

## کاربرد مدل تک بعدی شبیه ساز حرکت عمودی آب در خاک غیر اشباع

رسول قبادیان<sup>1</sup> و مهسا بصیری

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه؛ [rsghobadian@gmail.com](mailto:rsghobadian@gmail.com)

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه؛ [basirimahsa@yahoo.com](mailto:basirimahsa@yahoo.com)

دریافت: 97/1/21 و پذیرش: 97/5/24

### چکیده

در این تحقیق معادله تک بعدی حرکت آب در خاک اشباع - غیر اشباع به روش حجم محدود و روش گسسته سازی ضمنی حل شد و ارتباط رطوبت غیر اشباع و بار فشار با استفاده از توابع هیدرولیکی وان گنوختن و بروکز-کوری تعیین شد. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد که مدل با دقت بسیار خوبی مقادیر بار فشار را برآورد می‌کند. جذر میانگین مربعات خطا بار فشار برای توابع هیدرولیکی وان گنوختن و بروکز-کوری به ترتیب برابر 0/0181 و 0/0439 متر به دست آمد. پس از اطمینان از نتایج مدل تاثیر سه روش مختلف بر آورد پارامترهای هیدرولیکی خاک در نرم افزار ROSETTA بر منحنی مشخصه رطوبتی بررسی شد. در روش اول مدل کامل ROSETTA، در روش دوم تنها بافت خاک و در روش سوم علاوه بر بافت خاک پارامتر توزیع خلل و فرج ( $I=0.5$ ) نیز در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج مدل حاضر با مدل Hydrus 1D نشان داد که مدل تهیه شده از دقت بسیار خوبی در تمامی روش‌ها برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که با گذشت زمان و خشک شدن بیشتر خاک، بدلیل تأثیر خصوصیات فیزیکی و خلل و فرج خاک تفاوت بین سه روش بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رابطه وان گنوختن، روش حجم محدود، معادله ریچاردز، منحنی مشخصه رطوبتی خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، گروه آب.

## مقدمه

SEEP2D که از روش المان‌های محدود استفاده می‌کند کاملاً تطابق دارد.

هاورکمپ و همکاران با ارائه یک مدل عددی به بررسی روش‌های مختلف گسسته سازی معادله ریچاردز و مقایسه آن با داده های اندازه‌گیری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش تفاضل محدود و روش گسسته سازی ضمنی بهترین همبستگی را برای توزیع رطوبت، نرخ نفوذ و حجم تجمعی نفوذ دارد.

ون گنوختن (1982) به بررسی روش‌های مختلف حل عددی معادله ریچاردز پرداخته شد. نتایج او نشان داد که روش تفاضل محدود برای خاک‌های درشت دانه و خشک پایدارترین جواب را دارد.

باتوس و همکاران (2001) معادله تک بعدی ریچاردز را به روش عددی تفاضل محدود در خاک‌هایی با نفوذ پذیری مختلف حل کردند. نتایج مدل عددی ایشان با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه سازی وجود دارد.

در تحقیق حاضر معادله ریچاردز در حالت تک بعدی به روش حجم محدود و روش گسسته سازی ضمنی در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک تقریب زده شد. سپس با ارائه دو مثال صحت سنجی مدل با استفاده از مدل Hydrus 1D و نتایج آزمایشگاهی هاورکمپ و همکاران (1977) مورد بررسی قرار گرفت. ارتباط هدایت هیدرولیکی غیراشباع و بار فشاری با استفاده از توابع هیدرولیکی وان گنوختن و بروکر-کوری انجام شد. بعد از اطمینان از نتایج مدل به بررسی تأثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

## معادله حاکم

معادله ریچاردز در شرایط جریان غیرماندگار و با فرض اینکه هوا نقش ناچیزی در حرکت جریان آب داشته باشد، در مختصات دکارتی به صورت زیر است:

(1)

$$\frac{\partial \theta(\psi)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} + K_y(\psi) \right)$$

اهمیت حرکت آب در خاک‌های غیر اشباع در زمینه‌های مختلفی همچون کشاورزی و سازه‌های آبی باعث توجه محققین به این موضوع شده است. رایج ترین مدلی که تاکنون ارائه شده است، مدل ریچاردز است. ریچاردز با استفاده از معادله‌های داری و پیوستگی و در نظر گرفتن یکسری فرضیات، مدل خود را برای حرکت آب در خاک ارائه نمود. محققین مختلفی با ارائه مدل‌های تحلیلی و عددی به حل معادله ریچاردز در حالت‌های تک بعدی و دو بعدی پرداختند.

زارعی و همکاران (2002) با در نظر گرفتن یکسری فرضیات حل تحلیلی را برای جریان یک بعدی رو به بالا از سطح ایستایی به سطح خاک ارائه نمودند. آن‌ها با استفاده از معادله ریچاردز و با توجه به شرایط اولیه و مرزی حاکم بر فرآیند تبخیر، راه حل تحلیلی که به کمترین اطلاعات ممکن نیاز داشت را ارائه کردند.

فرهادی و عطایی (2005) به روش عددی تفاضل محدود معادله یک بعدی جریان آب در خاک غیراشباع را تحلیل شد. با حل یک مثال متداول تأثیر روش‌های مختلف متوسط گیری شاخص غیر خطی هدایت هیدرولیکی، نحوه تخمین ضریب ذخیره ویژه، روش گسسته سازی و شرایط مختلف همگرایی بر روی دقت محاسبات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در صورتی که از روش گسسته سازی کاملاً ضمنی استفاده شود، نتایج بسیار خوبی از مدل بدست می‌آید و این روش را به عنوان راه حل برتر معرفی کردند.

عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012) در تحقیقی با حل عددی معادله ریچاردز در حالت تک بعدی به روش حجم محدود نشان دادند که این روش مقادیر بار فشار و رطوبت را به درستی برآورد می‌کند.

قلمبر و همکاران (2013) به حل عددی معادله ریچاردز به روش دیفرانسیال کوادرچر<sup>1</sup> پرداخته شد. نتایج نشان داد که این روش همبستگی خوبی با نتایج اندازه-گیری و روابط حل تحلیلی دارد.

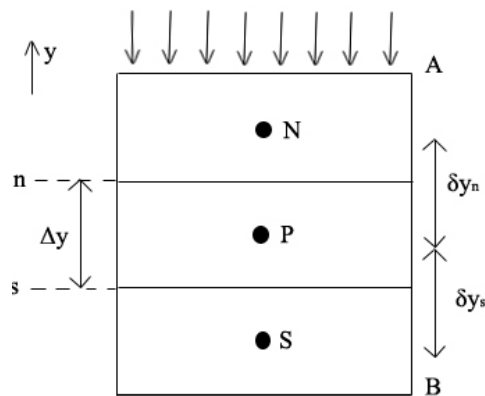
قبادیان (2014) با حل عددی معادله ریچاردز به روش حجم محدود و گسسته سازی کرنک-نیکلسون به شبیه سازی عددی جریان دو بعدی غیرماندگار اشباع-غیراشباع به طرف زهکش‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد با وجود اینکه مدل ارائه شده از روش عددی حجم محدود برای حل معادله غیرماندگار ریچاردز استفاده می‌کند ولی نتایج حالت تعادل آن با نتایج مدل ماندگار

<sup>1</sup> Differential Quadrature

### منفصل سازی معادله حاکم

در این تحقیق برای منفصل سازی معادله دیفرانسیلی 1 از روش حجم محدود استفاده شد. نحوه شبکه بندی برای منفصل سازی این رابطه در شکل 1 آمده است.

که در آن  $\theta$  رطوبت حجمی  $[L^3/L^3]$ ،  $\psi$  بار فشاری  $[L]$ ،  $K_y$  هدایت هیدرولیکی قائم  $[L/T]$ ،  $y$  مختصه عمودی  $[L]$ ،  $t$  زمان  $[T]$  می‌باشند. توابع هیدرولیکی مورد استفاده در این تحقیق توابع ون گنوختن (1982) و بروکز-کوری (1964) می‌باشند.



شکل 1- نحوه شبکه بندی برای منفصل سازی رابطه ریچاردز

(2)

$$\int_s^n \int_t^{t+dt} \frac{\partial \theta(\psi_p)}{\partial t} dt dy = \int_t^{t+dt} \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} (K_y(\psi_p) \frac{\partial \psi_p}{\partial y} + K_y(\psi_p)) dy dt$$

پس از منفصل نمودن به روش ضمنی نهایتاً معادله دیفرانسیل 1 به معادله جبری زیر تبدیل می‌شود:

(3)

$$A_p \psi_N^{t+dt} + B_p \psi_P^{t+dt} + C_p \psi_S^{t+dt} = D_p$$

که در آن :

$$A_p = K_y(\psi)_n \frac{dt}{\delta y_n}$$

$$C_p = K_y(\psi)_s \frac{dt}{\delta y_s}$$

$$B_p = -(A_p + C_p) - f(\Psi) dy$$

$$D_p = -(K_y(\psi)_p dt + f(\psi) dy \psi_p^t)$$

$K_y(\psi)_n$  ضریب نفوذپذیری در وجه بالایی حجم کنترل می‌باشد که به صورت میانگین هارمونیک ضریب نفوذپذیری  $P$  و  $N$  در نظر گرفته می‌شود:

(4)

$$K_y(\psi)_n = \frac{2K_y(\psi)_P K_y(\psi)_N}{K_y(\psi)_P + K_y(\psi)_N}$$

در شرایطی که نقطه  $P$  روی یکی از مرزهای بالا یا پایین قرار بگیرد رابطه 1 به صورت خاص منفصل می‌شود.

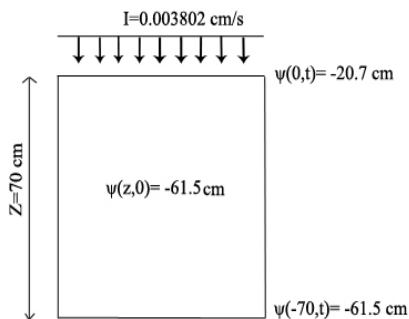
### شرایط مرزی

برای نقطه‌ای که روی سطح خاک (مرز بالایی) قرار می‌گیرد، چنانچه بارندگی یا تبخیر در سطح داشته باشیم. شرط گرادیان فشار در جهت عمودی برقرار است. ولی چنانچه در  $\frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{I}{K_y(\psi)} - 1$  مرز بالا یا مرز پایین فشار ثابت باشد ( $\psi_p = \text{constant}$ ) در نظر گرفته می‌شود.

### داده‌های آزمایشگاهی

به منظور صحت سنجی مدل تهیه شده در تحقیق حاضر از دو سری داده اندازه‌گیری شده توسط محققان قبلی برای دو مورد متفاوت از شرایط مرزی در سطح خاک استفاده شده که در ادامه جزئیات آنها تشریح می‌شود:

## مورد اول



شکل 2- نمای شماتیک حالت دوم

در حالت اول که از داده‌های اندازه‌گیری شده رومانو و همکاران (1998) استفاده شد، مقدار پتانسیل ماتریک در سطح خاک ثابت در نظر گرفته شده و توزیع رطوبت در یک ستون از خاک نیو مکزیکو آمریکا بررسی شد. عمق ستون خاک 60 سانتی متر و دارای رطوبت اولیه یکنواختی تحت مکش 1000- سانتی متر می‌باشد. در بالای ستون با افزایش رطوبت، مکشی برابر 75- سانتی متر برای کلیه زمان‌ها اعمال گردیده است. شرایط اولیه مرزی حاکم بر این ستون خاک عبارتند از:

$$\text{شرایط مرزی: } \begin{cases} \Psi(0,1) = 75\text{cm} \\ \Psi(-60,t) = -1000\text{cm} \end{cases}$$

$$\text{شرایط اولیه: } \psi(z,0) = -1000\text{cm}$$

پارامترهای هیدرولیکی این نوع خاک به وسیله‌ی روابط منحنی مشخصه رطوبتی و تابع هدایت هیدرولیکی وان گنوختن بیان گردیده است. مقادیر ضرایب معادلات وان گنوختن (1982) در این مثال برابر است با:

$$\theta_r = 0.102, \theta_s = 0.368, a = 0.0335\text{cm}^{-1}, \\ K_s = 0.00922\text{cm/s}, n = 2, m = 0.5$$

## مورد دوم

در مورد دوم از داده‌های نفوذ یک بعدی آب درون ستون خاک ماسه‌ای که توسط هاورکمپ و همکاران (1977) انجام شده بود استفاده شد. عمق خاک مورد مطالعه 70 سانتیمتر است. در سطح فوقانی دبی ویژه (بارندگی) 0/003802 سانتیمتر بر ثانیه می‌باشد. سطوح فوقانی و تحتانی نیز دارای بار فشاری ثابتی هستند. شرایط مرزی و اولیه به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد:

$$\text{شرایط مرزی: } \begin{cases} \Psi(0,t) = -20.7\text{cm} \\ \Psi(-70,t) = -61.5\text{cm} \end{cases}$$

$$\text{شرایط اولیه: } \psi(z,0) = -61.5\text{cm}$$

شکل 2 نمای شماتیک این مثال را نشان می‌دهد.

روابط تجربی بدست آمده در شرایط آزمایشگاهی هاورکمپ و همکاران (1977) برای منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی به صورت زیر تعریف شد:

(5)

$$\theta = \theta_r + \frac{A(\theta_s - \theta_r)}{A + \psi^B}$$

(6)

$$K(\psi) = K_s \times \frac{D}{D + \psi^C}$$

## محدوده مورد مطالعه

به منظور رسیدن به هدف تحقیق حاضر و بررسی تأثیر حالت‌های مختلف برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه خاک شرایط یکسان همانند شرایط اسکاگز و همکاران (2004) در نظر گرفته شد. اسکاگز و همکاران (2004) برای خاک مورد مطالعه 3 حالت مختلف را در نظر گرفتند و به کمک نرم افزار ROSETTA پارامترهای هیدرولیکی خاک:  $\theta_r, \theta_s, K_s, n, \alpha$  و  $l$  برآورد گردید. در حالت 1 از مدل کامل ROSETTA استفاده شد. برای این حالت تمامی مشخصات خاک مورد مطالعه به عنوان پارامترهای ورودی به نرم افزار ROSETTA معرفی شد. در حالت 2 فقط از کلاس‌بندی بافت خاک استفاده شد و درصدهای ماسه و سیلت و رس به عنوان ورودی به مدل معرفی شد. در حالت 3 مشابه حالت 2 از کلاس‌بندی بافت خاک استفاده شد با این تفاوت که پارامتر  $\alpha$  طبق پیشنهادات قبلی برابر با 0/5 در نظر گرفته شد (معلم؛ 1976). اطلاعات مربوط به خاک محدوده مورد مطالعه و پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده برای تبدیل‌های عملگر مختلف تحقیق اسکاگز و همکاران (2004) در جداول 1 و 2 آمده است.

