

## توانایی مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک و زه‌آب تحت مدیریت آبیاری و کیفیت آب

علی جوادی<sup>۱</sup>، بهروز مصطفی‌زاده‌فرد<sup>۲</sup>، محمد شایان‌نژاد<sup>۳</sup> و محمدرضا مصدقی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان و ۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

نفوذ آب به خاک و زه‌آب دو مقوله مهم در بخش کشاورزی می‌باشند. هدف این پژوهش بررسی توانایی مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک و زه‌آب تحت مدیریت آبیاری و کیفیت آب بود. این مطالعه شامل سه مجموعه ۲۴ تایی ستون خاک و طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. هر مجموعه دارای شش تیمار که شامل سه تیمار کیفیت آب آبیاری در چهار تکرار با دو سطح میزان آب آبیاری شامل آبیاری کامل و آبیاری با تخلیه ۳۰ درصد رطوبت خاک (کم-آبیاری) بودند. با وارد کردن داده‌های نفوذ تجمعی و زه‌آب به مدل HYDRUS-1D، پارامترهای هیدرولیکی خاک با حل معکوس بدست آمد. نتایج نشان داد مدل با دقت بالایی نفوذ آب به خاک و زه‌آب را شبیه‌سازی می‌کند. بنابراین روش حل معکوس می‌تواند به عنوان یک روش نسبتاً سریع و ساده در برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک، با استفاده از داده‌های نفوذ و زه‌آب باشد.

واژه‌های کلیدی: نفوذ آب به خاک، پارامترهای هیدرولیکی، حل معکوس.

### مقدمه

شوری و سدیمی بودن دو نگرانی عمده کیفیت آب آبیاری و خاک در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد (Ayars and Tanji, 1999). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به طور اساسی آب آبیاری مناسب برای کشاورزی محدود است و آب زیرزمینی منبع اصلی آبیاری است (Jalali and Merrikhpour, 2008). آبشویی مواد شیمیایی از خاک و انتقال آنها به آبهای زیر زمینی باعث آلودگی منابع آبی می‌شود. همچنین آبشویی کودها و انتقال آنها به خارج از منطقه ریشه باعث کاهش بازده کودها خواهد شد. بنابراین برآورد مقدار کمی انتقال آب در خاک در بسیاری موارد مهم است. متأسفانه برآورد کمی نفوذ آب به خاک و زه‌آب در مزارع به دلیل وقت‌گیر و پرهزینه بودن مشکل می‌باشد. شیرانی و همکاران (۱۳۹۰) برای شبیه‌سازی حرکت برومید در ستون‌های دست نخورده خاک از مدل HYDRUS استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل HYDRUS پیش-بینی خوبی از غلظت برومید در زه‌آب را می‌دهد. تحلیل حساسیت مدل بیشترین حساسیت را به تغییرات رطوبت و کمترین حساسیت را مربوط به ضریب پخشیدگی برومید نشان داد. Goncalves و همکاران (۲۰۰۶) از مدل HYDRUS برای ارزیابی خطرات شوری و سدیمی شدن خاک در سه لایسیمتر که با کیفیت‌های مختلف آب آبیاری می‌شدند استفاده نمودند. شوری آب آبیاری (EC) بین ۰/۴ تا ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر و نسبت جذبی سدیم (SAR) بین ۱ تا ۶ متغیر بود. نتایج نشان داد که مدل با موفقیت مقادیر رطوبت، شوری و غلظت هر یک از کاتیون‌های محلول، نسبت جذبی سدیم و درصد سدیم تبادلی را پیش‌بینی می‌نماید. Skaggs و همکاران (۲۰۰۴) برداشت آب توسط ریشه و شوری آب زهکش حاصل از آزمایشات لایسیمتری تحت کشت علوفه که با آب‌های شور آبیاری شده بودند را با نتایج شبیه‌سازی توسط مدل HYDRUS مقایسه نمودند. آن‌ها گزارش نمودند که همبستگی خوبی بین نتایج مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده در دامنه وسیعی از شرایط آزمایشی بدست آمد. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل بسیاری از ویژگی‌های جذب آب توسط ریشه در شرایط تنش را پیش‌بینی نموده و لذا می‌تواند در طراحی و تحلیل استفاده مجدد از آب شور زهکش مورد استفاده مفید قرار گیرد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی قابلیت مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک و زه‌آب تحت مدیریت آبیاری و کیفیت آب بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه شامل سه مجموعه ۲۴ تایی ستون خاک و طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. مجموعه‌ها شامل مجموعه یک، دو و سه بود. پس از انجام اولین، پنجمین و دهمین آبیاری برای مجموعه‌های ۲۴ تایی یک، دو و سه آزمایش نفوذپذیری انجام شد. هر مجموعه دارای شش تیمار که شامل سه تیمار کیفیت آب آبیاری در چهار تکرار با دو سطح میزان آب آبیاری شامل آبیاری کامل و آبیاری با تخلیه ۳۰ درصد رطوبت خاک (کم آبیاری) بودند (جدول ۱). خاک مورد آزمایش دارای بافت لوم‌شنی بود که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های آب آبیاری و نوع آبیاری ستون‌های آزمایشی تیمارهای مورد مطالعه

مدیریت آبیاری	کیفیت آب آبیاری		تیمار
	SAR(meq.L <sup>-1</sup> ) <sup>-0.5</sup>	EC (dS/m)	
تخلیه ۳۰ درصد (کم آبیاری)	۰/۷۷	۰/۶	۱ شور و سدیمی کم
تخلیه ۳۰ درصد (کم آبیاری)	۱۱/۳۰	۳	۲ شور و سدیمی متوسط
تخلیه ۳۰ درصد (کم آبیاری)	۲۱/۳۸	۶	۳ شور و سدیمی زیاد
کامل	۰/۷۷	۰/۶	۴ شور و سدیمی کم
کامل	۱۱/۳۰	۳	۵ شور و سدیمی متوسط
کامل	۲۱/۳۸	۶	۶ شور و سدیمی زیاد

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

مقدار	ویژگی خاک
۱۵	رس (درصد)
۳۰	سیلت (درصد)
۵۵	شن (درصد)
۰/۷۲	هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (dS/m)
۰/۶۵	نسبت جذب سدیم در عصاره اشباع ((meq.L <sup>-1</sup> ) <sup>-0.5</sup> )
۷/۳۷	pH در عصاره اشباع

تهیه ستون‌های خاک

ستون‌ها از جنس لوله پلیکا به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و قطر ۲۵ سانتی‌متر بود. انتهای هر ستون خاک توسط یک توری و یک پارچه ضخیم پوشانده شده بود تا از جابجایی خاک و خروج ذرات ریز خاک جلوگیری شود. ستون‌ها تا عمق ۴۰ سانتی‌متر و با خاکی با چگالی ظاهری (طبیعی) ۱/۵۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب با ویژگی‌های ارائه شده در جدول ۲ پر شدند. پس از پر کردن ستون‌ها از خاک با چگالی ظاهری مورد نظر، ستون‌ها از پایین اشباع شدند. سطح ستون‌ها به مدت ۴۸ با پلاستیک پوشانده شد و پس از ۴۸ ساعت وزن ستون‌ها برای تعیین درصد رطوبت زراعی اندازه‌گیری شد.

آبیاری

از سه حالت کیفیت آب آبیاری شامل آب شور و سدیمی کم، شور و سدیمی متوسط و شور و سدیمی زیاد استفاده شد. سه کیفیت آب آبیاری با افزودن مقدار مورد نیاز دو نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم به آب مقطر ساخته شدند. در هر آبیاری رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی رسانده می‌شد. دور آبیاری برای آبیاری کامل به صورت روزانه بود و مقدار آب آبیاری بر اساس میزان تخلیه روزانه رطوبت خاک نسبت به رطوبت ظرفیت زراعی تعیین می‌شد. دور آبیاری برای آبیاری با

تخلیه رطوبتی خاک برابر ۳۰ درصد بر اساس میزان تخلیه ۳۰ درصد رطوبت خاک نسبت به رطوبت ظرفیت زراعی محاسبه می‌گردد.

آزمایش‌های نفوذپذیری

پس از انجام اولین، پنجمین و دهمین آبیاری برای مجموعه‌های ۲۴ تایی یک، دو و سه آزمایش نفوذپذیری انجام شد. زمان انجام آزمایش نفوذپذیری برای مجموعه‌ها در حالت ۳۰ درصد تخلیه رطوبت خاک انجام شد. به عنوان مثال در مجموعه دو، پس از اینکه پنجمین آبیاری برای تیمارهای کم‌آبیاری انجام شد، آبیاری تمامی تیمارها قطع می‌شد و زمانی که رطوبت خاک به تخلیه ۳۰ درصد می‌رسید، آزمایش نفوذپذیری انجام می‌شد. آزمایش نفوذپذیری با بار آبی ثابت پنج سانتی-متر برای هر یک از سه مجموعه یک، دو و سه به ترتیب برای زمان‌های ۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۴۰ دقیقه با استفاده از دستگاه ستون ماریوت انجام می‌شد. در حین انجام آزمایش نفوذپذیری، زه‌آب ستون‌های خاک نیز جمع‌آوری و حجم آنها تعیین می‌شد.

واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک در مدل آزمایشگاهی با مدل HYDRUS-1D

در این پژوهش برای مدل‌سازی یک‌بعدی فرآیند نفوذ از مدل HYDRUS-1D نسخه ۴/۱۶ استفاده گردید. در ابتدای فرآیند واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک نیاز به انتخاب تکرار برتر هر تیمار بود. در نتیجه برای بررسی اعتبار هر آزمایش و نیز تعیین بهترین تکرار از آماره‌ی آلفای کرونباخ استفاده گردید (Ho, 2006). به منظور تعیین بهترین تکرار آزمایش با این روش، مقدار آماره آلفا کرونباخ در صورت حذف هر یک از تکرارها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. بدین ترتیب، تکراری که با حذف آن، مقدار این آماره کاهش بیشتری یافت، به عنوان بهترین تکرار انتخاب شد. پس از انتخاب تکرار برتر هر تیمار از مدل هیدرولیکی ون‌گنوختن-معلم برای واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک و شبیه‌سازی نفوذ در شرایط مختلف استفاده شد. برای واسنجی مدل از داده‌های نفوذ تجمعی و زه‌آب استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی شبیه‌سازی عددی انجام گرفته از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای نسبی مطلق (AE) استفاده گردید (جوادی و همکاران، ۱۳۹۳):

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

$$AE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - P_i|}{O_i} \quad (2)$$

در روابط فوق،  $P_i$  مقدار شبیه‌سازی شده،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده است. مقادیر آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار آنها به صفر نزدیک شود. آماره خطای نسبی مطلق (AE) هر چه کوچک‌تر باشد نشان‌دهنده صحت شبیه‌سازی داده‌ها است.

## نتایج و بحث

نتایج مقایسه آماری بین داده‌های نفوذ تجمعی و زه‌آب شبیه‌سازی شده به روش حل معکوس و داده‌های اندازه‌گیری شده از طریق ستون‌های خاک نشان داد که تخمین هم‌زمان تمام پارامترهای معادله ون‌گنوختن-معلم احتمال ناپایداری در حل معکوس را افزایش می‌دهد و مدل به پاسخ منحصر به فردی نمی‌رسد. مشابه نتایج سایر پژوهشگران، واسنجی مدل هیدرولیکی ون‌گنوختن-معلم با استفاده مدل HYDRUS نشان داد که دو پارامتر پارامتر شکل (L) و رطوبت باقیمانده ( $\theta_r$ ) کمترین تاثیر را بر دقت واسنجی می‌گذارد (Simunek et al, 1998; Hopmans et al, 2002 and Mashayekhi et al, 2016). بنابراین با ثابت نگه داشتن مقادیر پارامتر شکل ( $L=0.5$ ) و رطوبت باقیمانده ( $\theta_r=0.0459$ )، از چهار پارامتر رطوبت اشباع خاک ( $\theta_s$ )، هدایت هیدرولیکی اشباع ( $K_s$ ) و پارامترهای شکل ( $\alpha$  و  $n$ ) برای واسنجی مدل هیدرولیکی استفاده شد. در جداول ۳ تا ۵

واسنجی پارامترهای هیدرولیکی و گنوختن-معلم با استفاده مدل HYDRUS برای سه مجموعه ذکر شده است. همان طور که در جداول مشاهده می شود مدل HYDRUS با واسنجی پارامترهای هیدرولیکی توانست بخوبی و با دقت بالا مقادیر نفوذ و زه-آب را شبیه سازی نماید. همچنین نتایج نشان می دهد که مدل در ابتدا و انتهای فصل آبیاری نسبت به اواسط فصل آبیاری توانسته شبیه سازی را با دقت بهتری انجام دهد. بررسی دقت مدل HYDRUS در یک مدیریت مشخص آبیاری و کیفیت های مختلف آب نشان داد که در هر دو مدیریت آبیاری با بدتر شدن کیفیت آب آبیاری دقت مدل کاهش می یابد. دلیل این کاهش دقت برآورد، بالا بودن میزان نفوذ و زه آب در کیفیت های بدتر آب آبیاری و در نتیجه افزایش خطای برآورد بود. در یک کیفیت مشخص آبیاری و مدیریت مختلف آبیاری نتایج نشان داد که دقت برآورد مدل HYDRUS روند مشخصی نداشت.

جدول ۳- واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک مجموعه یک

مقدار برای زه آب		مقدار خطا برای نفوذ		پارامترهای هیدرولیکی و گنوختن-معلم				تیمار
RMSE (cm)	AE (%)	RMSE (cm)	AE (%)	$K_s$ (min.cm <sup>-1</sup> )	n (-)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$\theta_s$ (-)	
۰/۱۶	۲/۳۹	۰/۲۶	۴/۳۶	۰/۱۰۸۱	۲/۶۸	۰/۰۱۹۴۷	۰/۱۹۹۱	کم آبیاری با شوری کم
۰/۱۳	۲/۳۶	۰/۱۸	۴/۶۹	۰/۰۹۷۵۵	۲/۶۴۴	۰/۰۳۲۰۵	۰/۱۸۳۹	کم آبیاری با شوری متوسط
۰/۵۴	۶/۵۵	۰/۱۸	۳/۷۴	۰/۱۰۱۹	۲/۳۸۷	۰/۰۳۱۶۱	۰/۲۱۰۳	کم آبیاری با شوری زیاد
۰/۱۴	۵/۷۶	۰/۱۸	۵/۷۴	۰/۰۵۴۶۷	۲/۶۷۶	۰/۰۰۵	۰/۱۷۱۱	آبیاری کامل با شوری کم
۰/۰۳	۱/۴۰	۰/۰۸	۲/۴۷	۰/۰۷۰۸	۱/۶۱۷	۰/۰۲۸۶	۰/۲۰۳۱	آبیاری کامل با شوری متوسط
۰/۰۵	۳/۴۰	۰/۲۰	۸/۷۵	۰/۰۴۶۴	۲/۰۲۴	۰/۰۰۵	۰/۱۶۴۹	آبیاری کامل با شوری زیاد

جدول ۴- واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک مجموعه دو

مقدار برای زه آب		مقدار خطا برای نفوذ		پارامترهای هیدرولیکی و گنوختن-معلم				تیمار
RMSE (cm)	AE (%)	RMSE (cm)	AE (%)	$K_s$ (min.cm <sup>-1</sup> )	n (-)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$\theta_s$ (-)	
۰/۲۱	۱۳/۱۱	۰/۳۸	۱۵/۱۰	۰/۰۲۰۰۹	۲/۶۸	۰/۰۰۵	۰/۱۷	کم آبیاری با شوری کم
۰/۱۰	۶/۱۱	۰/۱۱	۷/۰۷	۰/۰۲۸۷۵	۱/۹۸۶	۰/۱۴۵	۰/۱۷۲۲	کم آبیاری با شوری متوسط
۰/۰۶	۳/۵۹	۰/۱۵	۱۰/۹۰	۰/۰۲۳۵۲	۱/۸۱۸	۰/۱۴۵	۰/۱۵۹۷	کم آبیاری با شوری زیاد
۲/۶۰	۲۳/۱۶	۰/۸۵	۵/۸۰	۰/۱۶۷۸	۲/۶۸	۰/۰۰۵	۰/۲۴۵۶	آبیاری کامل با شوری کم
۲/۶۸	۲۱/۹۸	۰/۹۲	۷/۷۰	۰/۱۷۷۴	۲/۶۸	۰/۰۰۵	۰/۲۶۱۶	آبیاری کامل با شوری متوسط
۱/۷۷	۱۳/۹۲	۰/۸۰	۶/۶۰	۰/۱۸۹۱	۲/۶۸	۰/۰۰۵	۰/۲۲۲۴	آبیاری کامل با شوری زیاد

جدول ۵- واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک مجموعه سه

مقدار برای زه آب		مقدار خطا برای نفوذ		پارامترهای هیدرولیکی و گنوختن-معلم				تیمار
RMSE (cm)	AE (%)	RMSE (cm)	AE (%)	$K_s$ (min.cm <sup>-1</sup> )	n (-)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$\theta_s$ (-)	
۰/۰۶	۳/۴۱	۰/۰۵	۲/۶۰	۰/۰۴۲۱۸	۱/۹۴۳	۰/۰۷۴۹۴	۰/۱۷۸۸	کم آبیاری با شوری کم
۰/۰۵	۲/۵۱	۰/۰۹	۴/۵۳	۰/۰۲۶۳۸	۱/۸۱	۰/۱۴۵	۰/۱۷۹۲	کم آبیاری با شوری متوسط
۰/۰۵	۶/۸۰	۰/۲۱	۱۲/۶۶	۰/۰۲۹۷	۱/۷۵	۰/۱۴۵	۰/۱۷۴۳	کم آبیاری با شوری زیاد
۰/۰۶	۱۴/۶۸	۰/۰۲	۱/۹۰	۰/۰۱۸۷	۱/۰۹	۰/۱۴۱۱	۰/۱۸۲	آبیاری کامل با شوری کم



