

برآورد منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از داده‌های نفوذ استوانه‌های دوگانه به روش معکوس

پریسا مشایخی^۱، شجاع قربانی دشتکی^۲، محمدرضا مصدقی^۳، حسین شیرانی^۴

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه حضرت ولی عصر رفسنجان

چکیده

در پژوهش حاضر از نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D برای برآورد پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک به روش معکوس، با استفاده از داده‌های نفوذسنج استوانه‌های-دوگانه، استفاده شد. برای این منظور، آزمایش استوانه‌های-دوگانه در سه بافت مختلف در سه تکرار انجام شد. در هر منطقه نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک برداشت شده و ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله منحنی مشخصه رطوبتی خاک در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس ارزیابی‌های آماری صورت گرفته، منحنی‌های مشخصه رطوبتی به دست آمده از روش حل معکوس و داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، هم‌خوانی بسیار خوبی با هم داشتند. شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (r) ، ریشه میانگین مربعات خطا $(\text{RMSD})(\text{cm}^3\text{cm}^{-3})$ ، اختلاف میانگین‌ها $(\text{MD})(\text{cm}^3\text{cm}^{-3})$ ، و قدر مطلق خطای میانگین‌ها $(\text{AMD})(\text{cm}^3\text{cm}^{-3})$ برای پارامترهای برآوردی در این روش، به ترتیب برابر با 0.988، 0.036، 0.012 و 0.008 بود. در این روش هم‌خوانی خوبی بین میزان رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در نیم‌رخ خاک دیده شد ($R^2 = 0.936$).

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ون‌گنوختن، مدل‌سازی معکوس، منحنی مشخصه رطوبتی خاک، نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D، نفوذسنج استوانه-دوگانه

مقدمه

بخش غیراشباع خاک اهمیتی فراوانی در چرخه آبی طبیعت دارد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که ویژگی‌های این بخش را به صورت کمی بیان می‌کند، منحنی مشخصه رطوبتی خاک (SWRC) است که در بسیاری از پژوهش‌ها به عنوان اطلاعات پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. منحنی مشخصه رطوبتی نشان‌دهنده ارتباط بین مقدار رطوبت و پتانسیل ماتریک خاک است که از طریق روش‌های مستقیم و غیرمستقیم متعددی قابل اندازه‌گیری است. انجام روش‌های مستقیم، هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و نیازمند کار زیاد می‌باشد. افزون بر این، به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، تعداد نمونه‌های زیادی برای توصیف دقیق آن‌ها در شرایط مزرعه نیاز است (Vereecken *et al.*, 2010; Schell *et al.*, 2012). بنابراین طی ۴۰ سال گذشته، روش‌های غیرمستقیم مختلفی برای برآورد این ویژگی‌ها ارائه شده است که یکی از آن‌ها روش حل معکوس است (Simunek *et al.*, 2002; Schell *et al.*, 2012). نتایج پژوهش‌ها، کارایی زیاد این روش را در برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در شرایط آزمایشگاهی و میدانی نشان می‌دهند (Simunek *et al.*, 2002). مدل‌سازی معکوس معمولاً شامل برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با استفاده از حل عددی مکرر معادله ریچاردز می‌باشد. معادله ریچاردز یک معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی برای توصیف پویایی آب در خاک در مدل‌سازی جریان اشباع و غیراشباع در محیط‌های متخلخل است که با توجه به ماهیت غیرخطی معادله، معمولاً نمی‌توان آن را به صورت تحلیلی حل نمود و باید با استفاده از روش‌های عددی حل شود (Tiago *et al.*, 2006).

نرم افزار هیدروس (HYDRUS) یک برنامه پیشرفته تحت ویندوز برای تجزیه و تحلیل و شبیه سازی حرکت آب، املاح و گرما در خاک بوده و قادر به برآورد ویژگی های هیدرولیکی خاک و یا پارامترهای انتقال املاح به روش حل معکوس می باشد، که توسط Simunek et al (1999) در آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده بسط داده شده است. این نرم افزار تا کنون در بسیاری از پژوهش های مزرعه ای و آزمایشگاهی برای بهینه سازی و برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش حل معکوس مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن نسبتاً رضایت بخش بوده است (Alletto et al., 2015).

