

Sensitivity Analysis of Hydrus software to Input Data in Simulating Water Movement and Root uptake of Grass as Reference Plant

Abstract

Introduction: Understanding the movement of water in the soil and the process of root water uptake, can help a lot in this challenge. Numerical simulation is an effective solution in optimizing water management in the field. Accurate prediction of water movement in the soil and root water uptake, in order to create optimal moisture conditions in root zone, is very important for better plant performance. Investigating the phenomenon of water absorption by roots in hydrological and plant models requires a quantitative description of water absorption by plant roots. Accuracy of model simulation in predicting soil water transfer and roots absorption, as temporal and spatial variables, is the most important criterion in agricultural issues. Comparing the results of the model with the results of field tests and the results obtained by other researchers will show the accuracy of the models. These models quantitatively consider atmospheric requirements, effective root distribution and root water uptake.

Materials and Methods: In this research, water movement in the soil and root water uptake were simultaneously simulated using HYDRUS-3D software. For this purpose, the grass plant was cultivated in three lysimeters with the same soil texture. The grass plant was irrigated every three days at 10 am. The soil water content of the depths of 5, 15, 25, 40, 60 and 80 cm was measured every day at 10 am and 6 pm. The volume of water drained from the lysimeters was measured every day. The measurements were done in a period of 81 days. Soil physical properties were measured in the laboratory. In this research, HYDRUS-3D software was used to simulate the water drained from the lysimeters, the daily root water uptake values, the soil water content of different soil depths, the estimation of the soil characteristic curve and the hydraulic conductivity curve.

Results and Discussion: The results showed that in all simulations, the minimum and maximum relative error was obtained from 0.79 to 35.1%, respectively. The cumulative measured volume of drainage water in the whole period is 162.75 liters and the cumulative volume of simulated drainage water in the whole period is 133.79 liters. The relative error between these two values is equal to 5.28%. Rainfall amounts have a significant effect on estimating the volume of simulated drainage water and its difference with the measured volume of drainage water. With the increase of initial moisture and soil hydraulic conductivity, the relative error between the measured and estimated drainage water data increases, and with the increase of saturated moisture and residual moisture in the soil, the relative error decreases. The values of root water uptake (Minimum 0.5 and maximum 3.5 liters in one irrigation interval), showed that in the third stage of growth, root absorption has the maximum value and by comparing the actual and potential root absorption, which have a low difference, no stress has been applied to the plant.

Conclusion: In general, after the sensitivity analysis, it can be concluded that the change in the input parameters causes a change in the estimated volume of drained water at the beginning of the period. When the initial moisture and residual soil moisture are considered as 0.3 and 0.15325, respectively, the relative error between the measured and estimated drainage water data is the lowest. In the conducted research, root water uptake values were also estimated using the model. Daily evapotranspiration values were calculated using the water balance equation. According to the values of actual and potential root water uptake, in the whole period, which have very small differences, no stress has been applied to the grass plant and sufficient water has been provided to the plant.

Keywords: Water, Soil, Root Uptake, Characteristic Curve, HYDRUS-3D

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: majidraoof2000@gmail.com

Citation: This article should be cited here according to the format of the references at the end of this guidelines.

DOI:

Received:, Accepted:

Water and Soil Management and Modeling, Year ..., Vol. ..., No. ..., pp.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تحلیل حساسیت نرم افزار Hydrus نسبت به داده های ورودی در شبیه سازی حرکت آب و جذب ریشه گیاه مرجع چمن

چکیده

پیش بینی دقیق حرکت آب در خاک و جذب ریشه در راستای ایجاد شرایط رطوبتی بهینه منطقه ریشه برای عملکرد بهتر گیاه اهمیت بسیار زیادی دارد. در این پژوهش، حرکت آب در خاک و جذب ریشه به صورت همزمان با استفاده از نرم افزار HYDRUS-3D شبیه سازی شد. برای این منظور، گیاه چمن در سه لایسیمتر با بافت خاک یکسان کشت شد. آبیاری هر سه روز یک بار در ساعت ۱۰ صبح انجام شد. رطوبت اعماق ۵، ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متر، هر روز ساعت ۱۰ صبح و عصر اندازه گیری شد. حجم آب زهکشی خارج شده از لایسیمترها در روزهایی که آب از لایسیمتر زهکش می شد اندازه گیری شد. اندازه گیری ها در یک دوره ۸۱ روزه انجام شد. خصوصیات فیزیکی خاک در آزمایشگاه اندازه گیری شد. در این پژوهش، از نرم افزار HYDRUS-3D جهت شبیه سازی آب زهکش شده از لایسیمتر، مقادیر جذب ریشه روزانه، رطوبت اعماق مختلف خاک، برآورد منحنی مشخصه آب خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی استفاده شد. نتایج نشان داد مقادیر بارندگی در برآورد حجم آب زهکشی شبیه سازی شده و اختلاف آن با حجم آب زهکشی اندازه گیری شده تأثیر بسزایی دارد. در تمامی شبیه سازی ها، حداقل و حداکثر خطای نسبی به ترتیب ۰/۷۹ تا ۳۵/۱ درصد به دست آمد. با افزایش رطوبت اولیه و هدایت هیدرولیکی خاک خطای نسبی بین داده زهکشی اندازه گیری شده و برآورد شده افزایش و با افزایش رطوبت اشباع و رطوبت باقیمانده در خاک کاهش می یابد. حجم تجمعی آب زهکشی اندازه گیری و برآورد شده در کل دوره به اندازه ۵/۲۸ درصد باهم اختلاف دارند. مقادیر جذب ریشه (حداقل ۰/۵ و حداکثر ۳/۵ لیتر در یک دور آبیاری) نشان داد که در مرحله سوم رشد جذب ریشه حداکثر مقدار را دارد و با مقایسه جذب ریشه واقعی و پتانسیل که اختلاف ناچیزی دارند هیچ تنشی به گیاه وارد نشده است. از مقایسه منحنی مشخصه اندازه گیری شده و شبیه سازی شده می توان نتیجه گرفت مدل دقت بالایی در تخمین منحنی مشخصه آب خاک دارد.

واژه های کلیدی: آب، خاک، جذب ریشه، منحنی مشخصه، HYDRUS-3D

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidraoof2000@gmail.com

استناد: در این قسمت مطابق فرمت رفرنس های فارسی موجود در انتهای راهنمای نگارش، رفرنس خود این مقاله نوشته می شود.

DOI:.....

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال دوره شماره صفحه ... تا

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان



۱- مقدمه

به علت رشد جمعیت جهان و محدودیت منابع آب، آبیاری در کشاورزی باید در جهت تولید محصول بیشتر با میزان آب کمتر حرکت کند. فهم حرکت آب در خاک و ساز و کار جذب آب توسط ریشه می‌تواند کمک بسیاری در راستای این چالش نماید. شبیه‌سازی عددی راه حل مؤثر در بهینه‌سازی مدیریت آب در مزرعه می‌باشد (Schmitz et al., 2002; Cote et al., 1999; Meshkat et al., 2003). گیاه آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه‌ها از خاک جذب می‌کند. بنابراین موجودیت آب در خاک از عوامل اصلی رشد گیاه است. علاوه بر این بسیاری از خصوصیات خاک مانند پایداری، خمیری، مقاومت، قابلیت فشردگی، نفوذپذیری و قابلیت عبور و مرور در خاک بستگی به مقدار آب آن دارد. رطوبت خاک بر مقدار هوای موجود در خاک و تبادل گازها در آن نیز مؤثر است. فعالیت موجودات ریز خاک و واکنش‌های شیمیایی خاک نیز تابعی از مقدار رطوبت آن است (Shamsayi, 1999). رطوبت خاک، به سه قسمت طبقه‌بندی می‌شود که عبارت است از: ۱) رطوبت غیر قابل دسترس (غیر قابل استفاده)، ۲) رطوبت قابل دسترس (قابل استفاده) و ۳) رطوبت ثقیلی. این گونه طبقه‌بندی مربوط به قابلیت دسترسی رطوبت خاک برای گیاه است. در وضعیت عادی می‌توان رطوبت ثقیلی را به سرعت از منطقه ریشه زهکشی نمود. رطوبت غیر قابل دسترس به وسیله نیروی مویینه‌ای به شدت در خاک حفظ می‌شود و معمولاً به ریشه گیاه نمی‌رسد. وضعیت رطوبت قابل دسترس حالت بین رطوبت ثقیلی و رطوبت غیر قابل دسترس است. نیروی جاذبه‌ی ثقیلی، پیوسته رطوبت خاک را زهکشی می‌کند. چگونگی جذب آب توسط ریشه‌ی گیاه تاکنون مورد توجه دانشمندان بسیاری در زمینه‌های بیولوژی، زراعت، فیزیک خاک و محیط زیست قرار داشته و افراد بسیاری به مدل کردن این پدیده پرداخته و به کمک داده‌های واقعی مزرعه‌ای و آزمایشگاهی به صحت‌یابی و واسنجی مدل‌های حاصله پرداخته‌اند. جذب آب توسط ریشه، با مدل‌های خرد و کلان کمی می‌گردد. بررسی پدیده‌ی جذب آب توسط ریشه در مدل‌های هیدرولوژیکی و گیاهی نیازمند یک توصیف کمی از جذب آب توسط ریشه‌ی گیاه می‌باشند (Barzegar, 2010). زمان و مقدار آبیاری به خروج آب توسط ریشه بستگی دارد. گیاهان با ریشه‌ی کوتاه نسبت به گیاهان با ریشه‌ی عمیق به آبیاری مکرر احتیاج دارند. با ثابت بودن همه‌ی شرایط در یک خاک مرطوب، ریشه‌ی گیاه در مقایسه با خاک خشک، آب بیشتری جذب می‌نماید. بر این اساس بیشترین آب مصرفی گیاه از سطح خاک جذب

می‌گردد. این بدان دلیل است که غالباً به صورت نرمال ریشه‌های بیشتری در نزدیک سطح خاک تجمع می‌یابند (Molz and Remson, 1970). Herkelrath et al. (2017) برای اندازه‌گیری توزیع عمودی جذب آب به وسیله‌ی ریشه هر ستون خاک را به پنج قسمت تقسیم و به وسیله‌ی واکس از یکدیگر جدا نمودند و نشان دادند که بیشترین جذب ابتدا در نزدیکی سطح خاک و پس از آن در اعماق صورت می‌گیرد. (Kang et al., 2001)، معادله‌ی نمایشی شدت جذب آب توسط ریشه را با فرض اینکه ظرفیت رطوبتی خاک قادر به برطرف کردن تمام نیاز آبی ریشه است و نیز توزیع آن در تمام ناحیه ریشه یکنواخت می‌باشد، ارائه نمودند. تعیین ضریب وارد شده در مدل (Li, 2001)، جهت لحاظ مرحله رشد ریشه مشکل بوده و از قابلیت کاربردی مدل می‌کاهد. این امر (Brijesh et al., 2008) را در سال 2008 بر آن داشت تا با اختیار تابع نرمالیزه شده توزیع غیر خطی ریشه مستقل از مرحله رشد آن تأثیر کمبود رطوبت خاک را به همراه رشد دینامیکی رشد در مدل‌سازی لحاظ کنند. مزیت مدل بریجیش (۲۰۰۸)، لحاظ جنبه دینامیکی ریشه عمقی ریشه می‌باشد و نتایج به دست آمده از آن حاکی از این امر است که ماکزیمم شدت جذب آب از لایه‌های بالایی در صورت برقرار بودن میزان رطوبت بهینه در تمام پروفیل خاک صورت می‌گیرد و در غیر این صورت پیک جذب به ناحیه‌ای با شرایط رطوبتی مناسب‌تر است انتقال خواهد یافت. در تحقیق (Vrugt et al., 2001a)، یک مدل دو بعدی جذب آب ریشه بسط داده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS این مدل ارزیابی گردید. همچنین مدل جذب آب با استفاده از اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک توسط نوترون متر برای درخت بادام در مدت ۱۶ روز کالیبره گردید. در این آزمایش از آبیاری بارانی استفاده شد. نتایج به دست آمده از مدل با نتایج اندازه‌گیری صحرائی مقایسه گردید. آن‌ها نتیجه گرفتند پیش‌بینی درصد رطوبت خاک با استفاده از HYDRUS همبستگی خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد ($R^2=0.94$). (Mansell et al., 2002) در مطالعه‌ی مدل‌های عددی و نحوه‌ی شبکه‌بندی آن‌ها را برای انتقال آب در خاک مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق خطاهای موجود در حل عددی بررسی شده و روش‌هایی جهت افزایش دقت با استفاده از شبکه‌بندی جدید پیشنهاد شده است. (Salazar et al., 2008) شبیه‌سازی به دست آمده از نرم‌افزار HYDRUS را با داده‌های مشاهداتی آبیاری قطره‌ای مقایسه نمودند که نتایج از همبستگی خوبی برخوردار بوده است. (Siyal and Skaggs, 2009) شبیه‌سازی

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، به ترتیب ۱۷/۵۸ درصد، 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.

علاوه بر موارد ذکر شده، تحقیقات متعددی نیز در سالیان اخیر در این مورد صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحلیل دقت و حساسیت نرم‌افزار Hydrus 1D در تخمین جذب آب توسط ریشه در شرایط خاک شور (Zeng et al., 2018)، کاربرد Hydrus 1D برای استخراج پارامترهای معادله بیلان در مزرعه گندم زمستانه در یک منطقه نیمه خشک در کشور مراکش (Raki et al., 2021)، تخمین خصوصیات هیدرولیکی و ضریب جذب خاک در شرایط غیرماندگار در اراضی شیبدار (Raouf et al., 2009)، تاثیر سطوح مختلف ورودی نرم‌افزار Rosetta در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D و اثر تغییر کاربری اراضی بر آن‌ها (Ebrahimi and Raouf, 2016)، تاثیر سطوح مختلف ورودی نرم‌افزار Rosetta در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D و اثر تغییر کاربری اراضی بر آن‌ها (Ebrahimi and Raouf, 2015) و تعیین ضریب گیاهی چغندرقد با استفاده از لایسیمتر در دشت اردبیل و مقایسه آن با داده‌های جهانی فائو (Raouf, 2019) اشاره نمود.

حرکت آب در خاک همواره به عنوان یکی از پیچیده‌ترین مسائل مهندسی آب و خاک مطرح بوده و هنوز موارد ناشناخته و سوالات زیادی پیش روی محققان قرار دارد. انتقال آب و جذب ریشه در فرآیند غیر قابل تفکیک می‌باشند که پیش‌بینی دقیق آن‌ها در راستای عملکرد بهتر گیاه حائز اهمیت است. دقت شبیه‌سازی مدل در پیش‌بینی انتقال آب در خاک و جذب آن توسط ریشه، به عنوان متغیرهای زمانی و مکانی مهم‌ترین معیار در مسائل کشاورزی می‌باشد و لذا مقایسه نتایج حاصل از مدل با نتایج آزمایش‌های میدانی و نیز نتایج حاصله توسط سایر محققین، بیانگر میزان دقت مدل‌ها خواهد بود. مدل‌های عددی ابزار بسیار مفیدی برای این سیستم پیچیده می‌باشند. مدل‌های بسیاری در این زمینه ارائه شده است. این مدل‌ها بیشتر به صورت کمی نیازهای جوی، توزیع ریشه مؤثر و جذب ریشه را در پتانسیل خاک که توسط آب قابل دسترس کنترل می‌شود در نظر می‌گیرند. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی حرکت آب در خاک همراه با جذب ریشه برای گیاه چمن با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS می‌باشد.

