیرمرکب در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین شکل شامل اندازه‌گیری داده‌های θ,h است که با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی از نمونه‌های دست‌نخورده لایسیمتر در عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌دست آمد. نقاط θ,K به روش آزمایشگاهی و نرم‌افزار به‌دست آمد. علاوه‌بر این مقدار حداکثر تنش آب $h_{0.}$= -۰/۲۳۵ با ظرفیت نگهداشت آب حداقل در خاک همخوانی بالایی داشت. هدایت هیدرولیکی اشباع بهینه شده ۲۳/۱۲٤ سانتی‌متر بر روز به‌دست آمد که با مقادیر گزارش شده توسط پژوهشگران دیگر تفاوت محسوسی دارد.

شبیه‌سازی درصد رطوبت خاک براساس مشخصه‌های هیدرولیک خاک و پارامترهای جذب آب بهینه شده از همخوانی بسیار خوبی با مقادیر اندازه‌گیری درصدهای رطوبت خاک دارد. البته در موارد محدودی اختلاف‌هایی نیز دیده می‌شود. شکل دوبعدی رطوبت خاک شبیه‌سازی شده ($m^3\ m^{-3}$) که جذب ریشه گیاه ($m^3\ m^{-3}\ d^{-1}$) در آن تأثیر مستقیم داشته است، در دوره ۱۵ روزه و سه زمان مشخص از هر دوره مطالعاتی در شکل ٤ نشان داده شده است.



شکل ۲- منحنی‌های مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی
خاک شبیه‌سازی شده (خط ممتد) و اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (نقاط).

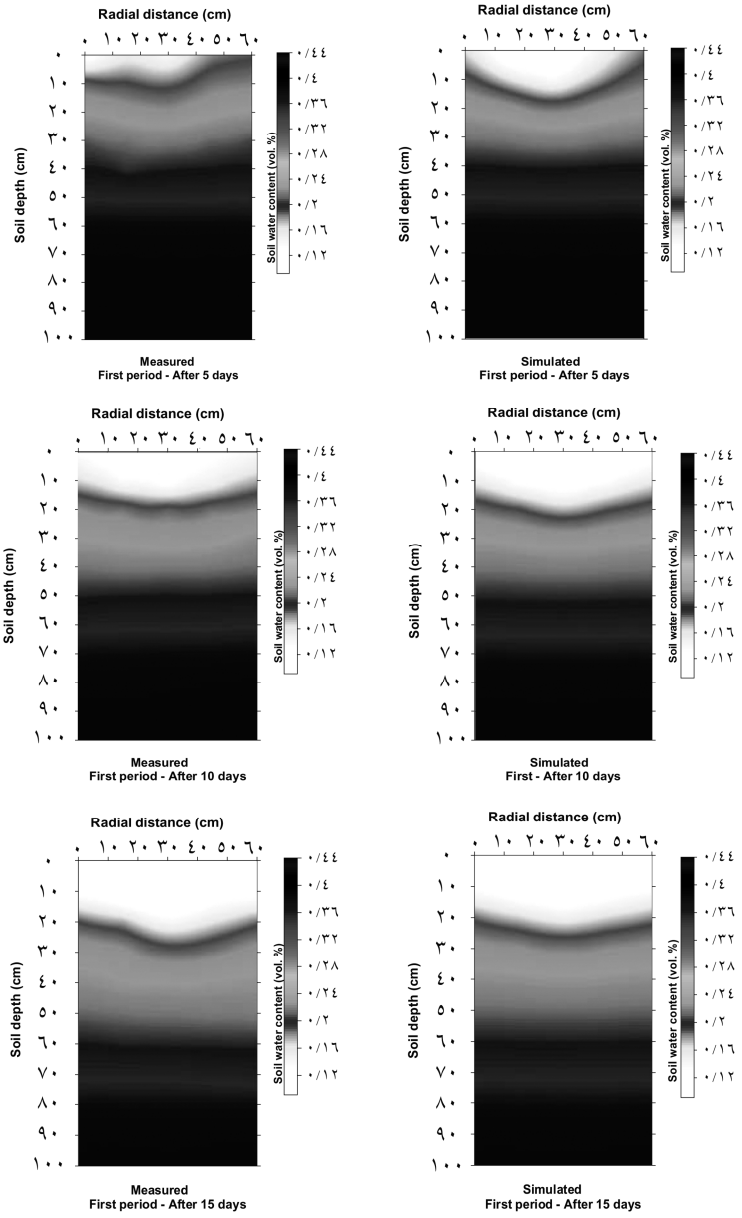
در شکل ۳ دوره ۱۵ روز اول برای زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ روز پس از آبیاری درصد رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار Hydrus-2D و اندازه‌گیری شده در لایسیمتر به‌صورت دوبعدی ارایه شده است. در این شکل بیش‌ترین خطای مشاهده شده در ۵ روز اول دوره در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر

اتفاق افتاده است که این خطا به‌طور مستقیم از مقدار تبخیر از سطح خاک اندازه‌گیری شده تأثیر می‌پذیرد. با این وجود مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در ۱۰ و ۱۵ روز دوره اول از همخوانی بسیار قابل‌قبولی برخوردار است. در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از سطح خاک مقدار رطوبت خاک به‌طور متوسط از ۰/۳۵-۰/۱٦ کاهش پیدا کرده است که متأثر از تبخیر از سطح خاک و جذب ریشه گیاه می‌باشد.

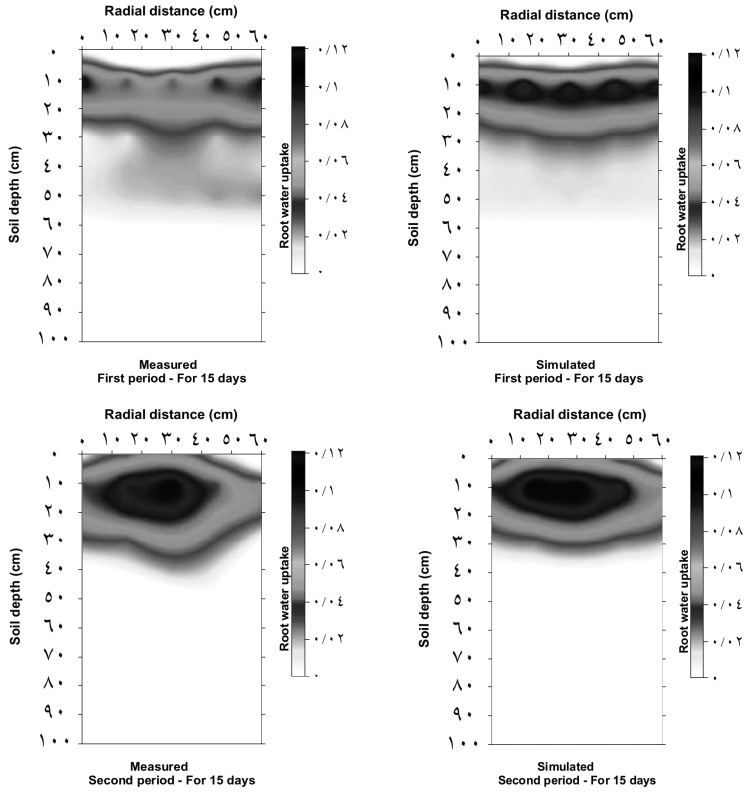
در شکل ٤ مقدار جذب ریشه به‌صورت تجمعی برای دو دوره ۱۵ روزه نشان داده شده است. در این شکل مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با هم مقایسه گردید. با توجه به شکل ٤ مقدار جذب شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار کمی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر به‌دست آمده است ولی در کل مقادیر جذب در هر دو دوره از شبیه‌سازی قابل‌قبولی برخوردار می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده، حداکثر جذب تجمعی در یک دوره ۱۵ روزه به‌طور متوسط $m^3\ m^{-3}\ d^{-1}$ ۲-۱۰×۱۲ محاسبه گردید. در شروع دوره مورد مطالعه و بلافاصله پس از آبیاری، شدت جذب ریشه $۱٤\times۱۰^{-۳}\ m^3\ m^{-3}\ d^{-1}$ بود.

پس از تهی شدن آب از خاک در قسمت‌های جذب ریشه، حداکثر جذب به قسمت‌هایی با رطوبت قابل دسترس‌تر سوق پیدا می‌کند. به‌عنوان مثال، براساس اندازه‌گیری‌های رطوبت انجام شده می‌توان بیان نمود که الگوی جذب ریشه نسبت به زمان تغییر می‌یابد و از محل جذب حداکثر اولیه فاصله می‌گیرد. با توجه به شکل جذب آب توسط ریشه می‌توان به این نتیجه رسید که جذب تا عمق ۵۰ سانتی‌متری وجود داشته و حداکثر آن در عمق ۱۵ سانتی‌متر از سطح خاک متمرکز می‌باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، در این پژوهش برای زمان کاربردهای مختلف و براساس سه روش مختلف تخمین مشخصات هیدرولیکی خاک، ۱- بافت خاک (SSC)، ۲- چگالی ظاهری خاک (BD) و ۳- رطوبت ظرفیت مزرعه (TH33)، شبیه‌سازی دوباره انجام شد. در این قسمت از روش‌های شبکه عصبی، پارامترهای هیدرولیکی خاک محاسبه گردید و شبیه‌سازی نفوذ آب دوباره با نرم‌افزار HYDRUS انجام گرفت. همان‌طورکه در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، داده‌های اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده در عمق‌ها و زمان‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در این شکل، در تمام زمانهای کاربرد از دقت بالایی برخوردار بوده به‌خصوص در زمان‌های کاربرد بالا شبیه‌سازی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی بسیار بالایی را نشان می‌دهد.