۰/۴۶	۱۰/۹۵	۰/۴۴	۸/۲۰	۰/۰۹۳۷۵	۱/۹۷۳	۰/۰۰۶۱	۰/۲۰۵۵	آبیاری کامل با شوری متوسط
۰/۴۲	۴/۳۲	۰/۴۲	۷/۹۷	۰/۱۱۹۶	۱/۸۲۲	۰/۰۰۶۷	۰/۲۰۵۵	آبیاری کامل با شوری زیاد

### نتیجه گیری

در این پژوهش از مدل HYDRUS-1D برای شبیه سازی نفوذ آب به خاک و زه آب استفاده شد. نتایج نشان داد که روش حل عددی معکوس می تواند به عنوان یک روش نسبتا سریع و ساده در برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک، با استفاده از داده های نفوذ و زه آب قرار گیرد. همچنین مشخص شد که با کاهش تعداد پارامترهای ورودی خطای شبیه سازی کاهش می یابد.

### منابع

- جوادى، ع، مشعل، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت معادلات نفوذ آب به خاک و ضرایب آنها نسبت به رطوبت اولیه و بار آبی. نشریه آب و خاک مشهد (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۵، ۸۹۹-۹۰۷.
- شیرانی، ح، کرد، م، صیاد، ع. و نقوی، ه. ۱۳۹۰. شبیه سازی حرکت برمید در ستونهای خاک دست خورده با استفاده از مدل HYDRUS-1D. پژوهش های آبخیز داری، شماره ۹۲، ۲۰-۳۱.
- Ayars J.E., and Tanji K.K. 1999. Effects of drainage on water quality in arid and semiarid lands. Agricultural Drainage. Pp: 831-867.
- Goncalves M.C., Simunek J., Ramos T.B., Martins J.C., Neves M.J. and Fernando P.P. 2006. Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality. Water Resources Research, 42: 1-17.
- Ho R. 2006. Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS. Chapman and Hall/CRC. 403pp.
- Hopmans J.W., Šimůnek J., Romano N. and Durner W. 2002. Simultaneous determination of water transmission and retention properties. Inverse methods. In: Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. (J.H. Dane and G.C. Topp, Eds.). SSSA Book Series No. 5. PP. 963-1008.
- Jalali M. and Merrikhpour H. 2008. Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. Environmental Geology. 53: 1289-1298.
- Mashayekhi P., Ghorbani-Dashtaki Sh., Mosaddeghi M.R. and Shirani H. 2016. Different scenarios for inverse estimation of soil hydraulic parameters from double-ring infiltrometer data using HYDRUS-2D/3D. International Agrophysics. Volume 30, Issue 2, 203-210
- Simunek J., Wendroth O. and Van Genuchten M.Th. 1998. Parameter estimation analysis of the evaporation method for determining soil hydraulic properties. Soil sci. Soc. Am. J. 62, 894-905.
- Skaggs T.H., Trout T.J., Simunek J. and Shouse P.J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. Irrigation and Drainage Engineering. 130: 304-310.



## The ability of HYDRUS-1D Model to Simulate Infiltration and Drainage under Irrigation Management and Water Quality

### Abstract

Infiltration and drainage water in agriculture are two important issues. The aim of this study was to evaluate the ability of HYDRUS-1D model to simulate infiltration and drainage water under different irrigation managements and water qualities using a laboratory model. This study consists of three sets of soil columns, each set with 24 soil columns. The experimental design was a factorial arrangement of the treatments within the complete randomized block design. The treatments were three different irrigation water qualities and two irrigation managements with four replications. The cumulative infiltration and drainage outflow data were applied to HYDRUS model, to determine soil hydraulic parameters using inverse solution. The results showed that the model accurately simulates the infiltration and drainage outflow. The inverse solution can be used as a relatively quick and simple method to estimate soil hydraulic parameters, using data from infiltration and drainage water.

**Keywords:** Infiltration, hydraulic parameters, and inverse solution.