تاکنون پژوهش های متعددی برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک از طریق داده های به دست آمده از نفوذسنج دیسکی (مکشی) (Raof and Pilpayeh, 2013) و نفوذسنج مخروطی (Vanclouster et al., 2007) به روش حل معکوس ارائه شده است. اما در رابطه با استفاده از داده های نفوذسنج های استوانه-دوگانه در برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک پژوهش های چندانی انجام نگرفته است. از دیگر سو، نفوذسنج های استوانه-دوگانه در بسیاری از پژوهش های انجام شده در سال های اخیر، به عنوان یک روش استاندارد برای اندازه گیری نفوذ آب به خاک و تعیین پارامترهای نفوذ استفاده شده است (Lia and Ren, 2011 و Ghorbani Dashtaki et al., 2009). بنابراین، در این پژوهش سعی بر آن است تا با به کارگیری روش حل معکوس، میزان کارایی استفاده از داده های به دست آمده از نفوذسنج های استوانه-دوگانه در شبیه سازی حرکت آب در خاک و برآورد بهینه پارامترهای هیدرولیکی خاک در شرایط خاک دست نخورده و در حال ترشدن (Wetting) مورد بررسی قرار گیرد.

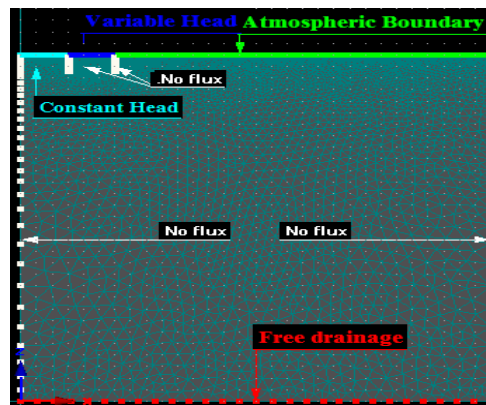
مواد و روش ها

برای انجام این پژوهش، آزمایش نفوذ آب به خاک با استفاده از نفوذسنج های استوانه-دوگانه در ۳ منطقه مختلف (در استان اصفهان) با ۳ نوع بافت خاک و در ۳ تکرار انجام گرفت. ارتفاع ثابت آب در داخل استوانه ها در طول مدت آزمایش برابر ۱۰ سانتی متر بود. آزمایش های نفوذ تا زمانی ادامه یافتند که طی چندین قرائت متوالی (حداقل ۳ قرائت) شدت نفوذ تقریباً ثابت شده باشد یعنی نفوذ آب به خاک تقریباً به حالت ماندگار رسیده باشد (Mirzaee et al., 2013). سپس با حفر خاک رخ در هر منطقه، از قسمت میانی لایه های ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۶۰-۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری انجام شد. ویژگی های فیزیکی شامل بافت خاک، چگالی ظاهری و درصد رطوبت اشباع در هر لایه اندازه گیری شد (Blake & Hartge, 1986). منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه جعبه شن در مکش های زیر ۱۰۰ سانتی متر (شامل مکش های ۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر)، با استفاده از نمونه های دست نخورده و در مکش های بالای ۱۰۰ سانتی متر (شامل مکش های ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۷۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی متر) با دستگاه صفحه فشار اندازه گیری شد (Klute, 1986).

در این مطالعه از نرم افزار HYDRUS2D/3D (Simunek et al., 1999) برای شبیه سازی نفوذ آب به خاک از طریق استوانه های مضاعف، استفاده شد. برای این منظور محدوده خاک مرطوب در زیر استوانه های مضاعف به صورت یک ناحیه متقارن حول محوری به مرکزیت استوانه داخلی در نظر گرفته شد. ارتفاع آب موجود در سطح خاک در هر دو استوانه معادل ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد که برای استوانه داخلی ثابت و برای استوانه بیرونی با گذشت زمان متغیر بود. شرایط مرزی برای محدوده سطح خاک در خارج از استوانه ها به صورت اتمسفری، برای دو طرف محدوده تعریف شده و نیز دیواره استوانه ها شرایط بدون جریان و برای عمق خاک زهکش آزاد تعریف شد (شکل ۱). برای شبیه سازی عددی حرکت آب در خاک از مدل هیدرولیکی معلم-ون گنوختن با فرض $m=1-1/n$ استفاده شد.