ضرایب بدست آمده برای روابط 5 و 6 عبارتند از:

$$\theta_s = 0.287, \theta_r = 0.075, A = 1.611 \times 10^6, B = 3.96, C = 4.74, D = 1.175 \times 10^6, K_s = 0.00944 \text{ cm/s}$$

جدول 1- مشخصات خاک تحقیق اسکاگز و همکاران (2004)

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد رطوبت در مکش 1500 کیلوپاسکال	درصد رطوبت در مکش 33 کیلوپاسکال	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه
1/55	5/4	17	5/6	39/6	54/8

جدول 2- پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده برای توابع هیدرولیکی مختلف ارائه شده توسط تحقیق اسکاگز و همکاران (2004)

$l$	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$n$	$K_s$ (cm/h)	$\theta_s$	$\theta_r$	تبدیل عملگر	حالت
-0/92	0/023	1/4	1/6	0/34	0/021	ROSETTA (مدل کامل)	1
-0/86	0/027	1/4	1/6	0/39	0/039	ROSETTA - بافت لومی شنی (کلاس متوسط)	2
0/5	0/027	1/4	1/6	0/39	0/039	ROSETTA - بافت لومی شنی (کلاس متوسط)	3

### نتایج

#### صحت سنجی مدل

##### حالت اول

به کمک مدل عددی نوشته شده و با انتخاب  $\Delta t=10s$  و  $\Delta y=1cm$  پروفیل‌های رطوبت و فشار ماتریک بعد از یک، سه و پنج ساعت از مدل استخراج گردید. همچنین با استفاده از مدل Hydrus 1D و استفاده از روش مستقیم و با در نظر گرفتن ورودی‌های یکسان (ضرایب تابع هیدرولیکی، ضرایب مرزی و اولیه و ...)، پروفیل‌های رطوبت و فشار محاسبه شدند. مقایسه نتایج حاصل از مدل حاضر با استفاده از مدل Hydrus 1D برای پروفیل‌های فشار و رطوبت در شکل‌های 3 و 4 آمده است. همانطور که از شکل‌ها نیز مشخص می‌باشد مقادیر بدست آمده از مدل حاضر هم از نظر فرم کلی و هم از نظر مقدار به نتایج بدست آمده از مدل Hydrus 1D نزدیک می‌باشد و این موضوع نشان دهنده دقت خوب مدل در برآورد بار فشاری و رطوبت در اعماق مختلف می‌باشد.

در این حالت‌ها همچنین ستونی از خاک مذکور به عمق 50 سانتیمتر در نظر گرفته شد و با اعمال شرایط مرزی و اولیه مشخص، به بررسی تأثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی پرداخته شد. شرایط اولیه و مرزی به صورت زیر تعریف شد:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi(0,t) = -100cm \\ \Psi(-50,t) = -400cm \end{array} \right\} \text{شرایط مرزی}$$

$$\text{شرایط اولیه: } \psi(z,0) = -400cm$$

#### بررسی دقت مدل حاضر

به منظور بررسی دقیق‌تر مدل و مقایسه کمی نتایج بدست آمده از مدل، با داده‌های آزمایشگاهی از پارامترهای آمار جذر میانگین مربعات خطا<sup>1</sup> و متوسط خطای مطلق<sup>2</sup> استفاده شده است که به صورت زیر تعریف تعریف می‌شوند:

(7)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(\psi_M)_i - (\psi_P)_i]^2}$$

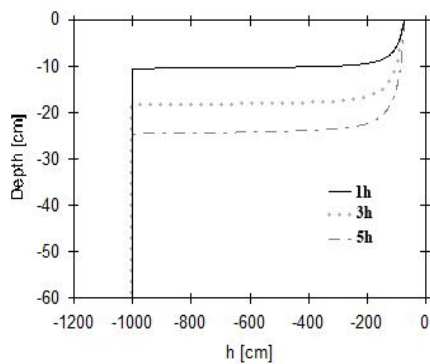
(8)

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(\psi_M)_i - (\psi_P)_i|$$

که در این فرمول‌ها  $n$  تعداد داده‌ها و  $\psi_M$  و  $\psi_P$  به ترتیب مقادیر بار فشاری اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی و برآورد شده توسط مدل حاضر می‌باشد.

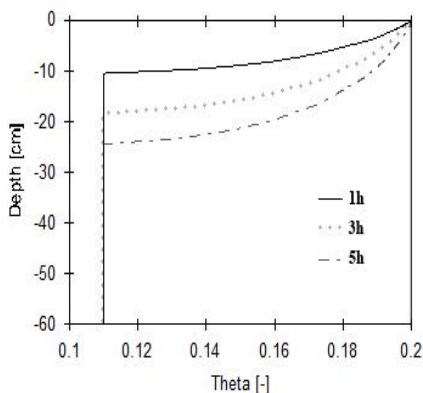
1. Root Mean Squares of Errors

2. Mean Errors



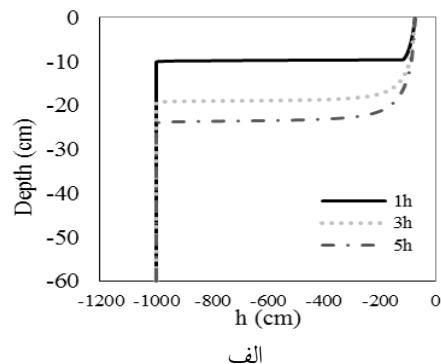
ب

شکل 3- پروفیل فشار محاسبه شده توسط الف) مدل حاضر ب) مدل Hydrus 1D

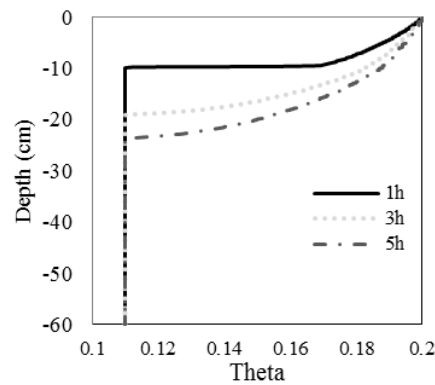


ب

شکل 4- پروفیل رطوبت محاسبه شده توسط الف) مدل حاضر ب) مدل Hydrus 1D



الف



الف

به کمک پارامترهای آماری خطا دقت مدل حاضر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به این بررسی در جدول 3 آمده است. همان‌طور که مشخص است مقادیر پایین بدست آمده نشان دهنده کارایی خوب مدل در برآورد بار فشاری است. همچنین نتایج نشان داد که دقت تابع وان گنوختن بهتر از تابع بروکز-کوری می‌باشد.

داده‌های آزمایشگاهی هاورکمپ و همکاران (1977) توسط محققین زیادی مبنای صحت سنجی مدل‌های عددی قرار گرفته است که در اینجا به مقایسه نتایج مدل حاضر با نتایج مدل ارائه شده توسط عزیزپور و محمودیان شوشتری (2012) پرداخته شده است. در مدل مذکور ضرایب روابط تجربی هاورکمپ و همکاران (1977) به صورت زیر در نظر گرفته شد:

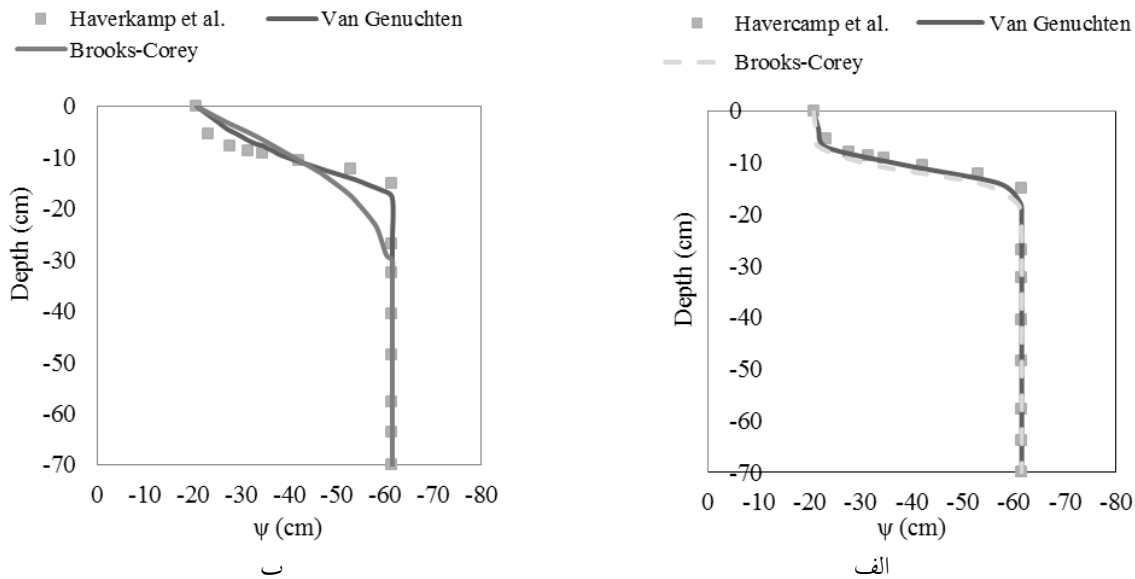
## حالت دوم

در این حالت نیز با استفاده از توابع هیدرولیکی وان گنوختن (1982) و بروکز-کوری (1964) و نهایتاً با انتخاب پروفیل بارفشاری در مقابل عمق خاک بعد از گذشت زمان 360 ثانیه ترسیم گردید. شایان ذکر است که با استفاده از نرم افزار RECT پارامترهای تابع بروکز-کوری بدست آمد:

$$\psi_b = -15.07 \text{ cm}, \lambda = 0.886, \eta = 4.16$$

نتایج مربوط به این حالت در شکل 5- الف آمده است. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود مدل حاضر در پیش بینی مقادیر بار فشاری در اعماق مختلف برای هر دو تابع وان گنوختن و بروکز-کوری برآورد بسیار خوبی داشته است و این موضوع نشان از دقت بالای مدل در تخمین مقادیر فشار دارد.

$$\theta_s = 0.287, \theta_r = 0.075, A = 1.175 \times 10^6, B = 3.96, C = 4.94, D = 1.611 \times 10^6, K_s = 0.00944 \text{ cm/s}$$



شکل 5- پروفیل فشار محاسبه شده با استفاده از توابع وان گنوختن و بروکز-کوری (الف) مدل حاضر (ب) مدل عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012)

که با توجه به شکل 5 کمتر بودن مقدار خطای نسبی در مدل عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012) نسبت به مدل حاضر به این خاطر است که مدل ایشان در بعضی نقاط مقدار بار فشاری را کمتر از مقادیر آزمایشگاهی و در بعضی بیشتر از آن برآورد کرده است.

همانطور که از نتایج مشخص است دقت مدل حاضر نسبت به مدل ارائه شده توسط عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012) بالاتر می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا برای توابع انتقالی وان گنوختن و بروکز-کوری در مدل حاضر کمتر از مدل عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012) می‌باشد. لازم به ذکر است

جدول 3- مقایسه بار فشاری بدست آمده با مقادیر آزمایشگاهی هاورکمپ و همکاران (1977)

مدل حاضر		مدل عزیزی پور و محمودیان شوشتری (2012)		تابع
ME (متر)	RMSE (متر)	ME (متر)	RMSE (متر)	هیدرولیکی
0/0099	0/0181	0/3036	0/0344	وان گنوختن
0/0271	0/0439	0/0059	0/0045	بروکز-کوری

تأثیر روش‌های مختلف برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی بعد از صحت سنجی مدل و اطمینان از نتایج آن به بررسی تأثیر پارامترهای هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های ارائه شده اسکاگر و همکاران (2004) استفاده شد. ایشان با استفاده از مشخصات خاک مورد مطالعه و مشخص بودن بافت خاک به کمک بانک اطلاعاتی نرم افزار ROSETTA پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده برای خاک مذکور را تحت شرایط مختلف استخراج کردند.

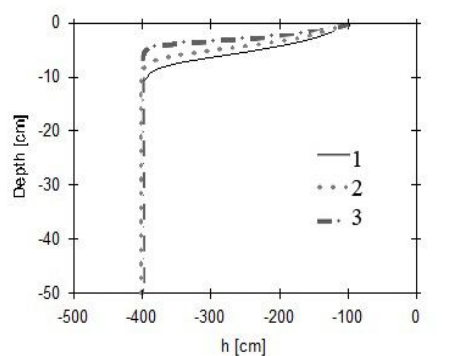
ROSETTA یک نرم افزار کاربردی است که از مدل شبکه عصبی برای پیش بینی پارامترهای هیدرولیکی توسط بافت خاک و داده‌های مرتبط استفاده می‌کند. این نرم افزار شامل یک سلسله مراتب از عملگرهای تبدیلی است که می‌تواند روی داده‌های توصیفی قابل دسترس خاک مورد استفاده قرار گیرد. ضعیف‌ترین روش در این مدل برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک بر اساس کلاس بندی بافت خاک است. پیچیده ترین روش جهت تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک بر اساس چگالی ظاهری خاک، درصد شن، سیلت و رس و درصد رطوبت

همانطور که از شکل 6 مشخص می‌باشد با تغییر پارامترهای مختلف هیدرولیکی خاک بارشاری تغییرات کمتری نسبت به رطوبت داشته است. همچنین مقایسه نتایج مدل با مدل Hydrus 1D نشان داد که دقت مدل بسیار خوب و قابل قبول است. پروفیل‌های بار فشاری برای حالت‌های 1 تا 3 دارای اختلاف اندکی می‌باشد ولی در پروفیل‌های رطوبت اختلاف بین حالت‌های 1 تا 3 بیشتر قابل مشاهده است. در این شکل در حالت‌های 2 و 3 به دلیل اینکه پارامترهای هیدرولیکی با توجه به کلاس بافت خاک برآورد شده بود، پروفیل‌های رطوبت نسبت به حالت 1 به هم نزدیک‌تر است.