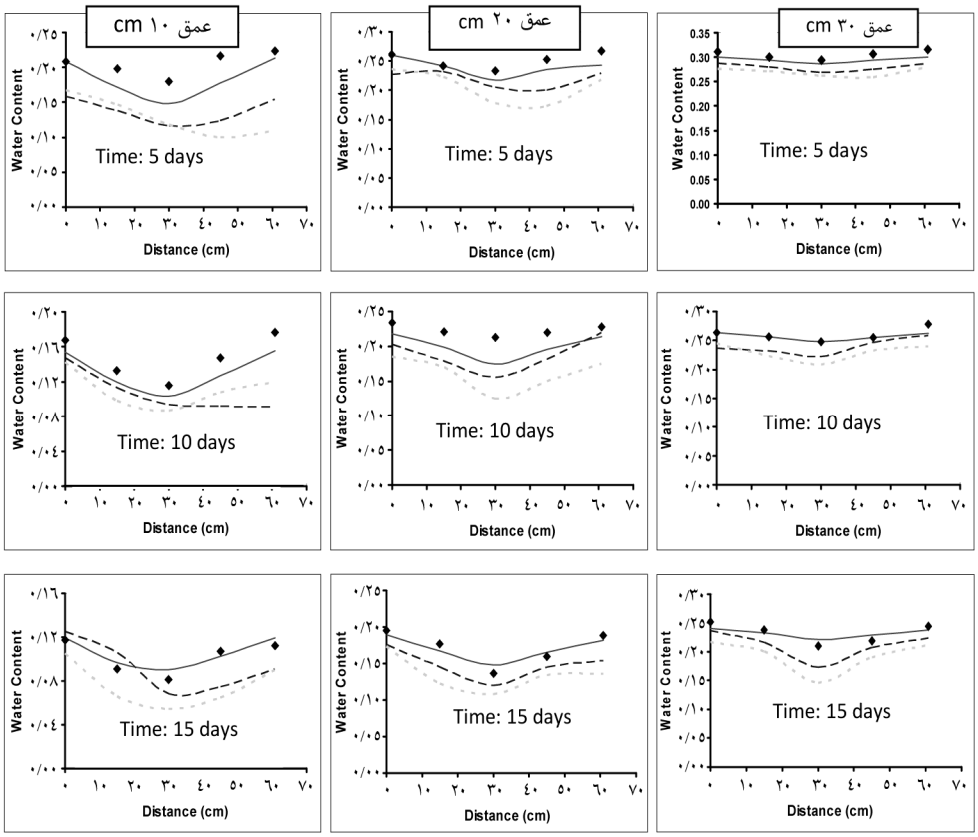
شکل ۳- الگوی دوبعدی رطوبت حجمی خاک ($m^3\ m^{-3}$) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی در سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ روز از دوره اول.



شکل ٤- الگوی دوبعدی جذب آب توسط ریشه (d^{-1}) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی در دوره ۱۵ روز اول و دوم.

براساس پژوهش‌های انجام شده توسط کومونو و همکاران (۱۹۹۷) برای فصل‌ها و رطوبت‌های مختلف، حداکثر جذب ریشه در ٤٠ سانتی‌متری از سطح خاک اتفاق می‌افتد و می‌توان جذب ریشه را به این ناحیه محدود کرد. در حالی‌که نتایج بهینه‌سازی در این پژوهش حدود جذب حداکثر ریشه را در عمق ۲۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که توسط آندرو و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد، حداکثر جذب برای بیش‌تر گیاهان در سطح خاک و عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری گزارش گردید به‌طوری‌که در اعماق خاک این مقدار بسیار کاهش می‌یابد. البته در پژوهش، پژوهشگران نام‌برده تبخیر از سطح خاک به‌عنوان یکی از پارامترهای خروج آب از خاک در نظر گرفته نشده بود. شعاع بهینه شده ممکن برای حداکثر جذب ریشه (r_{max}) در حالت دوبعدی برای گیاهان درختی ۱/۲ و برای گیاهان یک‌ساله