با نرم‌افزار HYDRUS (2D/3D) برای تغییرات رطوبت خاک را در آبیاری زیرسطحی مطالعه نمودند و ارتباط پارامترهای هیدرولیکی و فیزیکی و الگوی رطوبت خاک متأثر از شیوه‌های مدیریتی و طراحی آبیاری را مورد تحقیق قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که پیش‌بینی‌های درصد رطوبت خاک با استفاده از HYDRUS همبستگی‌های خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد ($R^2=0/98$). (Simunek and Hopmans (2009)، با معرفی پارامتری به نام شاخص استرس بحرانی و با بررسی جذب جبرانی آب توسط ریشه در شرایط تنش رطوبتی نشان دادند که اگر تمام ناحیه‌ی ریشه تحت تنش رطوبتی قرار گیرد جذب جبرانی بی معنی خواهد بود. (Abtahi and Besharati (2011)، یک مدل جذب آب ریشه برای گیاه چغندر قند بسط دادند. مدل ارائه شده قابلیت محاسبه جذب آب توسط ریشه را به صورت زمانی و مکانی و براساس الگوی پخش یکنواخت و غیریکنواخت آب در خاک را دارد. نتایج بیانگر این مطلب بوده است که حدود ۱۴۸-۱۲۳ لیتر آب از قسمت بالایی محیط ریشه در اثر جذب برداشت شده است. بنابراین به طور متوسط میزان جذب آب توسط ریشه گیاه چغندر قند در عمق ۵۰-۰ سانتی متر از محیط ریشه ۲۷-۱۴ لیتر در روز محاسبه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که در نقاطی که در اثر تغییرات ناگهانی رطوبت در زمان‌های طولانی دقت نرم‌افزار HYDRUS کاهش یافته است. می‌توان جهت افزایش دقت نرم‌افزار، مراحل شبیه‌سازی را به بازه‌های زمانی کوچک‌تر تقسیم نمود. (Besharat et al. (2014)، مدل نفوذ و جذب ریشه به صورت دوبعدی را توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D در یک لایسیمتر ارزیابی کرده‌اند. براساس نتایج به دست آمده، حداکثر جذب جمعی در یک دوره ۱۵ روزه به طور متوسط $12 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ در شروع دوره مورد مطالعه و بلافاصله پس از آبیاری با شدت جذب ریشه d^{-1} $14 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ بوده است و نتایج بهینه‌سازی شده در این پژوهش حدود حداکثر ریشه را در عمق ۲۰ سانتی متر نشان می‌دهد.

(Raouf (2022)، طی تحقیق به تاثیر پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D روی شبیه‌سازی همزمان حرکت آب و جذب ریشه چغندر قند پرداخت. گیاه چغندر قند در سه لایسیمتر با بافت خاک یکسان کشت شد. آبیاری‌ها به صورت 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 لایسی - مترها بعد از هر آبیاری، اندازه‌گیری شد. 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

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در محوطه ی ساختمان هانگار دانشگاه محقق اردبیلی واقع در خیابان دانشگاه شهر اردبیل انجام شد. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه ی شمالی و ۴۸ درجه و ۱۷ درجه ی شرقی می باشد. شهر اردبیل، مرکز استان اردبیل با ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح دریا، در میان کوه های تالش و سبلان واقع گردیده است. شهرستان اردبیل دارای چهار اقلیم مدیترانه ای گرم، مدیترانه ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل است. این شهرستان به عنوان یکی از مناطق سردسیر ایران و استان بین پنج تا هشت ماه از سال سرد است. بارندگی نیز در تمام فصول وجود دارد، ولی شدت آن در بهار و پاییز بیشتر است. موقعیت منطقه ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای انجام این تحقیق از سه لایسیمتر حجمی به قطر ۵۸ سانتی متر و عمق ۹۰ سانتی متر استفاده گردید. در انتهای لایسیمترها شیری برای خروج آب زهکشی تعبیه شد که آب زهکشی شده بعد از جمع آوری با استوانه ی مدرج اندازه گیری می شد. به منظور سهولت در زهکشی آب اضافی، لایه ی شنی به ضخامت ۱۰ سانتی متر در کف لایسیمترها ریخته شد. گیاه چمن در لایسیمترها و مساحتی در اطراف لایسیمترها کاشته و جهت جوانه زنی آبیاری کامل شد. قبل از کشت چمن در هر لایسیمتر در عمق های ۵، ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متر، در هنگام خاکریزی در لایسیمترها، بلوک گچی که قبلاً واسنجی شده بودند نصب گردید

رطوبت خاک به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم اندازه گیری می شود. برخی از روش ها در مزرعه انجام می شوند،

اما در بعضی دیگر باید از خاک نمونه برداری کرده و مقدار رطوبت را در آزمایشگاه اندازه گیری نمود. یکی از روش های ساده و کاملاً کاربردی برای اندازه گیری غیر مستقیم رطوبت خاک استفاده از قالب یا بلوک های گچی است که به بلوک های مقاومت نیز معروف هستند (Akbari Baseri et al., 2015).

۲-۲- محاسبه ی تبخیر

تعرق چمن با دانستن مقادیر رطوبت خاک، آب آبیاری و بارندگی در طول دوره ی رشد و دوره ی چینش در هر لایسیمتر و تعیین نفوذ عمقی از طریق جمع آوری آب خارج شده از انتهای لایسیمترها قابل محاسبه می باشد. از رابطه ی (۱) تبخیر - تعرق چمن محاسبه شد (Rasoulzadeh and Raof, 2014):

$$ET_0 = I + R - D - \Delta S \quad (1)$$

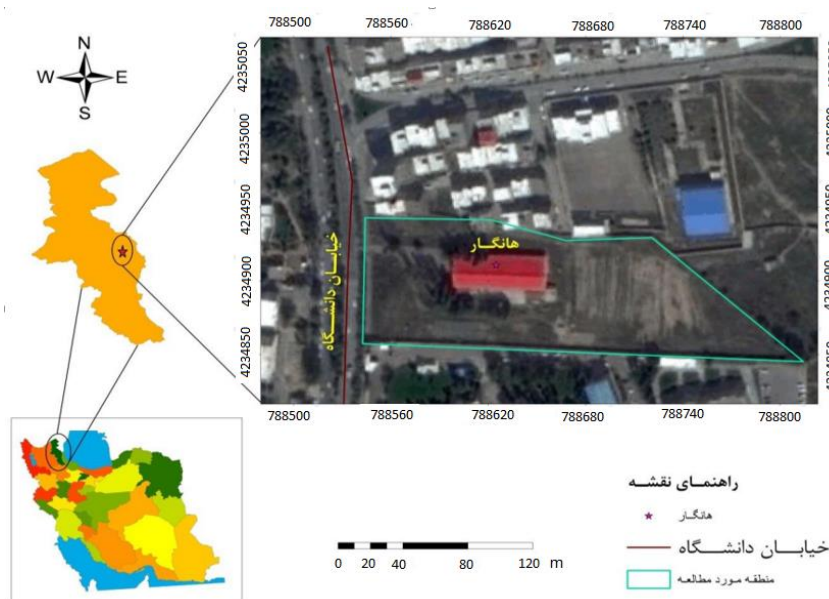
که در آن، ET_0 تبخیر تعرق گیاه مرجع در فاصله ی اندازه گیری رطوبت خاک در لایسیمتر، I مقدار آب آبیاری R ارتفاع بارندگی، D مقدار آب زهکشی و ΔS تغییرات رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه در فاصله ی اندازه گیری رطوبت خاک می باشد (رابطه (۲)):

$$\Delta S = S_2 - S_1 \quad (2)$$

که در آن S_1 رطوبت ذخیره شده در خاک در ابتدای دوره زمانی و S_2 رطوبت ذخیره شده در خاک در انتهای دوره ی زمانی می باشد.

۲-۳- منحنی مشخصه ی آب خاک

منحنی مشخصه ی آب خاک (SWCC)، از جمله مشخصه های مهم هیدرولیکی خاک و بیانگر رابطه ی بین پتانسیل ماتریک و رطوبت خاک می باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان

Figure 1- Location of study area Ardabil Province, Iran

از خطای اندازه‌گیری آن پارامتر چشم‌پوشی کرد. برعکس، در صورت تأثیر پذیری زیاد مقادیر خروجی مدل باید آن پارامتر را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کرد. پس در آنالیز حساسیت تغییرات پارامترهای ورودی مدل روی نتایج خروجی آن بررسی می‌شود. گاهی از روش آنالیز حساسیت برای تخمین پارامترهای ورودی مدل‌های ریاضی نیز استفاده می‌شود. به طور کلی، آنالیز حساسیت را به دو روش کیفی و کمی می‌توان اجرا کرد. در این تحقیق، به دلیل وجود پارامترهای اندازه‌گیری شده مورد نیاز، آنالیز حساسیت به روش کمی اجرا شد.

۶-۲- شاخص‌های ارزیابی

جهت مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای مختلف، در این تحقیق از شاخص‌های ارزیابی آماری زیر استفاده شد.