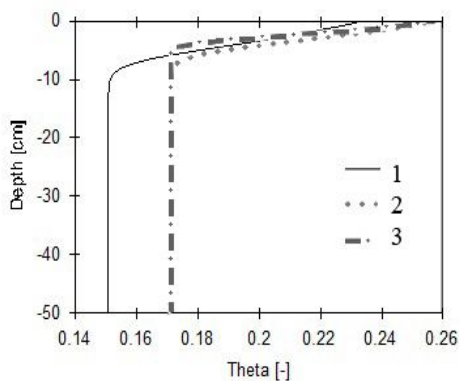
خاک در مکش 33 و 1500 کیلو پاسکال می‌باشد (اسخاپ و همکاران؛ 2001).

نهایتاً با انتخاب  $\Delta t=10s$  و  $\Delta y=0.5\text{ cm}$  پروفیل‌های بارشاری و رطوبت در مقابل عمق خاک بعد از گذشت زمان یک (3600 ثانیه) و سه (10800 ثانیه) ساعت ترسیم گردید. به منظور بررسی دقت مدل در این قسمت نیز، برای یکی از زمان‌ها (بعد از گذشت 3600 ثانیه) پروفیل‌های بار فشاری و رطوبت برای حالت‌های 1 تا 3 با استفاده از مدل Hydrus 1D رسم گردید. شکل 6 و 7 نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

مدل Hydrus 1D

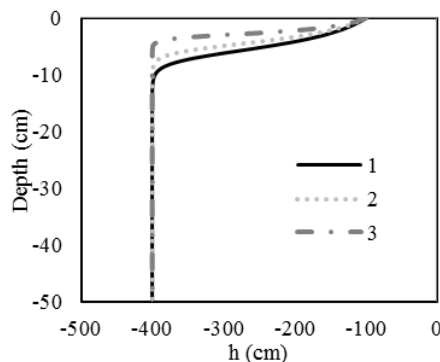


الف-2

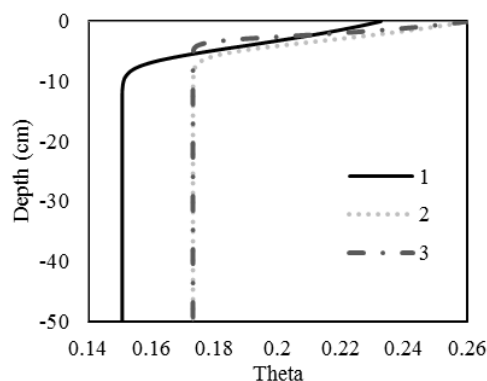


ب-2

مدل حاضر



الف-1



ب-1

شکل 6- مقایسه تأثیر حالت‌های مختلف برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بعد از گذشت یک ساعت (الف) بر پروفیل بارشاری (ب) بر پروفیل رطوبت

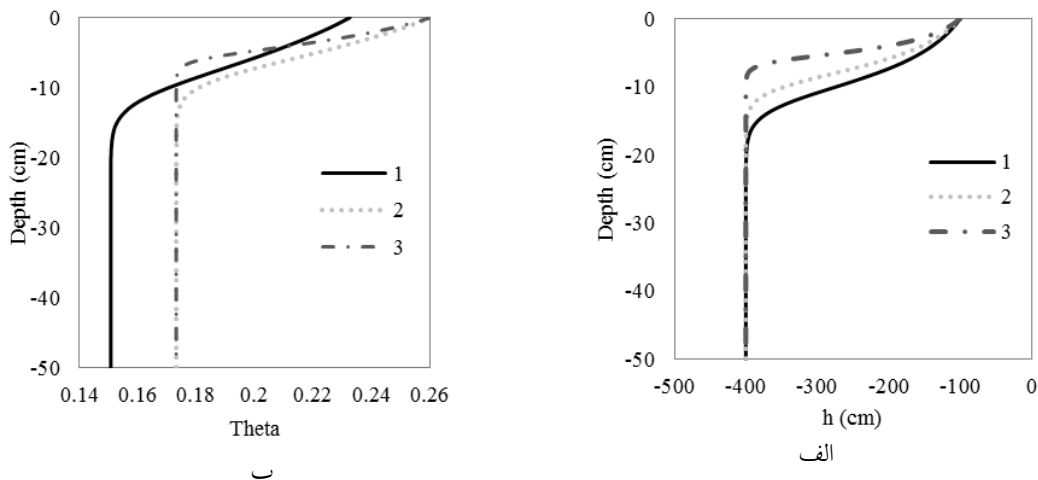
برای زمان‌های یک و سه ساعت نشان داد که با گذشت زمان به دلیل خشک شدن بیشتر خاک، تأثیر خصوصیات فیزیکی و خلل و فرج خاک باعث تفاوت بیشتر بین حالت‌های 1 تا 3 شده است. از اینرو توصیه می‌شود که در برآورد پارامترهای هیدرولیکی در شبیه سازی جریان