در این پژوهش، ۴ سناریو برای برآورد بهینه پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی در خاک های مورد مطالعه به روش حل معکوس، در نظر گرفته شد. در سناریوی اول تنها از داده های نفوذ تجمعی اندازه گیری شده (I) در آزمایش نفوذسنج استوانه-های-دوگانه، به عنوان داده های ورودی برای شبیه سازی نفوذ آب به خاک و بهینه سازی پارامترها در برنامه HYDRUS-2D/3D استفاده شد. در سناریوی دوم از میزان رطوبت اندازه گیری شده در ظرفیت زراعی خاک و داده های نفوذ تجمعی (FC+I) و در سناریوی سوم از میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم گیاه در کنار داده های نفوذ تجمعی استفاده شد (I+PWP). در سناریوی چهارم از داده های نفوذ تجمعی، FC و PWP به صورت همزمان برای بهینه سازی استفاده شد (I+PWP+FC).

برای ارزیابی پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده توسط نرم‌افزار HYDRUS 2D/3D در سناریوهای تعریف‌شده، از معیارهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای اریبی میانگین (MBE) و ضریب تبیین (R^2) بین داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده استفاده شد. پس از مشخص شدن بهترین سناریوی شبیه‌سازی، منحنی مشخصه رطوبتی با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده در این سناریو، برای سه نوع بافت خاک به صورت جداگانه استخراج شد. از سوی دیگر پارامترهای معادله ون گنوختن با استفاده از نقاط منحنی مشخصه رطوبتی خاک اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه به کمک نرم‌افزار RETC برای هر نمونه خاک برآورد شدند. سپس برای مقایسه این پارامترها با پارامترهای هیدرولیکی برآوردشده به روش حل معکوس، از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSD) (m^3m^{-3})، اختلاف میانگین‌ها (MD) (m^3m^{-3}) و قدرمطلق اختلاف میانگین‌ها (AMD) (m^3m^{-3}) استفاده شد (Ghorbani et al., 2009).



شکل ۱- شرایط مرزی تعریف‌شده برای شبیه‌سازی نفوذ از طریق استوانه‌های-دوگانه به وسیله مدل HYDRUS2D/3D

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس سه نوع خاک مورد مطالعه در سه گروه بافتی متفاوت شامل رس سیلتی (Silty Clay)، لوم (Loam) و لوم شنی (Sandy Loam) قرار گرفتند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	عمق (cm)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	رطوبت اشباع ($cm^3 cm^{-3}$)	چگالی ظاهری ($g cm^{-3}$)	FC ($cm^3 cm^{-3}$)	PWP ($cm^3 cm^{-3}$)
1	0-10	42	48	10	0.511	1.21	0.390	0.191
	10-30	40	46	14	0.503	1.23	0.387	0.184
	30-60	40	46	14	0.510	1.23	0.385	0.179
2	0-10	26	44	30	0.443	1.31	0.333	0.181
	10-30	26	41	33	0.414	1.32	0.354	0.176
	30-60	27	42	31	0.443	1.31	0.331	0.180
3	0-10	7	49	44	0.395	1.41	0.220	0.112
	10-30	7	47	46	0.386	1.38	0.252	0.121
	30-60	8	47	45	0.376	1.40	0.201	0.089

نتایج مقایسه‌های آماری بین داده‌های نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده به روش حل معکوس و داده‌های اندازه‌گیری‌شده نفوذ تجمعی از طریق استوانه‌های-دوگانه، در سناریوهای تعریف‌شده در جدول ۲ ارائه شده است.

همان طور که مشخص است، از میان سناریوهای تعریف شده در هر سه نوع بافت خاک، کمترین مقادیر MBE و RMSE و بیشترین مقدار R^2 مربوط به سناریوی بود که در آن شبیه سازی با استفاده از مقادیر FC در کنار داده های نفوذ تجمعی به عنوان ورودی مدل برای حل معکوس استفاده شد (I+FC) (جدول ۲).

محققان زیادی در پژوهش های خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده های نفوذ تجمعی به عنوان داده ورودی در حل معکوس مسائل حرکت آب در خاک، به تنهایی اطلاعات کافی برای دستیابی به پاسخ مطمئن و منحصر به فرد را فراهم نمی کند و استفاده از اطلاعات تکمیلی و داده های اندازه گیری شده اضافی مانند میزان رطوبت و یا پتانسیل ماتریک در خاک در کنار داده های نفوذ تجمعی به همگراشدن روش حل معکوس و دستیابی به پاسخ های دقیق تر، کمک خواهد کرد (Nakhaei and Šimůnek, 2014;).

جدول ۲- نتایج ارزیابی شبیه سازی نفوذ تجمعی آب به خاک توسط HYDRUS-2D/3D در سناریوهای تعریف شده

Silty Clay			Loam			Sandy Loam			سناریو
MBE (cm ³)	RMSE (cm ³)	R ²	MBE (cm ³)	RMSE (cm ³)	R ²	MBE (cm ³)	RMSE (cm ³)	R ²	Scenario
476.45	772.63	0.9869	73.43	213.61	0.9998	118.45	661.87	0.9991	I
4.7	153.63	0.9983	7.65	79.02	0.9998	88.52	528.21	0.9995	I+ FC
5.5	186.92	0.9960	17.15	106.49	0.9997	105.98	642.47	0.9991	I+PWP
328.16	723.29	0.9883	19.13	194.30	0.9991	115.51	616.53	0.9993	I+FC+PWP

نقطه FC در ناحیه غیراشباع منحنی مشخصه رطوبتی واقع شده که دارای پتانسیل ماتریک نسبتاً زیادی است و تحت تاثیر بافت، ساختمان، توزیع و پیوستگی منافذ خاک قرار دارد. در حالی که نقطه PWP در نزدیکی قسمت رطوبت باقی مانده و با پتانسیل ماتریک بسیار منفی بوده و غالباً تحت تاثیر بافت خاک قرار دارد. به نظر می رسد ویژگی های هیدرولیکی (نگهداشت آب) خاک در حالت FC به شرایط نفوذ در آزمایش استوانه های دوگانه، نسبت به PWP، بسیار نزدیک تر است. بنابراین استفاده از داده های FC در کنار داده های نفوذ تجمعی به عنوان اطلاعات تکمیلی از طریق کاهش خطای شبیه سازی، باعث بهبود فرآیند بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی خاک شده است.

بنابراین، این سناریو با کمترین میزان خطا در شبیه سازی نفوذ آب به خاک در آزمایش نفوذسنج استوانه های-دوگانه، دارای بهترین عملکرد در فرآیند بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی خاک بوده است. به همین دلیل از مقادیر پارامترهای هیدرولیکی بهینه شده در این سناریو برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی استفاده شد. جدول ۴ مقادیر بهینه شده پارامترهای هیدرولیکی در خاک های مورد مطالعه در سناریوی (I+FC) را نشان می دهد.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک بهینه شده در سناریوی (I+FC)

l	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	α (cm ⁻¹)	n (-)	K_s (cm s ⁻¹)	عمق	بافت
0.5	0.099	0.525	0.0125	1.36	0.00030	0-10	SiC
0.5	0.097	0.511	0.0122	1.37	0.00030	10-30	SiC
0.5	0.096	0.498	0.0117	1.40	0.00020	30-60	SiC
0.5	0.010	0.425	0.007	1.41	0.00080	0-10	L
0.5	0.010	0.406	0.0085	1.39	0.0013	10-30	L
0.5	0.010	0.404	0.0070	1.40	0.0010	30-60	L
0.5	0.050	0.457	0.0060	1.68	0.0111	0-10	SL
0.5	0.048	0.378	0.0060	1.66	0.0136	10-30	SL
0.5	0.049	0.387	0.015	1.55	0.0120	30-60	SL