۱- خطای نسبی (RE): این پارامتر بر حسب درصد بیان می‌شود و هر چه مقدار آن کمتر باشد، نشان دهنده‌ی دقت بالای مدل می‌باشد (Akbari Baseri 2017).

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (7)$$

۲- ضریب جرم باقیمانده (CRM): تمایل مدل در برآورد بالاتر یا پایین‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد، هرگاه CRM منفی شود، نشان می‌دهد که مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده دارد و برعکس (Akbari Baseri 2017).

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (8)$$

۳- نسبت خطای متوسط هندسی (GMER): این پارامتر بیانگر پیش برآوردی یا کم بر آوردی مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده را دارد. GMER برابر با یک تطابق کامل بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد. GMER کمتر از یک نشان می‌دهد مقادیر برآورد شده به طور کلی کم بر آورد و GMER بزرگ‌تر از یک نشان می‌دهد مقادیر برآورد شده پیش برآورد شده است (Wagner et al., 2001).

$$GMER = EXP \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{O_i}{S_i} \right) \right) \quad (9)$$

که در آن‌ها، O_i و S_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده (شبیه‌سازی شده)، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و N تعداد کل داده‌های مشاهده شده می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نمونه‌برداری‌های انجام شده از مزرعه (دست خورده و دست نخورده)، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد و مشخصات فیزیکی خاک در آزمایشگاه به دست آمد. نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه گردیده است. هر مشخصه‌ی فیزیکی خاک با سه

منحنی مشخصه آب خاک توزیع اندازه‌ی منافذ خاک را نشان می‌دهد و درجه‌ی تراکم و تخلخل خاک (چگالی ظاهری و میزان آب خاک اشباع) نیز بر شکل این منحنی موثر است (Ebrahimi and Raouf, 2016). روش‌های تعیین منحنی مشخصه‌ی آب خاک به طور کلی به دو دسته، روش‌های مستقیم و غیر مستقیم، تقسیم می‌شوند.

روش‌ها غیر مستقیم اندازه‌گیری منحنی مشخصه‌ی آب خاک شامل روش حل معکوس، توابع انتقالی و مدل‌های نیمه فیزیکی می‌باشند. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی منحنی مشخصه‌ی آب خاک از روش حل مستقیم با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-3D استفاده شد.

۴-۲- منحنی هدایت هیدرولیکی خاک

به منظور شبیه‌سازی منحنی هدایت هیدرولیکی خاک مورد نظر، از روش حل مستقیم با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-3D استفاده گردید. مشخصه‌های هیدرولیکی $\theta(h)$ و $K(h)$ ، وابسته به بار فشاری خاک می‌باشند. در نرم‌افزار هایدروس از ۵ مدل تجربی مختلف برای مشخصه‌های هیدرولیکی می‌توان استفاده کرد (Brooks and Corey, 1969; Van Genuchten, 1980; Vogel, 1980; Durner, 1994; Kosugi, 1996). در اجرای برنامه‌ی هایدروس از مدل (Van Genuchten 1980) استفاده شده است که از مدل (Mualem 1976) بهره‌گرفته شده است. این مدل به صورت زیر ارائه شده است:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^{m-2} \right] \quad (4)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}, \quad n > 1 \quad (5)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (6)$$

که در آن θ_s درصد آب خاک اشباع $[L^3 L^{-3}]$ ، θ_r درصد آب خاک باقیمانده $[L^3 L^{-3}]$ ، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع $[T^{-1}]$ ، n شاخص توزیع خلل و فرج و l پارامتر مربوط به پیوستگی منافذ خاک که توسط (Mualem 1976) به دست آمده و در بسیاری از خاک‌ها برابر ۰/۵ می‌باشد.

۵-۲- آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت حد یا درجه‌ی حساسیت یک مدل ریاضی را به پارامترهای ورودی آن نشان می‌دهد. آنالیز حساسیت روشی برای ارزیابی و واسنجی مدل‌های ریاضی است. این روش تأثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌دهد. اگر تغییرات یکی از پارامترهای ورودی تأثیر اندکی بر داده‌های خروجی مدل داشته باشد، می‌توان چنین استنباط کرد که آن پارامتر تأثیر ناچیزی بر نتایج مدل دارد و در نتیجه می‌توان

تکرار به دست آمد که میانگین محاسبات در جدول آورده شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات اندازه گیری شده خاک مورد مطالعه
Table 1- Some of the measured properties of the studied soil

پارامتر	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	تخلخل (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	جرم مخصوص حقیقی (gr/cm ³)	بافت خاک	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)
میانگین	۶۱/۸۷	۳۱/۴۷	۶/۶۷	۴۹/۴۵	۱/۲۲۵	۲/۴۲۳۸	Sandy loam	۲۸۱/۶
انحراف معیار	۲/۴۹۴	۲/۴۹۴	۰/۹۴۲۸	۳/۲۰۴	۰/۰۹۲۴	۰/۰۴۵۶	-	۷۸/۹
ضریب تغییرات	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	-	۰/۲۸

زهکشی را بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد کرده و بعد از آن روز تا انتهای دوره به جز روز ۵۸ ام کم تر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت تا زمانی که بارندگی اتفاق نیفتاده و در ورودی نرم افزار فقط حجم آبیاری ها وارد شده است، نرم افزار مقادیر آب زهکشی را در آن بازه ی زمانی بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد کرده و بعد از روز ۳۲ ام که بارندگی ها شروع شده است، نرم افزار مقادیر زهکشی را کم تر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد کرده است. در ابتدای دوره زهکشی شدید بوده و در مدت چند روز اول زهکشی شدیداً کاهش می یابد. علت آن رطوبت اولیه ی بالای خاک و زهکشی آب ثقیلی باقی مانده در خاک می باشد، زیرا در شروع دوره اندازه گیری رطوبت خاک بالا بوده و زهکشی صورت گرفته است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود حجم آب زهکشی تجمعی شبیه سازی شده در کل دوره بیشتر از حجم آب اندازه گیری شده برآورد شده است. حجم آب زهکشی اندازه گیری شده تجمعی در کل دوره ۷۵/۱۶۲ لیتر و حجم آب زهکشی شبیه سازی شده تجمعی در کل دوره ۷۹/۱۳۳ لیتر می باشد. خطای نسبی بین این دو مقدار برابر ۵/۲۸ درصد می باشد که خطای قابل قبولی است و می توان برای تأیید دقت بالای مدل هایدروس در نظر گرفت. ضریب جرم باقیمانده و نسبت خطای متوسط هندسی بین مقادیر زهکشی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده به ترتیب برابر ۰/۰۵۲۸- و ۰/۷۹۲- محاسبه شد. بنابراین، مدل با توجه به مقادیر زهکشی تجمعی، مقادیر زهکشی را بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد کرده است.

جدول ۲- پارامترهای ورودی معادله وان گنوختن-معلم
Table 2- Input parameters of the Van Gnokhten- Mualem equation

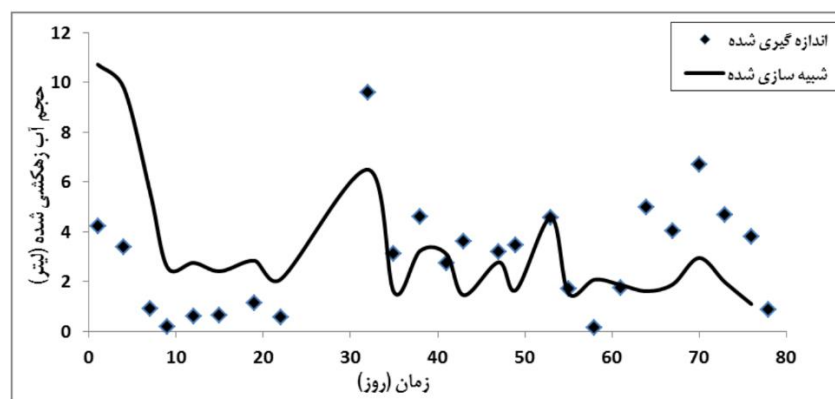
θ_r	θ_s	K_s	ι	n	l
------------	------------	-------	---------	-----	-----

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود ضریب تغییرات اکثر پارامترها به جز هدایت هیدرولیکی اشباع پایین می باشد. این نشان می دهد که اندازه گیری پارامترها با دقت بالایی صورت گرفته است. بالا بودن ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع می تواند به علت خشک بودن خاک در زمان اندازه گیری این پارامتر، ترک خوردن خاک و خشک شدن گیاه چمن در هنگام انجام آزمایش باشد. پارامترهای ورودی معادله ون گنوختن-معلم (مشخصات هیدرولیکی خاک) در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به جدول ۲، مقادیر θ_r ، θ_s و K_s در آزمایشگاه اندازه گیری شده و مقادیر α و n از نرم افزار RETC و با توجه به منحنی مشخصه آب خاک (شامل رطوبت باقیمانده در مکش های صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ سانتیمتر و ۳، ۵ و ۱۵ بار) به دست آمده اند. پارامتر l هم در بسیاری از خاک ها ۰/۵ در نظر گرفته می شود (Mualem, 1976).

بر اساس اندازه گیری های انجام شده از لایسیمترها در کل دوره ی ۸۱ روز، میانگین مقادیر زهکشی اندازه گیری شده از سه لایسیمتر در روزهایی که زهکشی وجود داشت محاسبه شد و با مقادیر زهکشی شبیه سازی شده مقایسه گردید. مقادیر زهکشی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده روزانه در شکل ۲ و مقادیر زهکشی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده تجمعی در شکل ۳ آورده شده است.

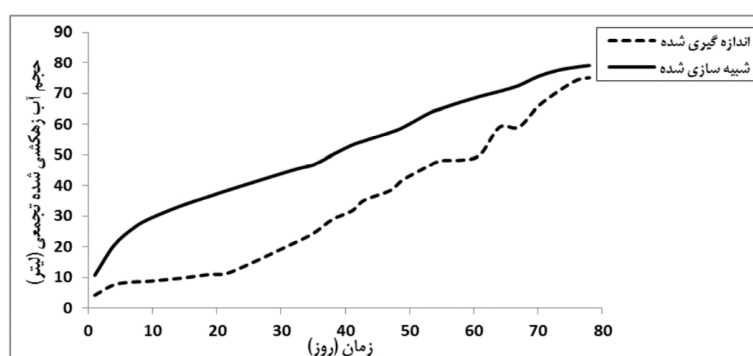
با توجه به شکل ۲، در کل دوره تغییرات حجم آب زهکشی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده روزانه تقریباً روند مشابهی دارند، یعنی با کاهش یا افزایش حجم آب زهکشی اندازه گیری شده به همان صورت حجم آب زهکشی شبیه سازی شده کاهش یا افزایش می یابد. تفاوت مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در ابتدای دوره تا روز ۲۲ ام نرم افزار هایدروس مقادیر

(cm/day)					
۰/۱۲۶	۰/۳۹۵	۷۸/۶	۰/۱۵۵۶	۱/۷۴۶۶	۰/۵



شکل ۲- مقایسه مقادیر زهکشی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در کل دوره

Figure 2- Comparison of measured and simulated drainage values over the whole period



شکل ۳- مقایسه مقادیر زهکشی تجمعی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در کل دوره

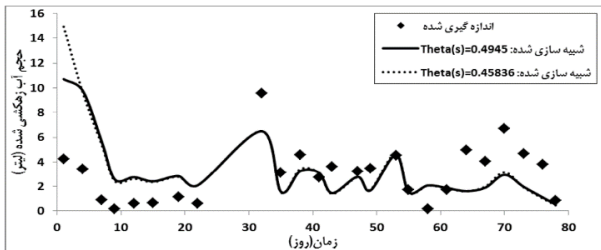
Figure 3- Comparison of cumulative drainage values measured and simulated over the whole period

تمامی شبیه سازی ها تمام داده های ورودی، داده های اندازه گیری شده قرار داده شد و در هر شبیه سازی فقط داده ای که حساسیت مدل به آن بررسی می شد تغییر داده شد.

برای بررسی حساسیت مدل به رطوبت اولیه، مقادیر مختلف رطوبت اولیه (۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۳۲۹۵) در ۵ شبیه سازی قرار داده شد و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد. رطوبت اولیه ۰/۳۲۹۵ همان رطوبت اولیه اندازه گیری شده در ابتدای دوره مورد نظر می باشد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود تغییر در رطوبت اولیه باعث تغییر در حجم آب زهکشی شده در روز اول می شود بدین صورت که با افزایش رطوبت اولیه خاک حجم آب زهکشی شده نیز افزایش می یابد. وقتی مقدار رطوبت اولیه خاک ۰/۳۲۹۵ یا ۰/۳۵ باشد روند

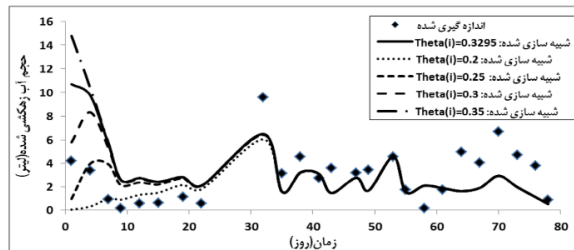
حساسیت مدل به مقدار رطوبت اولیه خاک، رطوبت اشباع خاک، رطوبت باقیمانده در خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در برآورد حجم آب زهکشی خارج شده از لایسیمتر در مقایسه با حجم آب زهکشی اندازه گیری شده به ترتیب در شکل ۴ آورده شده است. در این شکل نمودار نقاط پراکنده مربوط به مقادیر زهکشی اندازه گیری شده در روزهایی بوده که لایسیمتر آب زهکشی داشته و نمودارهایی که به صورت منحنی می باشند مربوط به مقادیر زهکشی برآورد شده می باشد. به این ترتیب که مقادیر پارامترهای ورودی مدل شامل درصد رطوبت اولیه، درصد رطوبت اشباع، درصد رطوبت باقیمانده در خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع در شبیه سازی های مختلف تغییر داده شد و نتایج بررسی شد. شبیه سازی ها به این صورت انجام شد که در

زهکشی برآورد شده در روزهای اول با تغییرات حجم آب زهکشی اندازه گیری شده متفاوت می باشد، چرا که ابتدا کم بوده و سپس افزایش می یابد. در حالی که حجم آب زهکشی اندازه گیری شده در روز اول زیاد بوده و در روزهای بعدی کاهش می یابد.

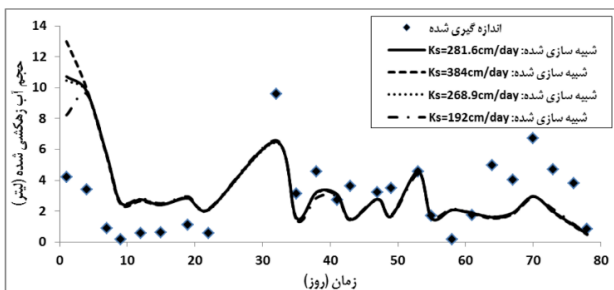


ب) مقدار رطوبت اشباع خاک (Theta(s))

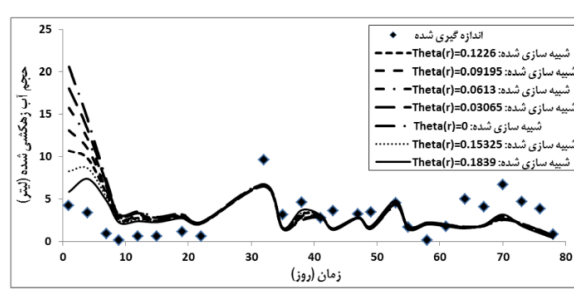
تغییرات حجم آب زهکشی برآورد شده در ابتدای دوره همانند تغییرات حجم آب زهکشی اندازه گیری شده می باشد. بدین صورت که در روز اول زیاد بوده و سپس کاهش می یابد ولی برای رطوبت های اولیه ۰/۲، ۰/۰۲۵ و ۰/۳ روند تغییرات حجم آب



الف) مقدار رطوبت اولیه خاک (Theta(i))



ج) مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks)



ج) مقدار رطوبت باقیمانده (Theta(r))

شکل ۴- حساسیت مدل به پارامترهای مختلف در برآورد حجم آب زهکشی خارج شده از لایسیمتر در مقایسه با حجم آب زهکشی اندازه گیری شده.