۰/٤ متر به‌دست آمد که با مطالعاتی که به‌صورت آبیاری میکروبارانی توسط کومونو و همکاران (۱۹۹۷) انجام گرفته است مطابقت دارد. همچنین این نتایج با یافته‌ها و داده‌های به‌دست آمده توسط کولهو و اور (۱۹۹٦) نیز مطابقت داشت که آن‌ها در پژوهش خود سیاست‌های مختلف آبیاری را برای تعیین توسعه ریشه به‌صورت مکانی و زمانی مورد بررسی قرار دادند.



شکل ۵- مقایسه تغییرات داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از Hydrus-2D براساس تخمین‌های مختلف مشخصات هیدرولیکی خاک، اندازه‌گیری‌ها (نقاط)، TH33 (خط ممتد)، BD (خط بریده)، SSC (نقطه‌چین).

منابع

1.Abbasi, F., Jacques, D., Simunek, J., Feyen, J., and van Genuchten, M.T.h. 2003. Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: heterogeneous soil. Trans. ASAE. 46: 4. 1097-1111.
2.Andreu, L., Hopmans, J.W., and Schwankl, L.J. 1997. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. Agric. Water Manage. 35: 123-146.
3.Assouline, S. 2002. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1630-1636.
4.Canadell, J., Jackson, R.B., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., and Schulze, E.D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. Oecologia. 108: 583-595.
5.Clothier, B.E., and Green, S.R. 1994. Rootzone processes and the efficient use of irrigation water. Agric. Water Manage. 25: 1-12.
6.Coelho, F.E., and Or, D. 1996. A parametric model for two dimensional water uptake intensity by corn roots under drip irrigation. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1039-1049.
7.Gardenas, A., Hopmans, J.W., Hanson, B.R., and Simunek, J. 2005. Two-dimensional modeling of it rate leaching for various fertigation scenarios under microirrigation. Agric. Water Manage. 74: 219-42.
8.Koumanov, K.S., Hopmans, J.W., Schwankl, L.J., Andreu, L., and Tuli, A. 1997. Application efficiency of micro-sprinkler irrigation of almond trees. Agric. Water Manage. 34: 247-263.
9.Lazarovitch, N., Warrick, A.W., Furman, A., and Simunek, J. 2007. Subsurface water distributions from drip irrigation described by moment analysis. Vadose Zone J. 6: 116-123.
10.Simunek, J., Sejna, M., and Van Genuchten, M.Th. 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating the 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.
11.Siyal, A.A., and Skaggs, T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. Agricultural Water Management. 96: 893-904.
12.Skaggs, T.H., Trout, J., Simunek, J., and Shouse, H. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observations. J. Irrig. Drain. Eng. 130: 4. 304-310.
13.Wang, F.X., Kang, Y., and Liu, S.P. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agric. Water Manage. 79: 248-264.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Short Technical Report

Evaluation of Hydrus-2D for soil water infiltration by using laboratory measurements in the weighing lysimeter

S. Besharat[1], *J. Behmanesh[2], H. Rezaee[2] and R. Delir Hasannya[3]
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Urmia, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Urmia, [3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Tabriz
Received: 01/21/2013; Accepted: 02/18/2014

Abstract

Although solutions of transient water flow can be obtained by numerical modeling, their application may be limited in part as root water uptake is generally considered to be one-dimensional only. The objective of this study was to evaluate the accuracy of two-dimensional root water uptake model by Hydrus-2D in the Lysimeter. The root water uptake model was incorporated into a two- dimensional flow model and parameters of governing equation were optimized based on minimizing the residuals between measured and simulated water content data. Water content was measured at different points and layers. To calibrate the flow, a genetic algorithm was used. With the optimized parameters of model, simulated and measured water contents during the 30 days period were in excellent agreement. Based on results, R^2 values generally ranged between 0.92 and 0.94 and a root mean squared error (RMSE) of 0.0236 m^3m^{-3}. In this Paper effect of soil hydraulic properties on Hydrus simulation was evaluated by several predictions of neural network. Finally, results illustrate that Hydrus-2D is extremely flexible in simulation of soil water content pattern.

Keywords: Soil water content, Weighing lysimeter, Hydrus-2D software, Soil water infiltration

* Corresponding Author; Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir