

Research Paper

Simulation of the Flow and Solute Transport in Three Farms with Different Lateral Distances in Gamboa Irrigation and Drainage Network with HYDRUS 2

Mohammd Shakibania¹, Mohammad Albaji^{2*}, Saeed Broomand Nasab³, Abd Ali Naseri⁴

PHD student, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Mshakiba1401@gmail.com Iran.

2 Associate Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. m_albaji@scu.ac.ir (Corresponding author).

3- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. boroomandnasab@scu.ac.ir

4- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. abdalinaseri@scu.ac.ir



10.22125/iwe.2024.468037.1818

Received:

February 1, 2024

Accepted:

July 29, 2024

Available online:

October 13, 2024

Keywords:

Water Table Fluctuation, Drain Salinity, Flow Modeling, HYDRUS, Solute Transport, Lateral

Abstract

Flow modeling in irrigation and drainage networks can help accelerate and reduce decision-making costs. However, the desired models must have been evaluated in advance. The present research was conducted in order to evaluate the HYDRUS model in estimating the salinity and water level of three farms in Gamboa irrigation and drainage network, Hamidieh city, Khuzestan province. Field experiments were carried out in 1402 in three fields, with the intervals of underground drains of 50, 75 and 80 meters. The results showed that HYDRUS had an underestimation error (MBE<0) in the estimation of two parameters, water level and salinity. The accuracy of the HYDRUS model in simulating the water level in three farms was in the excellent category (0.0<NRMSE<0.1). The changes in the distance of the drains had no effect on the error or accuracy of the HYDRUS model. Failure to consider soil salinity at the beginning of the simulation caused the error of estimating salinity to increase slightly in the first three days in all three farms. But at the end of the simulation, the error of calculating salinity in all three farms was less than 7%. Also, as it approached the outlet of the drain, its accuracy decreased slightly compared to the beginning of the field. However, according to all the results, we can trust the accuracy of HYDRUS model in estimating the water level and salinity in wheat fields

* **Corresponding Author:** Albaji mohammad

Address: Water and environmental engineering
Faculty, shahid chamran University, ahvaz, Iran

Email: m.albaji@scu.ac.ir

Tel: 09163076978

1. Introduction

Flow modeling in irrigation and drainage networks can help speed up and reduce decision-making costs. However, the desired models must have been evaluated in advance to confirm the correctness of their results. Based on this topic, the present study was conducted in order to evaluate the HYDRUS model in estimating the salinity and water table level of three farms in Gamboa irrigation and drainage network

2. Materials and Methods

This area is located at longitude $48^{\circ}17'$ to $48^{\circ}25'$ E and latitude $31^{\circ}20'$ to $31^{\circ}28'$ N, in the agricultural lands of Hamidieh city. The area of this area is over 6000 hectares and field experiments were conducted in 2023 during three stages of irrigation in wheat farms, with area about 8 ha, in three fields with three lateral spacing 50, 75 and 80m. In order to check the water level level in each field, 13 wells were installed in each row between two drainage lines and a total of 52 wells were dug. An observation well between both drains at 0.3, 0.8, 1.5, 2.5 and 15 meters and the distance between the drainage wells from the beginning to the end of the fields is 1.4L, 2.4L, 3.4L and It was 25 meters from the drain outlet. In the investigated farms, profiles were dug for soil stratification and experiments related to the physical and chemical properties of the soil. After irrigation, the water level in the wells was measured and recorded by an electric depth finder. The effluent from the drains was also sampled and transferred to the water and soil laboratory. Also, in order to calculate the hydraulic conductivity of the soil (K) in each farm, at two points, the hydraulic conductivity measurement experiment was conducted using the well method and the value of the drainage coefficient was measured according to the output flow of the drains.

3. Results

In each farm, water level changes were determined based on the distance from the drain outlet. On the sixth day, the stable level between the two drains stabilized and the changes after that were very small. The changes on the first and second day for all three farms were more intense than the other days, which is normal. By reducing the distance from the drainage outlet, the role of drainage pipes in the changes of the water level decreased slightly, which is due to the part of the drainage exiting through the collector. In fact, the role of collectors in drainage is usually ignored and not considered in calculations and design. However, according to the results of this research, in the first to third farms, the collector had an effect on drainage of about 15.9, 3.4 and 12.2%, respectively. But with distance from the collector, its role became less.

4. Discussion and Conclusion

The results showed that HYDRUS had an underestimation error ($MBE < 0$) in the estimation of two parameters, water table level and drain salinity, but the calculation error of both parameters was acceptable. In addition, the accuracy of the HYDRUS in simulating the water table level in all three farms was in the excellent category ($0.0 < NRMSE < 0.1$). The changes in the lateral distance had no effect on the HYDRUS error or accuracy. Failure to consider soil salinity at the beginning of the simulation caused the small error of estimating drain salinity in the first three days in all three farms. But at the end of the simulation, the salinity calculation error in all three farms was less than 7%. Also, when approaching the drainage outlet, due to the failure to consider the role of the collector in the HYDRUS, its accuracy decreased slightly compared to the beginning of the farm. However, considering the results, we can trust the accuracy of HYDRUS model in estimating the water table level and soil salinity in sugarcane farms.

5. Six important references

- 1) Abbasi, F., Jacques, D., Simunek, J., Feyen, J., and M.Th. van Genuchten. 2003. Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: Heterogeneous soil. American Society of Association Executives, 46(4): 1097-1111.
- 2) AbdRashid, N.S., Askari, M., Tanaka, T., Simunek, J. and van Genuchten, M.Th. 2015. Inverse estimation of soil hydraulic properties under oil palm trees. Geoderma: 241–242: 306–312.

- 3) Akay, O., Fox, G.A, and J. Simunek. 2008. Numerical simulation of flow dynamics during macropores -subsurface drain interactions using Hydrus. *Vadose Zone*. 7 (3), 909 – 918.
- 4) Latifi, M., Soltani, M., Ramezani, H., 1401. Investigating the effect of evaporation on the water table and drainage coefficient using HYDRUS-2D software (case study: Qazvin plain buffer drain), *Hydrogeology*, 6 2): 67-78.
- 5) Mokhtari Mutlaq, P., Shahnazari, A., Nouri Imamzadei, M. R. 2018. Moisture management with HYDRUS 2D/3D model to determine the depth and distance of drains in the second cultivation of paddy field, *Irrigation and Drainage*, 4 (13): 972-959.
- 6) Rauf, M., 1400. The effect of input parameters of Hydrus 3D software on simultaneous simulation of water movement and absorption of sugar beet roots, *Irrigation and Water Engineering of Iran*, 46: 376-358.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support (GN: [SCU.WI](#)98.280).

شبیه‌سازی جریان و انتقال املاح در سه مزرعه با فواصل لترال متفاوت در شبکه آبیاری و زهکشی گمبوعه با مدل HYDRUS2

محمدشکيبانیا^۱، محمد الباجی^{۲*}، سعید برومند نسب^۲، عبدعلی ناصری^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

مقاله پژوهشی

چکیده

مدل‌سازی جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند به تسریع و کاهش هزینه‌های تصمیم‌گیری کمک کند. لیکن، باید مدل‌های مورد نظر از قبل ارزیابی شده باشند. پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مدل HYDRUS در برآورد شوری و سطح ایستابی سه مزرعه در شبکه آبیاری و زهکشی گمبوعه شهرستان حمیدیه استان خوزستان انجام شد. آزمایش‌های میدانی در سال ۱۴۰۲ در سه مزرعه، با فواصل زهکش‌های زیرزمینی ۵۰، ۷۵ و ۸۰ متری، انجام گردید. نتایج نشان داد که HYDRUS در برآورد دو پارامتر سطح ایستابی و شوری زهاب دچار خطای کم‌برآوردی گردید ($MBE < 0$). دقت مدل HYDRUS در شبیه‌سازی سطح ایستابی در سه مزرعه در دسته‌ی عالی ($0.1 < NRMSE < 0.0$) قرار داشت. تغییرات فواصل زهکش‌ها اثری در تغییرات خطا یا دقت مدل HYDRUS نداشت. عدم در نظر گرفتن شوری خاک در ابتدای شبیه‌سازی، سبب شد تا خطای برآورد شوری در سه روز نخست در هر سه مزرعه اندکی افزایش یابد. لیکن در انتهای شبیه‌سازی، خطای محاسبه‌ی شوری در هر سه مزرعه کمتر از ۷ درصد به دست آمد. همچنین با نزدیک شدن به خروجی زهکش، دقت آن اندکی نسبت به ابتدا مزرعه کاهش یافت. لیکن، با توجه به کلیه نتایج، می‌توان به دقت مدل HYDRUS در برآورد سطح ایستابی و شوری در مزارع گندم اعتماد کرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات سطح ایستابی، شوری زهاب، مدل‌سازی جریان، مدل HYDRUS.

^۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

Mshakiba1401@gmail.com

^۲- دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. m_albaji@scu.ac.ir

^۳- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

boroomandnasab@scu.ac.ir

^۴- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

abdalinaseri@scu.ac.ir



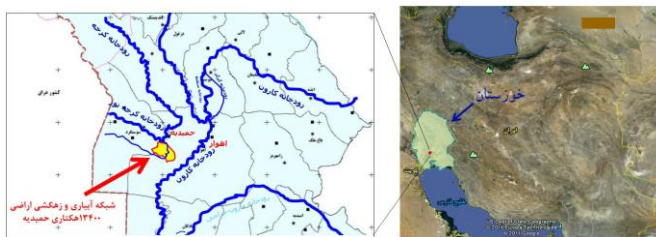
مقدمه

شوری و املاح خاک یکی از مشکلات کشور ایران است به طوری که تخمین زده شده است که حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار از اراضی کشور متأثر از این عامل هستند (لطیفی و همکاران، ۱۴۰۱). این معضل به همراه وجود سطح ایستابی بالا در استان خوزستان به صورت مضاعف سبب ایجاد مشکلاتی برای توسعه کشاورزی شده است. از این رو، اجرای سیستم‌های زهکشی برای کنترل املاح و سطح ایستابی در این استان همواره مورد توجه بوده است (Nozari et al., 2017). اجرای سیستم‌های زهکشی بسیار پرهزینه و زمان‌بر است و تجربیات ناموفق در این استان نشان داده که در برخی موارد حتی با صرف وقت و زمان، نتایج مطلوب به دست نیامده است. در صورتی که اگر سیستم زهکشی به درستی طراحی و اجرا شود، عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد (Shao et al., 2012; Ghumman et al., 2012). برای حل این مشکل، محققان مدل‌های مختلفی بسط داده‌اند. مدل HYDRUS یکی از مدل‌های پرکاربرد برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک است که توسط سیمونک و همکاران ارائه شد (Simunek et al., 1999).

مطالعات متعددی با استفاده از مدل HYDRUS انجام شده است که نشان دهنده قابلیت کاربرد آن در شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی است (Abbasi et al., 2011; Wang et al., 2003). در مطالعه‌ای که توسط لی و همکاران انجام شد از مدل HYDRUS برای بررسی حرکت جریان آب در یک مزرعه آزمایشی تحت کشت برنج استفاده کردند. این محققان به دقت قابل قبول این مدل اشاره کردند به طوری که نتایج به دست آمده از مزرعه با نتایج مدل مورد استفاده نزدیک به هم بود (Li et al., 2014). ناگلیک و همکاران نیز از مدل HYDRUS برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک تحت آبیاری قطره‌ای پرداختند و نتایج ایشان نشان داد که الگوی خیس‌شدگی در شرایط واقعی با نتایج به دست آمده توسط مدل همخوانی داشت. از این رو، این محققان دقت مدل HYDRUS را قابل قبول ارزیابی کردند

(Naglic et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر، حرکت آب شور در خاک توسط مدل HYDRUS شبیه‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که این مدل توانایی خوبی برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح داشت. براساس این نتایج، محدودیت‌هایی در حرکت آب در خاک پس از قطع جریان وجود داشت که با شبیه‌سازی جریان مشخص گردید (Chen et al., 2014). عبدالرشید و همکاران با استفاده از این مدل، به تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک در خاک‌های تحت کشت نخیلات پرداختند. با توجه به قابلیت حل معکوس در مدل HYDRUS، از داده‌های نفوذسنج استفاده کردند و نتایج نشان داد که این مدل ابزاری مناسب برای تخمین سریع خصوصیات هیدرولیکی خاک زیر درختان نخل است (Abdrashid et al., 2015). مطالعات مشابه روی گندم زمستانه و جذب آب توسط ریشه ریشه در خاک شور نیز انجام شده است (Zeng et al., 2021; El-Raki et al., 2018). در پژوهشی به بررسی اثر پارامترهای ورودی نرم‌افزار HYDRUS بر شبیه‌سازی همزمان حرکت آب در خاک و جذب آن توسط ریشه گیاه چغندررقت پرداختند. بدین منظور چغندررقت در سه لایسیمتر با بافت خاک یکسان کشت گردید و آبیاری براساس شرایط تعیین شده در آزمایش اعمال گردید. نتایج رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری و مشخصات زهاب نشان داد که در صورت اندازه‌گیری برخی پارامترهای فیزیکی خاک براساس مدل Rosetta در مدل HYDRUS می‌توان دقت این مدل را افزایش داد (رئوف، ۱۴۰۰). لطیفی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مدل HYDRUS به برآورد پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح خاک برای زهکش‌های حائل دشت قزوین پرداختند. این محققان از شاخص‌های آماری برای ارزیابی نتایج استفاده کردند. ایشان گزارش کردند که ضخامت آبخوان و تبخیر از جمله پارامترهایی بودند که در شبیه‌سازی بسیار موثر بودند. مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۸) از مدل HYDRUS برای تعیین عمق و فاصله زهکش‌ها در کشت دوم شالیزار استفاده کردند. بدین منظور، این محققان طرح تحقیقاتی در اراضی

سمت چپ و سمت راست تأمین می‌گردد. در شبکه آبیاری و زهکشی گمبوعه، عمدتاً گیاه گندم رقم چمران، در طی ماه‌های آبان تا اردیبهشت کشت می‌شود و آبیاری آن به روش نواری انجام می‌گردد. برای اجرای این پژوهش، سه مزرعه با فواصل زهکشی متفاوت انتخاب گردید. مشخصات این مزارع در جدول (۱) نشان داده شده است. سایر مشخصات مزارع تحت مطالعه شامل عمق تثبیت سطح ایستابی (۱۰۰ سانتی‌متر)، عمق لایه نفوذ ناپذیر (۶۰۰ سانتی‌متر)، عمق نصب لوله‌های زهکشی (۱۵۰ سانتی‌متر) و قطر لوله‌های زهکشی (۱۰۰ میلی‌متر) برای هر سه مزرعه یکسان بود.



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

جدول (۱): مشخصات مزارع مورد تحقیق

شماره مزرعه	مساحت (هکتار)	تعداد لترال	طول لترال (متر)	فاصل لترال (متر)
اول	۶/۴	۳	۴۱۷	۵۰
دوم	۹/۶	۳	۴۰۴	۷۰
سوم	۹/۸	۳	۳۷۲	۸۰

به منظور بررسی تراز سطح ایستابی در هر مزرعه، در هر ردیف بین دو خط زهکش، ۱۳ چاهک نصب و به‌طور کلی ۵۲ عدد چاهک حفر گردید. چاهک مشاهده‌ای بین هر دو زهکش در فواصل ۰/۳، ۰/۸، ۱/۵، ۲/۵ و ۱۵ متری و فاصله چاهک‌های زهکشی از ابتدا تا انتهای مزارع به ترتیب 1/4L، 2/4L، 3/4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش بود. شماتیک نصب چاهک‌های مشاهده‌ای در شکل (۲) نشان داده شده است.

شالیزاری در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی سازی انجام دادند. نتایج این محققان نشان داد که مدل HYDRUS نسبت به رطوبت حجمی اشباع دارای حساسیت زیاد بود. همچنین نتایج نشان داد که این مدل هم‌زمان با اعمال چند خروجی زهکش شبیه‌سازی مناسبی ارائه داد. براساس نتایج به دست آمده، این محققان بیان کردند که مدل HYDRUS جهت اعمال مدیریت آب در مزرعه، ارزیابی سیستم زهکشی و مدیریت در هنگام وقوع بارش‌های سنگین و سیلابی کاربرد داشت. مرور منابع نشان داد که گرچه مدل HYDRUS توانایی‌های بسیاری برای شبیه‌سازی جریان و انتقال املاح دارد؛ لیکن تاکنون پژوهش‌های کمتری در شرایط واقعی مزرعه روی این مدل انجام شده است. تجربیات اجرای سیستم‌های زهکشی اجرا شده در استان خوزستان و برنامه‌های آبی برای توسعه آن‌ها، لزوم شبیه‌سازی شرایط انتقال آب و املاح در سیستم‌های زهکشی را ضروری می‌سازد. لیکن تاکنون پژوهشی در این خصوص در استان خوزستان انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل HYDRUS در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در یکی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در شبکه آبیاری و زهکشی گمبوعه با مساحت حدود ۶۰۰۰ هکتار در ۳۰ کیلومتری غرب شهرستان اهواز انجام شد (شکل ۱). این محدوده واقع در طول جغرافیایی ۱۷° ۴۸' تا ۲۵° ۴۸' شرقی و عرض جغرافیایی ۲۰' ۳۱° تا ۲۸' ۳۱° شمالی است و براساس طبقه‌بندی دومارتن جزء اقلیم‌های نیمه‌خشک می‌باشد. منبع تأمین آب منطقه گمبوعه، رودخانه کرخه نور می‌باشد که این رودخانه از پشت سد انحرافی کرخه با دبی ۲۳ مترمکعب در ثانیه به وسیله کانال وصلیه تا محل آب-پخش حمیدیه به سمت اراضی طرح، جریان دارد. سپس آب مورد نیاز منطقه گمبوعه توسط دو رشته کانال اصلی

موجود از روش لوبرگ-مارکوات استفاده می‌شود. معادله در نظر گرفته شده بر حرکت آب بر پایه حل معادله ریچاردز است (رابطه ۱):

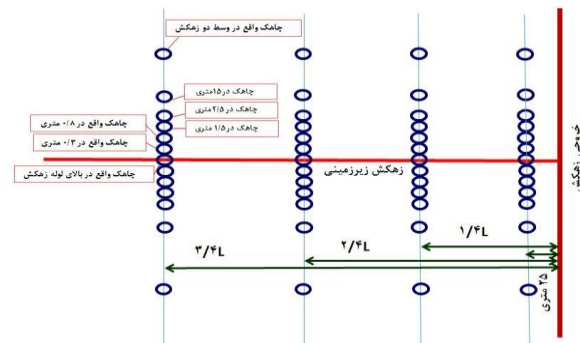
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[rK(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right]$$

در این رابطه، θ رطوبت حجمی آب خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، h پتانسیل فشاری آب (متر)، t زمان (روز)، r محور جریان در هر بعد، Z محور عمود بر محور جریان و $K(h)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک (متر بر روز) است. مدل تحلیلی مورد استفاده در این مدل، تابع ون‌گنوختن است که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت. این تابع در رابطه‌های زیر ارائه شده است:

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

$$k(h) = k_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^l)^m \right]^2 \quad (3)$$

که در این رابطه، $n = 1 - (1 - m)$ و $n > 1$ است. مقدار اولیه پارامترها بر اساس مدل Rosetta، که در مدل HYDRUS موجود است، به دست آمد. پارامترهای Se اشباع نسبی، θ_r رطوبت باقیمانده (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، θ_s رطوبت اشباع خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)، α عکس مقدار فشار در نقطه ورود هوا (یک بر سانتی‌متر)، n شاخص توزیع اندازه خلل و فرج و l پارامتر مربوط به اتصال خلل و فرج می‌باشد. کشت گندم به صورت آبی انجام می‌شود و در زمان کاشت آن، بارندگی رخ نداد. به همین دلیل، این شرایط به عنوان شرایط مرزی بالادست برای مدل در نظر گرفته شد. به دلیل عمق زیاد لایه نفوذناپذیر، شرایط مرزی پایین دست بدون جریان و عدم ایجاد محدودیت در زهکشی تعیین گردید. وجود لوله زهکش در طرفین، شرایط مرزی چپ و



شکل (۲): نقشه موقعیت چاهک‌های مشاهده‌ای در مزارع مورد مطالعه

در مزارع مورد تحقیق، پروفیل‌هایی برای لایه‌بندی خاک و انجام آزمایش‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک حفر گردید. مشخصات آب این مزارع در جداول (۲) نشان داده شده است. پس از آبیاری، اندازه‌گیری سطح آب در چاهک‌ها توسط یک عمق‌یاب الکتریکی اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. زهاب خروجی از زهکش‌ها نیز نمونه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه آب و خاک تعیین می‌گردید. همچنین جهت محاسبه هدایت هیدرولیکی خاک (K) در هر مزرعه، در دو نقطه، آزمایش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با روش چاهک انجام شد و مقدار ضریب زهکشی با توجه به دبی خروجی زهکش‌ها اندازه‌گیری گردید.

جدول (۲): برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

SAR	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	pH	EC
۳/۱۴	۰/۱	۸/۲۵	۳/۹۵	۵/۹	۴/۶	۱۰	۱/۷	۱/۲	۸/۹	۱/۵

مدل HYDRUS

مدل HYDRUS یک بسته نرم‌افزاری تحت ویندوز است که می‌تواند به صورت به صورت عددی به شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک بپردازد. در این مدل، برای حل عددی معادلات حاکم، از روش اجزای محدود خطی از نوع گالرکین و برای بهینه‌سازی پارامترهای

(۸)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

(۹)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2}$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. آماره‌های RMSE و NEMSE به ترتیب برای تعیین خطا و دقت مدل است. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. آماره NRMSE در چهار بازه‌ی ۰/۱-۰/۲، ۰/۲-۰/۳، ۰/۳-۰/۴ و ۰/۴-۰/۵ دسته‌بندی می‌شود. این بازه‌ها به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت عالی، خوب، متوسط و ضعیف هستند. آماره MBE برای سنجش بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی این مدل است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مقدار شبیه‌سازی شده بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل HYDRUS در برآورد عملکرد و بهره‌وری آب نیشکر عدد کوچکتری تعیین کرده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده کارایی مدل HYDRUS است. این دو آماره هر چه به یک نزدیک‌تر باشند بهتر است. آماره R^2 نشان دهنده قدرت مدل برای شبیه‌سازی تغییرات به وجود آمده در مقدار برداشت شده از مزرعه است. این آماره از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها است.

نتایج و بحث

نتایج تغییرات سطح ایستابی در طول زمان آزمایش برای مزارع اول تا سوم به ترتیب در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است. در هر مزرعه، تغییرات سطح ایستابی براساس فاصله از خروجی زهکش تعیین گردید.

راست نیز بدون جریان در نظر گرفته شدند. اطراف لوله‌ها زهکش نیز خروجی با شرایط مرزی زمانی متغیر جریان لحاظ گردید. رطوبت اولیه خاک نیز به عنوان شرط اولیه برای مدل مورد نظر در نظر گرفته شد. در این پژوهش، فرض گردید که در ابتدای دوره شبیه‌سازی، مقدار املاح موجود در آب در خاک وجود ندارد و در واقع مقدار املاح در خاک برابر با صفر است. بنابراین، شوری خاک در ابتدای دوره شبیه‌سازی اثری بر نتایج خروجی نداشت. معادله حاکم برای انتقال املاح در این مدل به صورت زیر است:

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = -\frac{\partial(v\theta C)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_e \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (۴)$$

که در این رابطه، C غلظت نمک‌ها در محلول آب خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، Z فاصله (متر)، v سرعت جریان (متر بر ثانیه) و θ رطوبت حجمی آب خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) است.

ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل، از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

(۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۶)$$

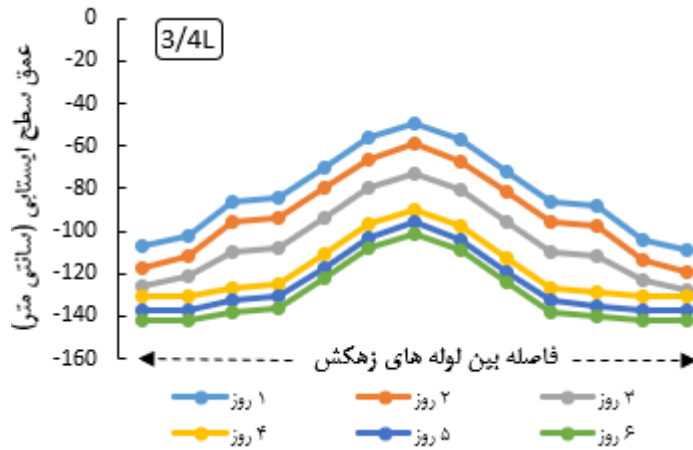
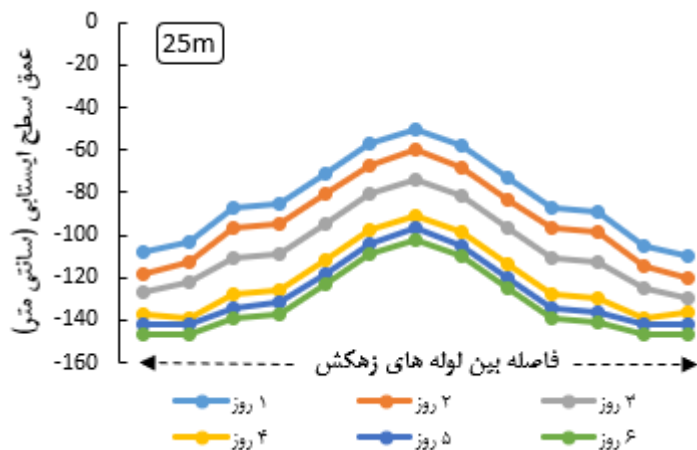
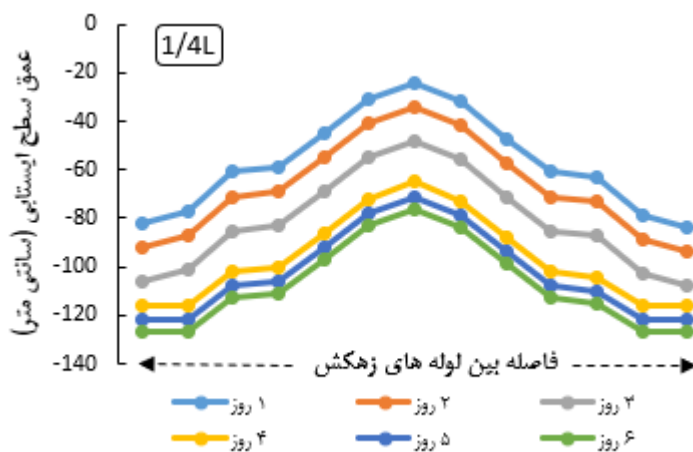
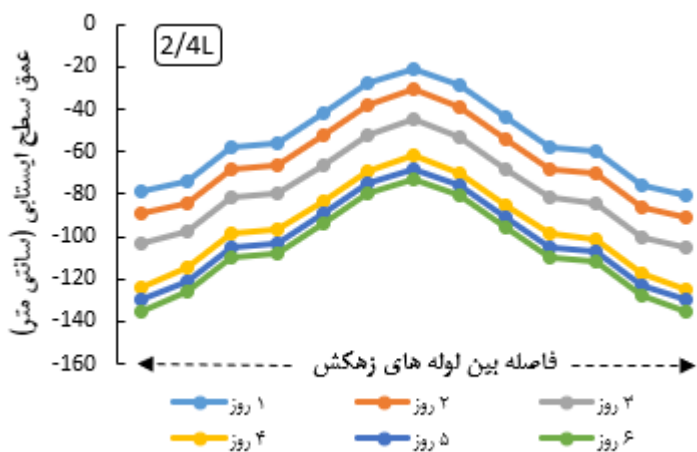
$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (۷)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$$

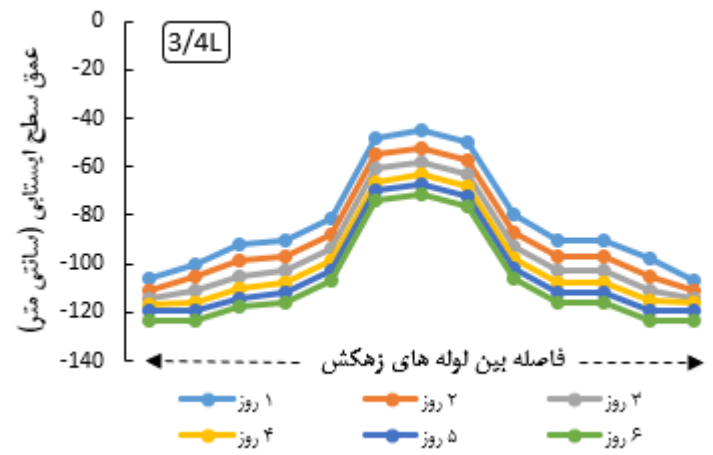
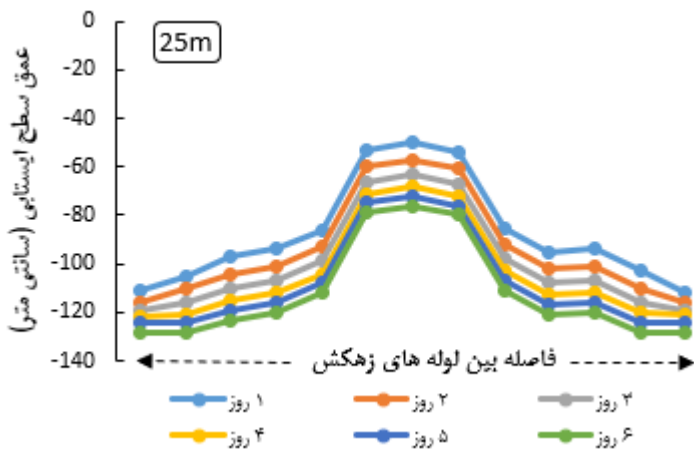
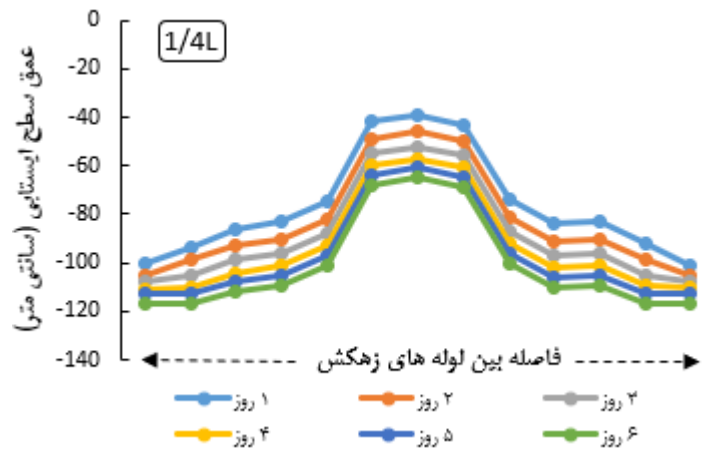
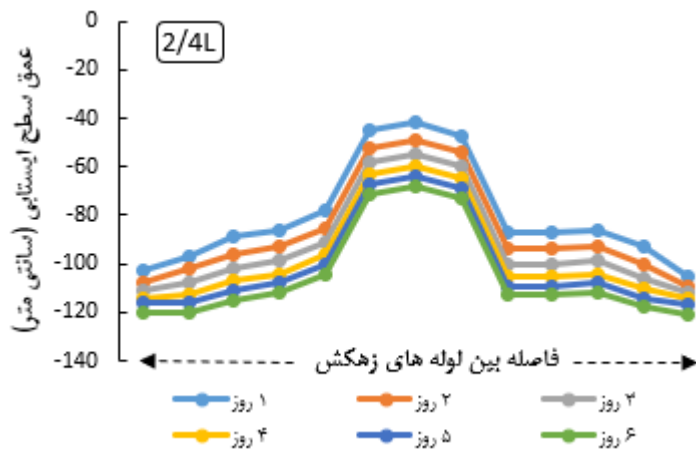


زهاب توسط کلکتور است. در واقع، نقش کلکتورها در زهکشی معمولاً نادیده گرفته می‌شود و در محاسبات و طراحی لحاظ نمی‌گردد. گرچه براساس نتایج این پژوهش، در مزارع اول تا سوم، کلکتور به ترتیب حدود ۱۵/۹، ۳/۴ و ۱۲/۲ درصد در زهکشی اثر داشت. لیکن با فاصله گرفتن از کلکتور، نقش آن کمرنگ‌تر گردید.

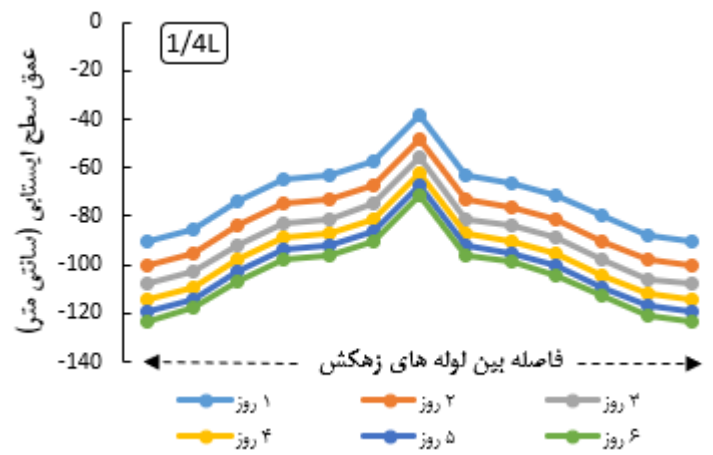
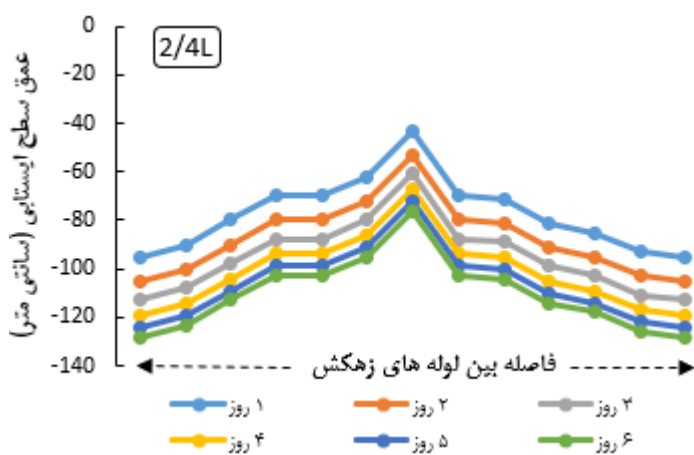
در روز ششم، سطح استابی بین دو زهکش تثبیت شد و تغییرات پس از آن بسیار اندک بود. تغییرات در روز اول و دوم برای هر سه مزرعه شدت بیشتری نسبت به روزهای دیگر داشت که امری طبیعی است. با کاهش فاصله از خروجی زهکش، نقش لوله‌های زهکشی در تغییرات سطح استابی اندکی کاهش یافت که علت آن، خروج قسمتی از

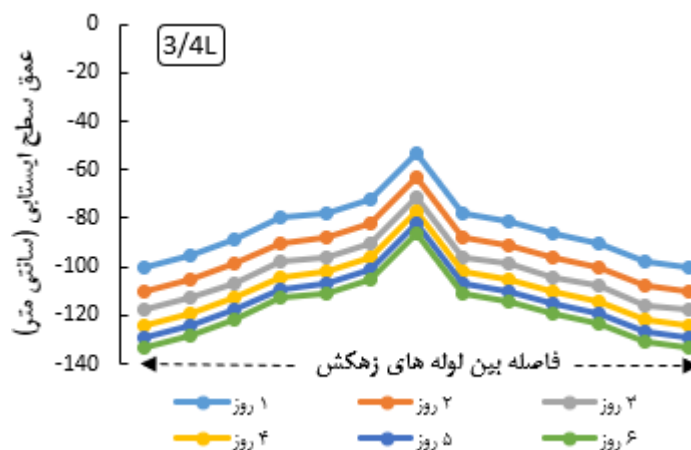
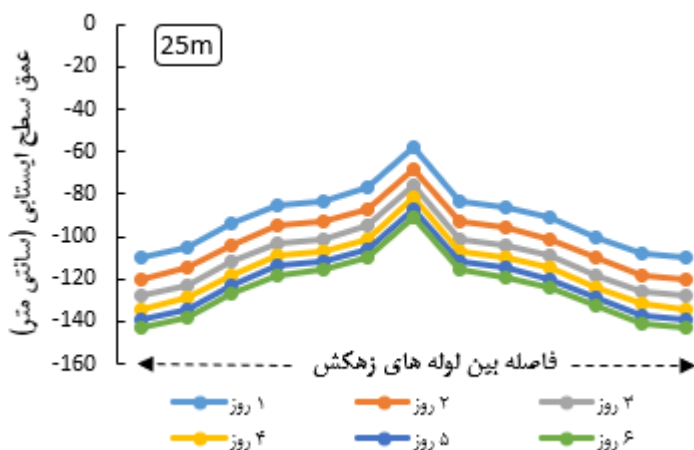


شکل (۳): تغییرات سطح استابی در مزرعه اول در فواصل 4L، 2/4L، 3/4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش



شکل (۴): تغییرات سطح ایستابی در مزرعه دوم در فواصل 4L، 2/4L، 3/4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش





شکل (۵): تغییرات سطح ایستابی در مزرعه سوم در فواصل ۲۵ متری از خروجی زهکش و 3/4L، 2/4L، 4L

در مزارع تحت مطالعه، سه آبیاری برای هر مزرعه انجام شد. در این سه آبیاری، داده‌برداری‌های سطح ایستابی و شوری زهاب تعیین گردیدند. با توجه به نتایج آبیاری‌های اول و دوم، مدل HYDRUS واسنجی شد. این عملیات برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک بود. نتایج به دست آمده از مرحله‌ی واسنجی در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج هیدرولیکی به تفکیک برای هر مزرعه در لایه خاک مورد نظر تعیین گردید. لیکن، نتایج دور لوله زهکش، برای هر سه مزرعه یکسان فرض شد. مقایسه‌ی آماری سطح ایستابی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با HYDRUS در جدول (۵) نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، مدل HYDRUS در برآورد سطح ایستابی در کلیه مزارع دچار خطای کم-برآوردی گردید ($MBE < 0$). مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۷) نیز به گرایش مدل HYDRUS نسبت به کم-برآوردی سطح ایستابی اشاره کرده‌اند. این نتایج در شکل-های (۶) تا (۸) نیز قابل مشاهده است. علت اختلاف این نتایج می‌تواند ناشی از درز و ترک‌های خاک، وجود جریان ترجیحی و ساده‌سازی حرکت آب در خاک در مدل HYDRUS باشد. این موارد توسط سایر محققان نیز اشاره شده است (Akay et al., 2008; Wang et al., 2011). لیکن، دقت مدل HYDRUS با کاهش فاصله از خروجی زهکش کاهش یافت به طوری که خطای مدل در هر سه مزرعه حدود ۲۳۲ درصد افزایش داشت. دقت مدل HYDRUS در هر سه مزرعه در فواصل ۲۵ متری از خروجی زهکش در محدوده‌ی خوب ($0.1 < NRMSE < 0.2$) قرار داشت در حالی که دقت این مدل در سایر فواصل در محدوده‌ی عالی ($0.0 < NRMSE < 0.1$) بود. کارایی و ضریب تبیین مدل HYDRUS در هر سه مزرعه مطلوب بود. این نتایج نشان داد که مدل مورد استفاده توانایی خوبی برای پیش-بینی تغییرات سطح ایستابی در حالت واقعی داشت. نتایج به دست آمده با گزارش سایر محققان از جمله مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۷) و فیلیپوی و همکاران مطابقت داشت (Filipovi et al., 2014). براساس شکل (۶) اختلاف نتایج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مزرعه اول، عمدتاً در نقاط دور از زهکش‌ها انجام شده است. به دلیل کم‌برآوردی پارامترهای هیدرولیکی مانند هدایت هیدرولیکی اشباع، احتمالاً مدل HYDRUS دچار خطای کم‌برآوردی شده است. این نتایج در دو فاصله‌ی 3/4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش بیشتر از دو فاصله دیگر بود. علت آن، نقش کلکتور در زهکشی سطح ایستابی است که مدل HYDRUS قابلیت شبیه‌سازی این پدیده را ندارد. نتایج مشابه در مزارع دوم (شکل ۷) و سوم (شکل ۸) نیز مشاهده شد. مقایسه‌ی کلیه نتایج در هر سه مزرعه نشان داد که فاصله‌ی لترال اثری بر نتایج در این سه مزرعه

در مزارع تحت مطالعه، سه آبیاری برای هر مزرعه انجام شد. در این سه آبیاری، داده‌برداری‌های سطح ایستابی و شوری زهاب تعیین گردیدند. با توجه به نتایج آبیاری‌های اول و دوم، مدل HYDRUS واسنجی شد. این عملیات برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک بود. نتایج به دست آمده از مرحله‌ی واسنجی در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج هیدرولیکی به تفکیک برای هر مزرعه در لایه خاک مورد نظر تعیین گردید. لیکن، نتایج دور لوله زهکش، برای هر سه مزرعه یکسان فرض شد. مقایسه‌ی آماری سطح ایستابی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با HYDRUS در جدول (۵) نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، مدل HYDRUS در برآورد سطح ایستابی در کلیه مزارع دچار خطای کم-برآوردی گردید ($MBE < 0$). مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۷) نیز به گرایش مدل HYDRUS نسبت به کم-برآوردی سطح ایستابی اشاره کرده‌اند. این نتایج در شکل-های (۶) تا (۸) نیز قابل مشاهده است. علت اختلاف این نتایج می‌تواند ناشی از درز و ترک‌های خاک، وجود جریان ترجیحی و ساده‌سازی حرکت آب در خاک در مدل HYDRUS باشد. این موارد توسط سایر محققان نیز اشاره شده است (Akay et al., 2008; Wang et al., 2011). لیکن، دقت مدل HYDRUS با کاهش فاصله از خروجی زهکش کاهش یافت به طوری که خطای مدل در هر سه مزرعه حدود ۲۳۲ درصد افزایش داشت. دقت مدل HYDRUS در هر سه مزرعه در فواصل ۲۵ متری از خروجی زهکش در محدوده‌ی خوب ($0.1 < NRMSE < 0.2$) قرار داشت در حالی که دقت این مدل در سایر فواصل در محدوده‌ی عالی ($0.0 < NRMSE < 0.1$) بود. کارایی و ضریب تبیین مدل HYDRUS در هر سه مزرعه مطلوب بود. این نتایج نشان داد که مدل مورد استفاده توانایی خوبی برای پیش-بینی تغییرات سطح ایستابی در حالت واقعی داشت. نتایج به دست آمده با گزارش سایر محققان از جمله مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۷) و فیلیپوی و همکاران مطابقت داشت (Filipovi et al., 2014). براساس شکل (۶) اختلاف نتایج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مزرعه اول، عمدتاً در نقاط دور از زهکش‌ها انجام شده است. به دلیل کم‌برآوردی پارامترهای هیدرولیکی مانند هدایت هیدرولیکی اشباع، احتمالاً مدل HYDRUS دچار خطای کم‌برآوردی شده است. این نتایج در دو فاصله‌ی 3/4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش بیشتر از دو فاصله دیگر بود. علت آن، نقش کلکتور در زهکشی سطح ایستابی است که مدل HYDRUS قابلیت شبیه‌سازی این پدیده را ندارد. نتایج مشابه در مزارع دوم (شکل ۷) و سوم (شکل ۸) نیز مشاهده شد. مقایسه‌ی کلیه نتایج در هر سه مزرعه نشان داد که فاصله‌ی لترال اثری بر نتایج در این سه مزرعه



نداشت. با توجه به اینکه فاصله لترال از ۵۰ تا ۸۰ متر از ایستایی نداشت. مزرعه اول تا سوم متغیر بود؛ لیکن اثری بر نتایج سطح

جدول (۳): نتایج واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک

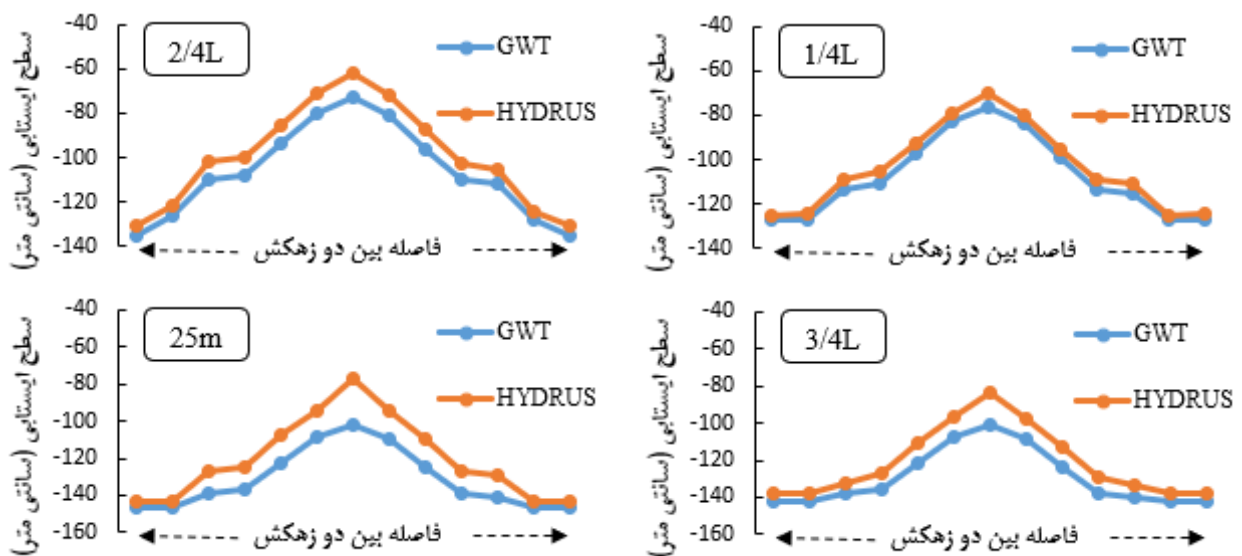
Ks (متر بر روز)	l	n	α (یک بر سانتی متر)	θ_s		θ_r	عمق لایه (سانتی - متر)
				(سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب)	(سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب)		
۱/۲	۰/۵	۲/۷۱	۰/۱۷۰	۰/۴۱	۰/۰۶۰		دور لوله زهکش
مزرعه اول							
۰/۱۰۰	۰/۵	۱/۴۱	۱/۲۰	۰/۴۰	۰/۰۶۷		۰ - ۲۵
۰/۴۷	۰/۵	۱/۱۰	۰/۵۰	۰/۳۵	۰/۰۷۰		۲۵ - ۵۰
۰/۵۰	۰/۵	۱/۰۹	۰/۵۰	۰/۳۲	۰/۰۷۰		۵۰ - ۷۰
۰/۹۰	۰/۵	۱/۳۵	۱/۲۰	۰/۴۰	۰/۰۶۵		۷۰ - ۱۰۰
۰/۹۰	۰/۵	۱/۳۰	۱/۲۰	۰/۴۰	۰/۰۶۱		۱۰۰ - ۱۵۰
مزرعه دوم							
۰/۳۲	۰/۵	۱/۳۱	۱/۸۰	۰/۴۱	۰/۰۹۵		۰ - ۲۵
۰/۳۰	۰/۵	۱/۲۲	۱/۸۰	۰/۴۰	۰/۰۹۵		۲۵ - ۵۰
۰/۳۰	۰/۵	۱/۲۸	۱/۸۰	۰/۴۰	۰/۰۹۵		۵۰ - ۷۰
۰/۳۰	۰/۵	۱/۲۲	۱/۸۰	۰/۳۸	۰/۰۹۵		۷۰ - ۱۰۰
۰/۹۰	۰/۵	۱/۱۵	۱/۲۰	۰/۴۴	۰/۰۶۰		۱۰۰ - ۱۵۰
مزرعه سوم							
۰/۳۰	۰/۵	۱/۲۵	۱/۷۰	۰/۴۵	۰/۰۹۰		۰ - ۲۵
۰/۵۰	۰/۵	۱/۲۰	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۰۷۵		۲۵ - ۵۰
۰/۵۰	۰/۵	۱/۲۰	۰/۵۰	۰/۳۵	۰/۰۷۰		۵۰ - ۷۰
۰/۲۵	۰/۵	۱/۲۵	۱/۷۰	۰/۴۳	۰/۰۹۰		۷۰ - ۱۰۰
۰/۲۵	۰/۵	۱/۲۵	۱/۵۵	۰/۴۰	۰/۰۹۰		۱۰۰ - ۱۵۰

جدول (۴): نتایج واسنجی پارامترهای انتقال املاح در خاک

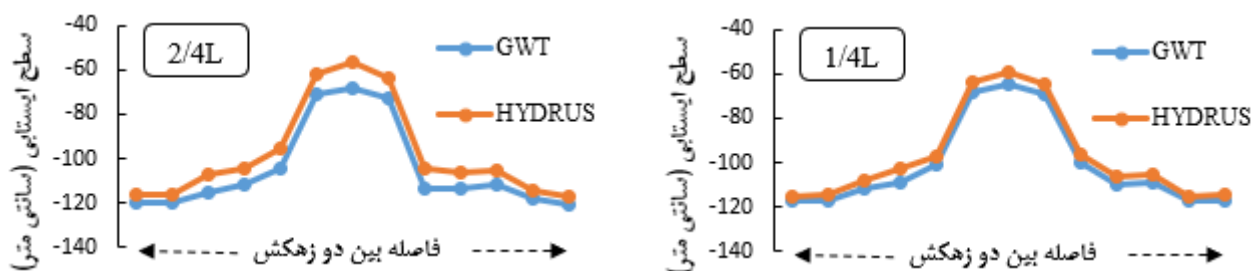
نام مزرعه	پخشیدگی طولی (متر)	پخشیدگی عرضی (متر)
اول	۰/۶۰	۰/۱۵
دوم	۰/۵۵	۰/۱۰
سوم	۰/۴۵	۰/۱۰

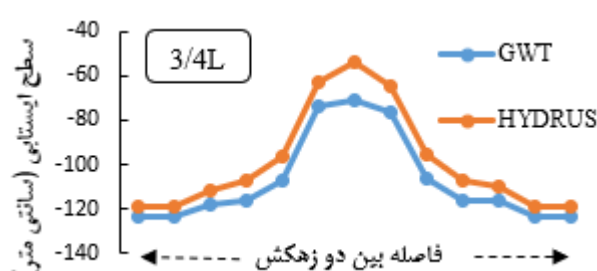
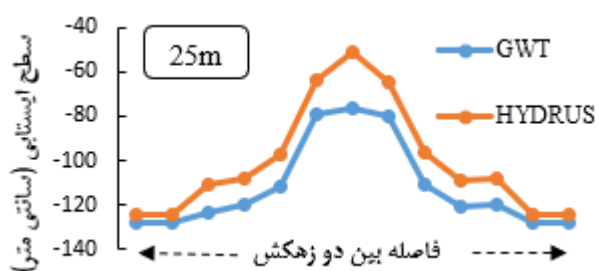
جدول (۵): نتایج مقایسه آماری نتایج سطح ایستابی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS

مزرعه	موقعیت زهکش	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R ²
اول	1/4L	-۳/۱	۳/۷	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۷
	2/4L	-۶/۰	۷/۰	۰/۰۷	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۹
	3/4L	-۷/۰	۸/۴	۰/۰۶	۰/۶۴	۰/۹۹	۰/۹۹
	25m	-۹/۹	۱۲/۳	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۹۹	۰/۹۸
دوم	1/4L	-۳/۲	۳/۷	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹
	2/4L	-۶/۰	۷/۰	۰/۰۷	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۹۹
	3/4L	-۷/۲	۸/۷	۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	25m	-۹/۹	۱۲/۳	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۹۹	۰/۹۷
سوم	1/4L	-۳/۱	۳/۷	۰/۰۳	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۹
	2/4L	-۶/۰	-۷/۰	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۹۹	۰/۹۹
	3/4L	-۷/۱	۸/۷	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۹۹	۰/۹۹
	25m	-۱۰/۰	۱۲/۳	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۹۹

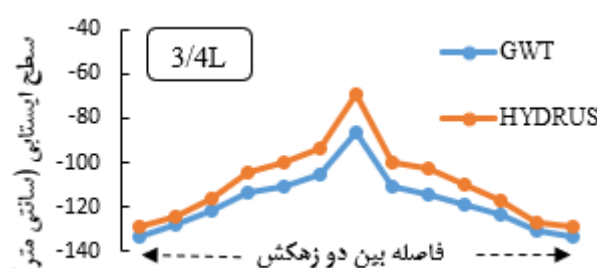
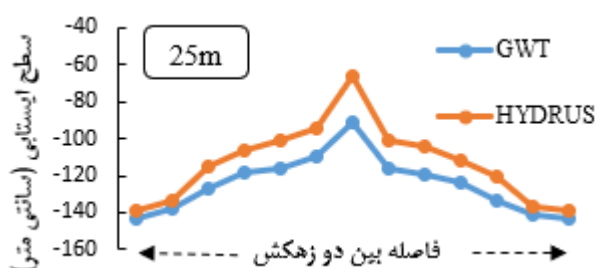
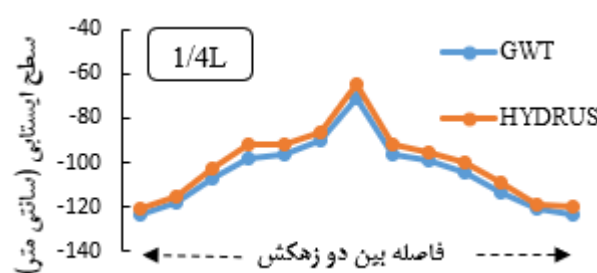
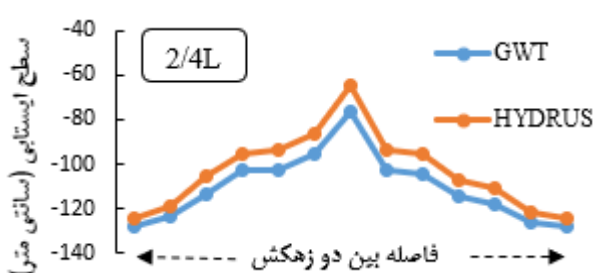


شکل (۶): مقایسه سطح ایستابی مشاهده‌ای (GWT) و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS در مزرعه اول در فواصل 3/4L، 2/4L، 4L و ۲۵ متری از خروجی زهکش





شکل (۷): مقایسه سطح ایستابی مشاهده‌ای (GWT) و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS در مزرعه دوم در فواصل 25m، 3/4L، 2/4L، 4L متری از خروجی زهکش



شکل (۸): مقایسه سطح ایستابی مشاهده‌ای (GWT) و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS در مزرعه سوم در فواصل 25m، 3/4L، 2/4L، 4L متری از خروجی زهکش

مزرعه نخست می‌تواند به دو دلیل فاصله اندک لترال‌ها در مزرعه نخست یا شوری بیشتر خاک در اعماق ۱۵۰-۷۰ سانتی‌متری نسبت به دو مزرعه دیگر باشد. برای اثبات این دو فرضیه، نتایج شکل‌های (۵) تا (۹) مورد بررسی قرار گرفت. براساس شکل‌های (۵) تا (۸)، تغییر فاصله لترال‌ها بر سطح ایستابی اثری نداشت. این موضوع قبلاً در جدول (۶) نیز به اثبات رسید. لیکن براساس شکل (۹)، در مزرعه اول (a)، مدل HYDRUS در برآورد شوری زهاب در کل دوره شبیه‌سازی دچار خطای کم‌برآوردی شد که احتمالاً به دلیل عدم در نظر گرفتن شوری خاک در ابتدای شبیه‌سازی، این خطا به وجود آمده است. لیکن در دو مزرعه دوم و سوم، فقط در ابتدای شبیه‌سازی خطای کم‌برآوردی مشاهده گردید. در واقع، در نمونه‌های چهارم به بعد، که نشان دهنده‌ی گذشت چهار روز پس از آبیاری است، خطای کم‌برآوردی دیده نشد. در این زمان، شوری زهاب و شوری آب آبیاری نزدیک به هم بوده و

مقایسه‌ی نتایج شوری زهاب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در جدول (۶) و شکل (۹) نشان داده شده است. براساس آماره‌ی MBE، مدل HYDRUS در شبیه‌سازی مقدار شوری زهاب در هر سه مزرعه دچار خطای کم‌برآوردی گردید. علت آن می‌توان خطای شبیه‌سازی هیدرولیکی (سطح ایستابی) باشد. زیرا این مدل در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک نیز دچار خطای کم‌برآوردی شد. براساس آماره‌ی NRMSE، دقت مدل HYDRUS در دو مزرعه‌ی دوم و سوم در محدوده‌ی عالی ($0.0 < NRMSE < 0.1$) و در مزرعه اول در محدوده‌ی خوب ($0.1 < NRMSE < 0.2$) قرار داشت. همچنین، خطای مدل HYDRUS در برآورد شوری، در مزرعه نخست نسبت به دو مزرعه دوم و سوم به ترتیب ۷ و ۶ درصد بیشتر بود. گرچه در حالت کلی، خطای به دست آمده برای هر سه مزرعه قابل قبول بود. علت افزایش خطا و کاهش دقت این مدل در



دقت مناسب این مدل در شبیه‌سازی سطح ایستابی، با نزدیک شدن به خروجی زهکش، از دقت آن کاسته شد. علت آن، عدم در نظر گرفتن نقش کلکتور در زهکشی در مدل HYDRUS بود. همچنین، عدم در نظر گرفتن شوری خاک در ابتدای شبیه‌سازی، سبب شد تا خطای برآورد شوری در سه روز نخست در هر سه مزرعه اندکی افزایش یابد. لیکن در انتهای شبیه‌سازی، خطای محاسبه‌ی شوری در هر سه مزرعه کمتر از ۷ درصد به دست آمد. بررسی نقش فاصله لترال‌ها در مدل HYDRUS نشان داد که این پارامتر اثری بر تغییرات خطای این مدل نداشت. با توجه به کیله نتایج، می‌توان به دقت مدل HYDRUS در برآورد سطح ایستابی و شوری در مزارع نیشکر اعتماد کرد؛ گرچه توجه به موقعیت سطح ایستابی نسبت به خروجی زهکش نیز اهمیت دارد.

اکثر املاح خاک در ابتدای شبیه‌سازی از خاک خارج شده است. با توجه به این نتایج، خطای شبیه‌سازی شوری زهاب در سه روز اول در مزارع اول تا سوم به ترتیب ۱۵/۶، ۹/۱ و ۱۰/۷ درصد بود. بنابراین، وجود شوری بیشتر در ابتدای شبیه‌سازی در مزرعه اول، سبب افزایش خطای بیشتر مدل گردید و فرض در نظر گرفته شده صحیح است. متوسط خطای شبیه‌سازی شوری زهاب از روز چهارم به بعد در این سه مزرعه به ترتیب ۷/۰، ۳/۷ و ۰/۳ درصد به دست آمد که نشان دهنده‌ی کاهش خطای مدل به دلیل کاهش اثرات شوری اولیه خاک بر شوری زهاب است.