Figure 4- Sensitivity of the model to different parameters in estimating the volume of drainage water discharged from the lysimeter compared to the measured volume of drainage water.

خاک حجم آب زهکشی شده در روز اول کاهش می یابد. برای بررسی حساسیت مدل به رطوبت باقیمانده در خاک، ۷ مقدار مختلف رطوبت باقیمانده (۰، ۰/۰۳۰۶۵، ۰/۰۶۱۳، ۰/۰۹۱۹۵، ۰/۱۲۲۶، ۰/۱۵۳۲۵ و ۰/۱۸۳۹) در ۷ شبیه سازی قرار داده شد و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد. این مقادیر ضرایبی (مثلاً ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و...) از رطوبت باقیمانده اندازه گیری می باشند، رطوبت باقیمانده ۰/۱۲۲۶ رطوبت باقیمانده اندازه گیری شده می باشد. همان طور که در شکل ۴(ج) مشاهده می شود تغییر در رطوبت باقیمانده باعث تغییر در حجم آب زهکشی شده در روز اول می شود بدین صورت که با افزایش رطوبت باقیمانده خاک حجم آب زهکشی شده کاهش می یابد. وقتی مقدار رطوبت باقیمانده ۰/۱۲۲۶ یا کم تر از آن باشد روند تغییرات حجم آب زهکشی برآورد شده در ابتدای دوره همانند تغییرات حجم آب زهکشی اندازه گیری شده می باشد. بدین صورت که در روز اول زیاد بوده و سپس کاهش می یابد ولی برای رطوبت های باقیمانده بیشتر از ۰/۱۲۲۶ روند تغییرات حجم آب

با توجه به شکل ۴ (الف)، نمودار مربوط به رطوبت اولیه ۰/۲ تقریباً تا روز ۳۳ ام با سایر نمودارهای مربوط به حجم آب زهکشی شبیه سازی شده اختلاف دارد. چون بعد از هشتمین آبیاری حجم آب زهکشی اندازه گیری شده به صفر رسیده بود، حجم آب آبیاری نسبت به آبیاری های قبلی بیشتر در نظر گرفته شد. حال اگر رطوبت اولیه خاک ۰/۲ باشد، به این معناست که اکثر تخلخل خاک عاری از آب می باشد، بنابراین آب آبیاری داده شده به خاک بیشتر مصرف پر کردن منافذ خالی خاک شده و انتظار می رود که حجم آب زهکشی شده نسبت به رطوبت های اولیه بالاتر کم تر محاسبه شود. برای بررسی حساسیت مدل به رطوبت اشباع، ۲ مقدار مختلف رطوبت اشباع (۰/۴۹۴۵ و ۰/۴۵۸۳۶) در ۲ شبیه سازی قرار داده شد و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد. مقدار ۰/۴۹۴۵ رطوبت اشباع اندازه گیری شده و مقدار ۰/۴۵۸۳۶ رطوبت اشباع به دست آمده از نرم افزار RETC می باشد. همان طور که در شکل ۴ (ب) مشاهده می شود تغییر در رطوبت اشباع فقط باعث تغییر در حجم آب زهکشی شده در روز اول می شود بدین صورت که با افزایش رطوبت اشباع

CRM	GMER
۱/۳۵	۱/۴
۱/۹	۱/۴
۱/۲	۱/۲
۱/۵	۱/۹
۱/۲	۱/۸
۱/۵	۱/۹
۱/۱	۱/۸
۱/۱	۱/۴
۱/۵	۱/۸
۱/۱	۱/۲
۱/۵	۱/۴
۱/۱	۱/۲
۱/۵	۱/۴
۱/۵	۱/۴
۱/۵	۱/۴

چون تغییر در رطوبت باقیمانده، کم‌ترین تأثیر را بر داده‌های خروجی مدل دارد، در نتیجه می‌توان از خطای اندازه‌گیری این پارامتر چشم‌پوشی کرد.

مقادیر واقعی جذب آب توسط ریشه و تبخیر - تعرق در طول کل دوره و مقادیر تجمعی این دو پارامتر در شکل ۵ آورده شده است. $ARWU$ ، جذب واقعی آب توسط ریشه و ET^2 ، تبخیر - تعرق می‌باشد. مقادیر تبخیر - تعرق با استفاده از معادله (۱)، به دست آمد و مقادیر جذب واقعی آب توسط ریشه با استفاده از نرم‌افزار هایدروس برآورد گردید.

کل دوره ی رشد گیاه چمن ۴۵ روز و مراحل رشد (۴ مرحله) آن به ترتیب ۵، ۲۰، ۱۰ و ۱۰ روز می‌باشد (آلن و همکاران، ۲۰۰۶). در این تحقیق مرحله اولیه رشد از ۱ مرداد تا ۵ مرداد می‌باشد. در این مرحله رشد چمن محدود بوده و فقط ۱۰ درصد به پوشش گیاهی اختصاص می‌یابد و تبخیر - تعرق، به طور عمده، به صورت تبخیر از خاک سطحی است که طبق شکل ۵ تبخیر - تعرق مقدار ثابتی دارد. مرحله توسعه گیاه از ۶ مرداد تا ۲۵ مرداد بوده و همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تبخیر - تعرق در این مرحله افزایش داشته و به تبع آن جذب ریشه نیز افزایش می‌یابد و رشد چمن تا رسیدن به پوشش موثر کامل ادامه می‌یابد. مرحله میانی رشد از ۲۶ مرداد تا ۴ شهریور ادامه دارد که با توجه به شکل ۵ تبخیر - تعرق در این مرحله حداکثر مقدار را به خود اختصاص داده، چرا که بیشترین رشد گیاه که رسیدن محصول می‌باشد در این مرحله اتفاق می‌افتد. برای چمن ارتفاع چمن در این مرحله اندازه‌گیری شد که حداکثر ارتفاع آن به ۲۰ سانتی‌متر رسیده بود. مرحله پایانی رشد از ۵ شهریور تا ۱۴ شهریور ۱۳۹۴ می‌باشد. تبخیر - تعرق در این مرحله روند کاهشی دارد و بعد از کامل شدن دوره رشد تقریباً ثابت می‌شود، چرا که ریشه چمن کامل رشد کرده و بعد از کوتاه کردن فقط اندام‌های هوایی چمن رشد می‌کنند. بعد از مرحله‌ی پایانی وارد مرحله چینش می‌شویم که تا شروع بارش برف و شروع یخبندان اندازه‌گیری‌ها ادامه داشت و شبیه‌سازی تا ۱۹ مهر ۱۳۹۴ انجام شده است.

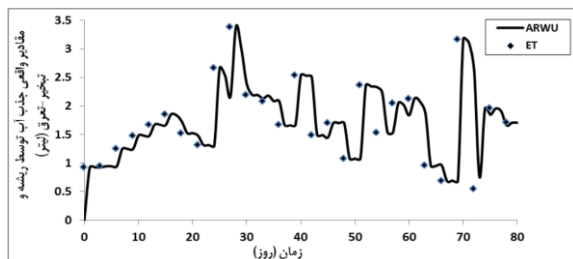
با توجه به جدول ۳، با افزایش هدایت هیدرولیکی خاک خطای نسبی بین داده‌های تجمعی زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده افزایش می‌یابد. وقتی هدایت هیدرولیکی خاک ۱۹۲ و ۳۸۴ سانتی متر در روز باشد، به ترتیب خطای نسبی حداقل و حداکثر مقدار خود را دارد. با توجه به مقادیر CRM در همه‌ی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. با توجه به مقادیر GMER در همه‌ی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، مقادیر برآورد شده به طور کلی کم برآورد شده است. علت تفاوت در پیش برآوردی و یا کم برآوردی مدل با استفاده از شاخص‌های CRM و GMER این است که شاخص CRM فقط داده‌ی زهکشی تجمعی انتهای دوره را مبنای مقایسه قرار می‌دهد و شاخص GMER تک تک داده‌های زهکشی را در نظر می‌گیرد.