نتایج حاصل از ارزیابی‌های آماری انجام‌گرفته بر روی منحنی مشخصه رطوبتی به‌دست‌آمده به کمک پارامترهای مدل ون-گنوختن که به روش حل معکوس توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D برآورد شدند، در مقایسه با منحنی رطوبتی که با استفاده از پارامترهایی که از طریق برازش مدل ون‌گنوختن بر داده‌های اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه تعیین گردید، در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- ارزیابی آماری منحنی مشخصه رطوبتی برآوردشده به روش معکوس برای خاک‌های مورد مطالعه

r (-)	RMSD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	AMD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	MD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	
0.988	0.036	0.012	0.0083	روش معکوس در آزمایش استوانه‌های-دوگانه

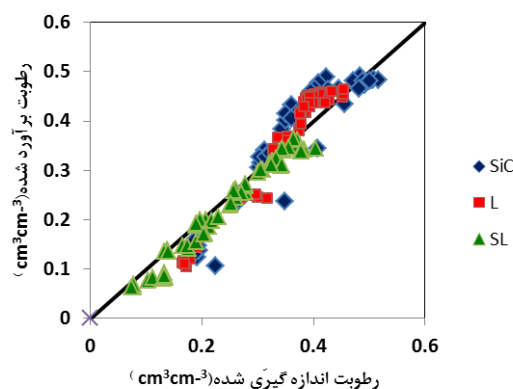
همان‌طور که مشخص است، منحنی مشخصه رطوبتی خاک حاصل از پارامترهای هیدرولیکی به‌دست آمده از روش معکوس در آزمایش نفوذسنج استوانه‌های-دوگانه، دارای میزان خطا و انحراف کمی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه بوده است.

شکل ۲ پراکنش مقادیر رطوبت حجمی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده توسط روش حل معکوس را در اطراف خط یک به یک برای خاک‌های مورد استفاده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، بین داده‌های رطوبت حجمی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده به روش حل معکوس با استفاده از داده‌های آزمایش استوانه‌های-دوگانه در بافت‌های مختلف، هم‌خوانی خوبی دیده می‌شود ($R^2=0.9363$) ولی دقت برآورد در خاک درشت‌بافت بیشترین است.

این امر نشان می‌دهد که این روش می‌تواند جایگزین قابل اعتمادی برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی باشد و قادر است پارامترهای معادله ون‌گنوختن را با دقت قابل قبولی برآورد بزند. Basile et al., (2003) گزارش نمودند که اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از طریق روش‌های آزمایشگاهی علاوه بر دشواری، و هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، نمی‌تواند نشان‌دهنده رفتار هیدرولیکی خاک در مقیاس مزرعه باشد.

Greeb et al., (2009) دریافتند که روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های درجا در شرایط طبیعی و واقعی و در مقیاس مزرعه (از جمله روش‌های معکوس)، برآورد قابل اطمینان‌تری از پارامترهای هیدرولیکی خاک نسبت به روش‌های مستقیم و توابع انتقالی خاک داشته و باعث بهبود برآورد پارامترهای هیدرولیکی می‌شود.

این پژوهش‌گران در یک آزمایش نفوذ از طریق اندازه‌گیری میزان رطوبت و پتانسیل ماتریک خاک، پارامترهای هیدرولیکی خاک را به روش معکوس با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-1D برآورد نمودند. پارامترهای هیدرولیکی که از این طریق برآورد شدند، از قطعیت بسیار بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بودند.