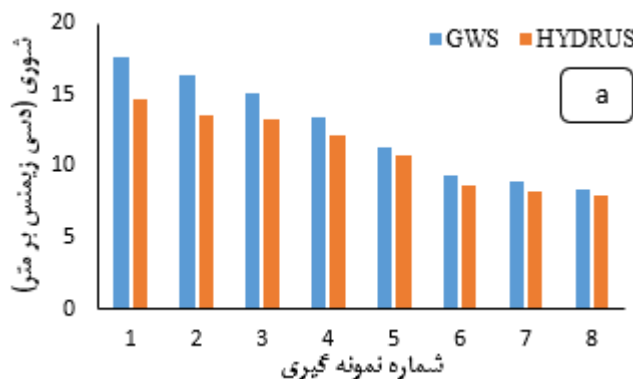
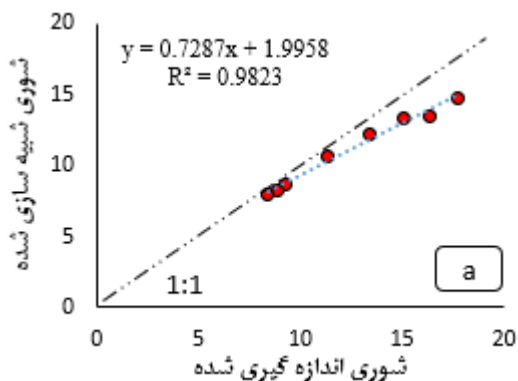
جدول (۶): نتایج مقایسه آماری نتایج شوری زهاب مشاهده‌ای و

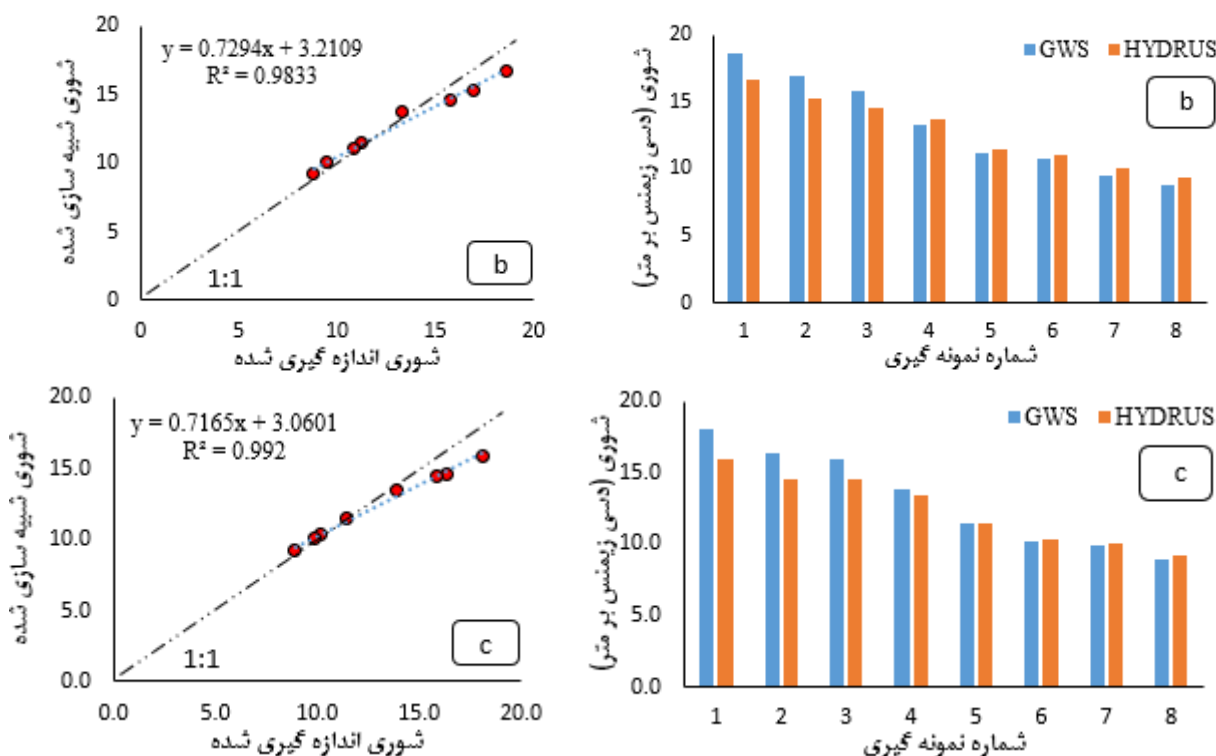
شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS

مزرعه	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d
اول	-۱/۴	۱/۷	۰/۱۳	۰/۷۴	۰/۹۹
دوم	-۰/۳۳	۱/۰	۰/۰۷	۰/۹۰	۰/۹۹
سوم	-۰/۶۵	۱/۱	۰/۰۸	۰/۸۷	۰/۹۹

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل HYDRUS در شبیه‌سازی سطح ایستابی و شوری زهاب در منطقه گمبوعه استان خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد که این مدل در برآورد دو پارامتر سطح ایستابی و شوری زهاب دچار خطای کم‌برآوردی گردید ($MBE < 0$) ولی خطای محاسبه‌ی هر دو پارامتر قابل قبول بود. همچنین، دقت مدل HYDRUS در شبیه‌سازی سطح ایستابی در هر سه مزرعه مورد مطالعه در دسته‌ی عالی ($0 < NRMSE < 0.1$) قرار داشت. لیکن دقت این مدل در برآورد شوری زهاب در مزرعه نخست اندکی کاهش یافت و در دسته‌ی خوب ($0.1 < NRMSE < 0.2$) قرار گرفت. علی‌رغم





شکل (۹): مقایسه شوری زهاب مشاهده‌ای (GWS) و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS در مزارع اول (a)، دوم (b) و سوم (c)

پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: WI SCU. ۹۸.۲۸۰) تشکر و قدردانی می‌گردد.
"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

سپاسگزاری

این مقاله از رساله دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت

منابع

- رنوف، م.، ۱۴۰۰. تاثیر پارامترهای ورودی نرم افزار Hydrus 3D روی شبیه سازی همزمان حرکت آب و جذب ریشه چغندرقد، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۴۶: ۳۷۶-۳۵۸.
- لطیفی، م.، سلطانی، م.، رضانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۱. بررسی اثر تبخیر بر سطح ایستابی و ضریب زهکشی با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D (مطالعه موردی: زهکش حائل دشت قزوین)، هیدروژئولوژی، ۶ (۲): ۶۷-۷۸.
- مختاری مطلق، پ.، شاهنظری، ع.، نوری امامزاده‌ئی، م. ر. ۱۳۹۸. مدیریت رطوبت با مدل HYDRUS 2D/3D برای تعیین عمق و فاصله زهکش‌ها در کشت دوم شالیزار، آبیاری و زهکشی، ۴ (۱۳): ۹۷۲-۹۵۹.
- Abbasi, F., Jacques, D., Simunek, J., Feyen, J., and M.Th. van Genuchten. 2003. Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: Heterogeneous soil. American Society of Association Executives, 46(4): 1097-1111.
- AbdRashid, N.S., Askari, M., Tanaka, T., Simunek, J. and van Genuchten, M.Th. 2015. Inverse estimation of soil hydraulic properties under oil palm trees. Geoderma: 241-242: 306-312.
- Akay, O., Fox, G.A., and J. Simunek. 2008. Numerical simulation of flow dynamics during macropores - subsurface drain interactions using Hydrus. Vadose Zone. 7 (3), 909 - 918.
- Chen, M., Willgoose, G. R and Saco, P.M. 2014. Spatial prediction of temporal soil moisture dynamics using hydrus-1D. Hydrology Pricess. 28:171-185.



- El-Raki, S., Ezzahr, J., Merlin, O., Amazirh, A., Ait Hssaine, B., Kharou, M.H., Hkabba, 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.
- Filipovi, V., Kochem Mallmann, F. J., Coquet, Y., and J. Simunek. 2014. Numerical simulation of water flow in tile and mole drainage systems *Agricultural Water Management* 146: 105 –114.
- Ghumman, A.R., Y.M. Ghazaw, and H.N. Hashmi. 2012. Environmental and socio - economic impacts of pipe drainage in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184:1671 –1681. 12.
- Li, Y., Simunek, J., Jing, L., Zhang, Zh and Lixiao, Ni. 2014. Evaluation of water movement and water losses in a direct-seeded-rice field experiment using hydrus-1D. *Agriculture water management*. 142: 38-46.
- Naglic, B., Kechavarzi, C., Coulon, F and Pinater, M. 2014. Numerical investigation of the influenced of texture, surface drip emitter discharge rate and initial soil moisture condition on wetting pattern size. *Irrigation Science*. DOI: 10.1007/s00271-014-0439-z
- Nozari, H., S. Azadi, and A. Zali. 2017. Experimental study of the temporal variation of drain water salinity at different drain depths and spacing in the presence of saline groundwater. *Sustainable Water Resources Management*. 10.1007/s40899 -017 -0182 -8.
- Shao, X.H., M.M. Hou, L.H. Chen, T.T. Chang, and W.N. Wang. 2012. Evaluation of subsurface drainage design based on projection pursuit. *Energy Procedia*. 16:747 –752.
- Simunek, J., Senja, M., and M.Th., Van Ghenuchten. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media, version 2.0, IGWMC-TPS-70, Int. Groundwater Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Co. 251 pp.
- Wang, Y., Zhang, B., Lin, L., and H. Zepp. 2011. Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140 (3–4), 441–453.
- Wang, Y., Zhang, B., Lin, L., and H. Zepp. 2011. Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140 (3 –4), 441 –453.
- 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.