در آخر یک شبیه‌سازی بدین صورت انجام شد که پارامترهای ورودی مربوط به حداقل خطای نسبی بین داده‌های تجمعی زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای هر پارامتر وارد نرم‌افزار گردید و خطای نسبی ۹/۷ درصد به دست آمد. حال با توجه به محدودی تغییرات پارامترهای ورودی و مقادیر خطای نسبی بین داده‌های تجمعی زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده می‌توان حساسیت مدل به پارامترهای ورودی را بررسی کرد. در جدول ۳، درصد تغییرات خطا به ازای ۱۰ درصد تغییر در پارامترهای ورودی (θ_i : رطوبت اولیه، θ_s : رطوبت اشباع، θ_r : رطوبت باقیمانده در خاک و K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع) آورده شده است.

چون رطوبت اشباع تأثیرگذارترین پارامتر در تخمین خروجی مدل می‌باشد، پس این پارامتر را با دقت بیشتری باید اندازه‌گیری کرد. حساسیت مدل به ترتیب برای پارامترهای زیر کاهش می‌یابد:

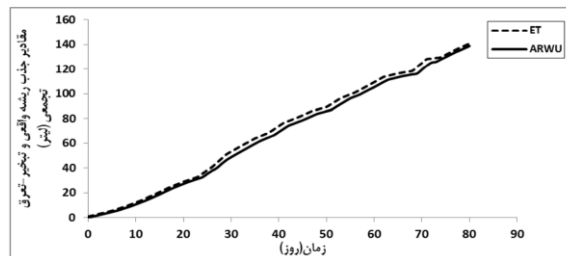
- ۱- رطوبت اشباع، ۲- رطوبت اولیه، ۳- هدایت هیدرولیکی اشباع، ۴- رطوبت باقیمانده

طرف و مهم‌تر از آن خشک شدن خاک سطحی از طرف دیگر باعث شده که مقادیر تبخیر - ترق و جذب آب توسط ریشه تقریباً با هم برابر گردند.



(الف)

با توجه به شکل ۵، چون در روز اول آبیاری صورت گرفته و سطح خاک خیس می‌باشد، تبخیر از سطح خاک زیاد بوده، اما چون ریشه گیاه هنوز گسترش پیدا نکرده است جذب به مراتب کمتر می‌باشد. به طوری که در اولین روز جذب آب توسط ریشه صفر می‌باشد. در روز دوم گسترش نسبی ریشه‌ی گیاه از یک



(ب)

شکل ۵- (الف) مقادیر واقعی جذب آب توسط ریشه و تبخیر - ترق (ب) تجمعی در کل دوره.

Figure 5- (A) Absorption of water by roots and evapotranspiration (b) Cumulative throughout the period

اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در کل دوره تقریباً روند مشابهی دارند، یعنی با کاهش یا افزایش حجم آب زهکشی اندازه‌گیری شده به همان صورت حجم آب زهکشی شبیه‌سازی شده کاهش یا افزایش می‌یابد. در یک ماهه‌ی ابتدای دوره که فقط آبیاری جز ورودی‌های مدل می‌باشد، مدل مقادیر آب زهکشی شده را بیشتر از مقادیر زهکشی اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. بعد از آن که بارندگی نیز به ورودی افزوده می‌شود، مدل مقادیر آب زهکشی شده را کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. با توجه به شاخص CRM در کل دوره مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. با توجه به RE محاسبه شده می‌توان علت خطای به وجود آمده را به داده‌های بارندگی وارد شده به مدل نسبت داد. چرا که داده‌های بارندگی از اداره هواشناسی شهر اردبیل اخذ شد که ساعت دقیق بارندگی و مقدار آن با بارندگی محل مورد ممکن است دارای اختلاف باشند. از مقایسه حجم آب زهکشی تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در کل دوره که فقط ۵/۲۸ درصد اختلاف دارند، می‌توان برای تأیید دقت بالای مدل استفاده کرد. از کل حجم آب وارد شده به لایسیمتر ۳۷/۹ درصد آن از محیط ریشه‌ی گیاه خارج شده است. به طور کلی بعد از بررسی آنالیز حساسیت می‌توان گفت تغییر در پارامترهای ورودی باعث تغییر در برآورد حجم آب زهکش شده در ابتدای دوره می‌شود. وقتی رطوبت اولیه و رطوبت باقیمانده خاک به ترتیب ۰/۳ و ۰/۱۵۳۲۵ خطای نسبی بین داده‌های زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده کم‌ترین مقدار را دارد. با افزایش رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تبخیر - ترق تجمعی در کل دوره از جذب تجمعی واقعی آب توسط ریشه بیشتر می‌باشد. چرا که تبخیر - ترق از دو جز تبخیر و ترق تشکیل شده و جذب واقعی آب توسط ریشه گیاه صرف رشد گیاه و ترق می‌شود. ترق که در هر دو مشترک می‌باشد و چون تبخیر همیشه از رشد گیاه بیشتر می‌باشد و گیاه اکثر آب را به صورت ترق پس می‌دهد، پس تبخیر - ترق باید از جذب واقعی آب توسط ریشه‌ی گیاه بیشتر باشد. تبخیر - ترق و جذب واقعی تجمعی آب توسط ریشه گیاه به اندازه‌ی ۱/۴ درصد در طول کل دوره با هم اختلاف دارند. چون در اوایل کشت، سطح سبز گیاه به مراتب کم‌تر از سطح خاک می‌باشد، پس تبخیر از سطح خاک به مراتب بیشتر از مقدار آب مصرفی برای سوخت و ساز گیاه می‌باشد. اگرچه در مراحل بعدی رشد سطح لایسیمتر به طور تقریباً کامل از سطح سبز گیاه پوشیده شده است، اما از آنجا که رشد گیاه چمن به آب کم‌تری جهت سوخت و ساز نیاز دارد، بر حجم اولیه‌ی تبخیر غلبه نکرده است. بنابر این مقدار ET در کل دوره بر مقدار ARWU غلبه نموده است. Er-Raki et al., 2021 نیز نتایج مشابهی را برای شرایط مزعای و گیاه گندم زمستانه استخراج نمودند.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش انجام شده، حجم آب زهکشی لایسیمتر در روزهایی که از لایسیمتر آب زهکشی می‌شد، اندازه‌گیری شد. حجم آب زهکشی برآورد شده با استفاده از مدل هایدروس نیز استخراج گردید. حجم آب زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از مدل هایدروس نیز استخراج گردید. تغییرات حجم آب زهکشی

رسول‌زاده، ع. و رئوف، م. (۱۳۹۲). مبانی و روش‌های آبیاری. چاپ دوم. انتشارات عمیدی، ۲۸۵ صفحه.

رئوف، م. (۱۳۹۸). تعیین ضریب گیاهی چغندر قند با استفاده از لایسیمتر در دشت اردبیل و مقایسه آن با داده‌های جهانی فائو. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۲)، ۱۸۸-۱۷۵.

رئوف، م. (۱۴۰۰). تاثیر پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D روی شبیه‌سازی همزمان حرکت آب و جذب ریشه چغندر قند. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰ (۴۶)، ۳۹۰-۳۷۷.

شمسایی، ا. (۱۳۷۸). هیدرولیک جریان در محیط‌های متخلخل (جلد اول). چاپ دوم، انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران). ۳۵۱ صفحه

References

- Abtahi, S. & Besharat, S. (2012). The use of Hydrus software in simulating the movement and absorption of water in the soil for the sugar beet plant. First national conference on meteorology and agricultural water management, Tehran University of Agriculture and Natural Resources (In Persian).
- Akbari Baseri, Z. (2017). Simultaneous Modeling of Soil Water Flow and Root Water Uptake in Lysimeter. M. Sc. Thesis. University of Mohaghegh Ardabili. Iran (In Persian).
- Akbari Baseri, Z., Raoof, M., Rasoulzadeh, A. & Aziz Mobaser, J. (2018). Two-stage calibration of gypsum block. The second national conference on protection of natural resources and environment. Mohaghegh Ardabili University (In Persian).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper NO. 56. Rome, Italy.
- Barzegar, A. (2011). Advanced soil physics. second edition, Ahvaz, Shahid Chamran University Press, Ahvaz, 415 pages.
- Besharat, S., Behmanesh, j., Rezayi, h. & Dalir, R. (2015). Evaluation of Hydrus-2D for soil water infiltration by using laboratory measurements in the weighing lysimeter. Journal of Water and Soil Conservation, 21 (5), 297-306 (In Persian).
- Brijesh, K., Yadav, & Shashi, Mathur. (2008). modeling soil water uptake by plants using non linear Dynamic root density distribution function. J. Irrig. Drain. Eng., 134(4), 430-436.
- Brooks, R. H., & Corey, A. T. (1969). Properties of porous media affecting fluid flow. J. Irrig. Drainage Div., ASCE Proc. 72(2), 61-88.
- Cote C. M., Bristow K. L., Charleworth PB & Cook F. J. (2003). Analysis of soil wetting and solute transport in sub-surface trickle irrigation. J Irrig Drain Eng 22(3-4), 143-156.