شکل ۳- پراکنش مقادیر رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده توسط روش حل معکوس



منابع

- Alletto L., Pot V., Giuliano S., Costes M. and Justes E. 2015 Temporal variation in soil physical properties improves the water dynamics modeling in a conventionally-tilled soil. *Geoderma*, 243(244): 18–28.
- Basile A., Ciollaro G. and Coppola A. 2003. Hysteresis in soil water characteristics as a key to interpreting comparisons of laboratory and field measured hydraulic properties. *Water Resources Research*, 39(12): 1-12
- Blake G. R. and Hartge K. H. 1986. Bulk density. In: *Methods of soil analysis. Part 1, 2nd edn* (ed. A. Klute), pp. 363–375. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
- Ghorbani Dashtaki Sh., Homaei M., Mahdian M.H. and Kouchakzadeh M. 2009. Site-dependence performance of infiltration models. *Water Resources Management*, 23: 2777–2790.
- Gribb M.M., Forkutsa I., Hansen A., Chandler D.J. and McNamara J.P. 2009. The effect of various soil hydraulic property estimates on soil moisture simulations. *Vadose Zone Journal*, 8(2): 321–331.
- Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, part 1: physical and mineralogical methods, 2nd edn. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 1188 pp.*
- Lia Y. and Ren L. 2011. Numerical evaluation of depth effects of double-ring infiltrometers on soil saturated hydraulic conductivity measurements. *Soil Science Society of America Journal*, 76: 867–875.
- Mirzaee S., Zolfaghari A.A., Gorji M., Miles Dyck M. and Ghorbani Dashtaki S. 2013. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-13.
- Nakhaei M. and Šimůnek J. 2014. Parameter estimation of soil hydraulic property functions for unsaturated porous media using the HYDRUS-2D code. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1): 7–15.
- Raouf M. and Pilpayeh A. R. 2013. Estimating soil wetting profile under saturated infiltration process by numerical inversion solution in land slopes. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13(6): 732–736.
- Schelle H., Iden S.C., Schlüter S., Vogel H.J. and Durner W. 2012. Identification of effective flow processes and properties from virtual soils using inverse modeling. *Geophysical Research Abstracts* 14.
- Šimůnek J. and Hopmans J.W. 2002. Chapter 1.7: Parameter optimization and nonlinear fitting. In *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical Methods*, 139-157. J. H. Dane and G. C. Topp, eds. 3rd ed. Madison, Wisc.: SSSA.
- Šimůnek J., Šejna M. and van Genuchten M.Th. 1999. HYDRUS-2D software for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media. Version 2.0. *Int. Ground Water Model. Ctr.*, Colorado School of Mines, Golden.
- Tiago B., Ramos M.C., Goncalves J.C.M. and van Genuchten M.Th. 2006. Estimation of soil hydraulic properties from numerical inversion of tension disk infiltrometer data. *Vadose Zone Journal*, 5(2): 684–696.
- Vanclouster M., Javaux M. and Lambot S. 2007. Recent advances in characterizing flow and transport in unsaturated soil at the core and field. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, 3: 19–35
- Vereecken H., Weynants M., Schaap M.G. and van Genuchten M.Th. 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A review. *Vadose Zone Journal*, 9:795–820

Inverse estimation of the soil water retention curve parameters using double-ring infiltration dataP. Mashayekhi¹, S. Ghorbani Dashtaki², M. R. Mosaddeghi³, H. Shirani

1. Assist. Prof., Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Isfahan, Iran.

2. Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

3. Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4. Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran

Abstract

In this study, HYDRUS2D/3D software was used to estimate the Soil water retention curve *via* inverse modeling using double-ring infiltrometers data. Double-ring infiltration experiment was conducted in three different soil texture with three replications. Disturbed and undisturbed soil samples were also collected and some soil physical properties and soil water retention curve were measured. The soil water retention curves obtained from the measured data had very good correspondence with those derived from inverse modeling. The efficacy parameters of inverse estimation i.e., the mean difference (MD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), the absolute value of mean differences (AMD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), the mean deviation of the root of mean squared differences (RMSD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) and the Pearson's correlation coefficient (r) were 0.012, 0.008, 0.036 and 0.098, respectively. Also there was a good agreement between the water content values measured in the soil profile and those predicted by HYDRUS ($R^2=0.936$).

Key words: Double-ring infiltrometer, HYDRUS-2D/3D, Inverse modeling, Soil water retention curve, Van Genuchten parameters,