خطای نسبی بین داده‌های زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد.

در تحقیق انجام یافته مقادیر جذب ریشه روزانه نیز با استفاده از مدل برآورد گردید. مقادیر تبخیر - تعرق روزانه با استفاده معادله‌ی بیلان آب محاسبه شد. با توجه به مقادیر جذب واقعی و پتانسیل آب توسط ریشه در کل دوره که اختلاف بسیار ناچیزی دارند، تنش به گیاه چمن وارد نشده است و آب کافی در اختیار گیاه قرار داده شده است. با توجه به مقادیر جذب واقعی ریشه و تبخیر - تعرق در مرحله اول دوره رشد، رشد ریشه چمن محدود بوده و فقط ۱۰ درصد به پوشش گیاهی اختصاص می‌یابد و تبخیر - تعرق به طور عمده به صورت تبخیر از خاک سطحی است. با وارد شدن به مرحله دوم دوره رشد رفته رفته جذب ریشه به علت برقراری پوشش کامل افزایش می‌یابد. در مرحله سوم رشد حداکثر جذب ریشه وجود دارد چرا که رسیدن گیاه در این مرحله اتفاق می‌افتد. بعد از مرحله سوم جذب ریشه رفته رفته کاهش می‌یابد چون گیاه رسیده و ریشه تقریباً کامل رشد کرده است و بعد از مرحله آخر، مرحله چپش چمن می‌باشد که در این مرحله فقط اندام‌های هوایی چمن رشد می‌کنند.

منابع

- ابراهیمی، ف. و رئوف، م. (۱۳۹۴). تاثیر سطوح مختلف ورودی نرم‌افزار Rosetta در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-2D و اثر تغییر کاربری اراضی بر آن‌ها. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۹)، ۳۱۳-۳۰۳.
- ابراهیمی، ف. و رئوف، م. (۱۳۹۵). اثر تغییر کاربری اراضی بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در شرایط غیرماندگار و ارزیابی برخی اطلاعات جهانی. پژوهش‌های خاک، ۳۰ (۳)، ۳۲۸-۳۱۹.
- ابطحی، س.، بشارت، س. (۱۳۹۰). استفاده از نرم‌افزار Hydrus در شبیه‌سازی حرکت و جذب آب در خاک برای گیاه چغندر قند. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- اکبری باصری، ز. (۱۳۹۵). مدل‌سازی همزمان جریان آب خاک و جذب ریشه در لایسی‌متر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.
- اکبری باصری، ز.، رئوف، م.، رسول‌زاده، ع. و عزیزی مبصر، ج. (۱۳۹۶). واسنجی دو مرحله‌ای بلوک گچی. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی.
- برزگر، ع. (۱۳۸۹). فیزیک خاک پیشرفته. ویرایش دوم، اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۱۵ صفحه.
- بشارت، س.، بهمنش، ج.، رضایی، ح.، دلیر حسین‌نیا. (۱۳۹۳). ارزیابی نرم‌افزار Hydrus 2D در نفوذ آب به خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در لایسیمتر وزنی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱ (۵)، ۳۰۶-۲۹۷.

- Uptake. *Irrigation and Water Engineering*. 10 (46), 377-390 (In Persian).
- Raof, M., Sadraddini, A. A., Nazem, A. H. & Marofi, S. (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.
- Rasoulzadeh, A. & Raof, M. (2014). *Principals and Methods of Irrigation*. second edition. Amidi Publication, 285 pages (In Persian).
- Salazar, O., Wesstrom, I. & Joel, A. (2008). Evaluation of Drainmod using saturated hydraulic conductivity estimated by a pedotransfer function model. *Agricultural Water Management*, 95: 1135-1143.
- Schmitz, GH., Shutze, N. & Petersohn, U. (2002). New strategy for optimizing water application under trickle irrigation. *J Irrig Drain Eng*, 128(5), 287-297.
- Shamsayi, A. (2000). *Flow hydraulics in porous media (volume one)*. Second edition, Publications of Amir Kabir University of Technology Publishing Center (Tehran Polytechnic). 351 pages (In Persian).
- Simunek, J. & Hopmans, J. W. (2009). Modeling compensated root water and nutrient uptake. *Ecological modeling*, 220 (4), 505-521.
- Siyal, A. A. & Skaggs, T. H. (2009). Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 96, 893-904.
- Van Genuchten, M. Th. (1980). A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 44, 892-898.
- Vogel, T. & slerov, C. M. (1988). On the reliability of unsaturated hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve. *Transport in Porous Media*, 3, 1-15.
- Vrugt, J. A., Hopmans, J. W., & Simunek, J. (2001a). Calibration of a two-dimensional root water uptake model. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 65, 1027-1037.
- Vrugt, J.A., van Wijk, M.T., Hopmans, J. W., & Simunek, J. (2001b). One, two, and three dimensional root water uptake functions for transient modeling. *Water Resour. Res*, 37, 2457-2470.
- Wagner, B., Tarnawski, V. R. Hennings., Müller, V., Wessolek, U., & Plagge, R. (2001). Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 102, 275-297.
- Zeng, W., Lei, G. & ZHA, Y. (2018). Sensitivity and uncertainty analysis of the HYDRUS-1D model for root water uptake in saline soils. *Crop and Pasture Science*, 62 (2), 83-94.
- Cote C. M., Bristow, K. L., Charleworth, P. B., & Cook, F. J. (2003). Analysis of soil wetting and solute transport in sub-surface trickle irrigation. *J Irrig Drain Eng* 22(3-4), 143-156.
- Ebrahimi, F. & Raof, M. (2015). Effect of different Rosetta predictive model on soil hydraulic properties estimation using HYDRUS-2D and Effect of Land use changing on their. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2 (9), 303-313 (In Persian).
- Ebrahimi, F. & Raof, M. (2016). Evaluation of Global soil Databases in Extracting Soil Hydraulic Conductivity Curve and Effect of Land use Change in Unsteady State Flow. *Soil Research*, 30 (3), 319-328 (In Persian).
- Er-Raki, S., Ezzahr, J., Merlin. O., Amazirh, A., Ait Hssaine, B. Kharou, M. H., Hkappa, S. & 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, 151-164.
- Herkelrath, W.N., Miller, E. E. & Gardner, W. R. (1977). Water uptake by plants: I. Divided Root Experiments. *SSSAJ*, 41, 1033-1038.
- Kang, s., zhang, f., & zhang, J. (2001). A simulation model of water dynamics in winter wheat field and its application in a semiarid region. *Agric water Manage.*, 49, 115-129.
- Kosugi, K. (1996). Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.*, 32(9), 2697-2703.
- Li, K. Y., De Jong, R., & Biosvert, J. B. (2001). An exponential root water- uptake model with water stress compensation. *J. HYDROL.*, 252, 189-204.
- Mansell, R. S., Liwang, M., Ahuja, L. R., & Bloom, S. A. (2002). Adaptive Grid Refinement in Numerical Models for Water Flow and Chemical Transport in Soil: A Review. *Vadose Zone Journal*, 1, 222-238.
- Meshkat M., Warner, R. C. & Workman, S. R. (1999). Modeling of evaporation reduction in drip irrigation system. *J Irrig Drain Eng*, 125(6), 315-323.
- Molz, F. J. & Remson, I. (1970). "Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants". *Water Resour. Res*, 6, 1346-1356.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12(3), 513-522.
- Raof, M. (2022). Determination of Sugar Beet Crop Coefficient using Lysimeter in Ardabil Plain and its Comparison with FAO Global Data. *Water Research in Agriculture*. 33 (2), 175-188 (In Persian).
- Raof, M. (2022). Effect of Hydrus 3D Input Parameters on Simultaneous Simulation of Water Movement and Sugar Beet Root Water