نتایج نشان داد که با گذشت زمان اختلاف بین پروفیل‌های ترسیم شده در حالت‌ها 1 تا 3 افزایش می‌یابد. شکل 7 تأثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه را بعد از گذشت سه ساعت نشان می‌دهد. مقایسه پروفیل‌های رطوبت و بارشاری



کامل ROSETTA استفاده شود.

آب در خاک به خصوص در زمان‌های طولانی از روش



شکل 7- تأثیر حالت‌های مختلف برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بعد از گذشت سه ساعت الف) بر پروفیل بارشباری ب) بر پروفیل رطوبت

ضرایب تابع وان گنوختن در حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج مدل با مدل Hydrus 1D نشان داد که مدل تهیه شده از دقت بسیار خوبی در تمامی حالت‌ها برخوردار است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در برآورد پارامترهای هیدرولیکی در شبیه سازی جریان آب در خاک به خصوص در زمان‌های طولانی بهتر است از روش کامل ROSETTA استفاده شود.

### نتیجه گیری

در این تحقیق با ارائه مدلی عددی، معادله ریچاردز در حالت تک بعدی به روش حجم محدود و روش گسسته سازی ضمنی تقریب زده شد. ابتدا با استفاده از نتایج آزمایشگاهی هاورکمپ و همکاران (1977)، مدل صحت سنجی شد. سپس به بررسی تأثیر حالت‌های مختلف برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی پرداخته شد. بدین منظور به کمک داده های ارائه شده در تحقیق اسکاگز و همکاران (2004)

### References

1. Azizipour, M. and Mahmoodian Shoostari, M. (2012). Numerical Solution of Richards's Equation in Unsaturated Flow using Finite Volume Method, Journal of Irrigation Science and Engineering, 35(2):65-72.
2. Bastos de Vasconcellos, C.A. and Amorim, J.C.C. (2001). Numerical simulation of unsaturated flow in porous media using a mass-conservative model. XVI Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), 8: 139-148
3. Brooks, R.H., and A.T. Corey.(1964). Hydraulic properties of porous media. Hydrology (3): pp: 27.
4. Farhadi, L. Ataie Ashtiani, B. (2005). Numerical solution of water flow in unsaturated zone, Iran- Water Resources Research, 1(1):29-39.
5. Ghalambor, A. Hashemi, S.M.R. and Zandparsa, S. (2013). On the Numerical Analysis of Richards' Equation for Modeling Flow in Unsaturated Soils, Journal of Irrigation Science and Engineering, 36(2):71-81.
6. Ghobadian, R. (2014). Numerical Simulation of Saturated-unsaturated 2D- unsteady Flow Toward Drain Using Finite Volume Method, Journal of Water and Soil, 28(3), 546-555.

7. Haverkamp, R. Vauclin, M. Touma, J. Wierenga P.J. and Vachaud, G. (1977). A comparison of numerical simulation models for one dimensional infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 41 (2): 285-294.
8. Mualem Y. 1976. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project Report, No. 442, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa.
9. Romano, N. Brunone, B. and A. Santini. (1998). Numerical analysis of one-dimensional unsaturated flow in layered soils. *Advance in Water Resources*, 21(3):15-324.
10. Schaap, M. G. Leij, F. J. and van Genuchten, M. Th. (2001). ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic properties with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251:163–176.
11. Skaggs, T.H. Trou, T. Šimunek, J. and Shouse, P.J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 130(4):304–310.
12. Van Genuchten, M. Th. (1982). A comparison of numerical solution of the one dimensional unsaturated –saturated flow and mass transport equations. *Advances in Water Resource*, 5:47-55.
13. Zarei, G. Liaghat, A.M. Homae, M. (2002). Unsteady state evaporation from bare soils with shallow groundwater table based on Brooks-Corey soil water retention curve, *Iranian Journal of Soil Research* 16(2):240-249.

## Application of One-Dimensional Model to Simulate Vertical Water Flow in Unsaturated Soil

**R. Ghobadian<sup>1</sup> and M. Basiri**

Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah;

E-mail: rsgkobadian@gmail.com

Ph.D student of Irrigation and Drainage, Razi University, Kermanshah;

E-mail: basirimahsa@yahoo.com

Received: April, 2018 and Accepted: August, 2018

### Abstract

In this study, one-dimensional equation of water flow in saturated-unsaturated soil was solved using finite volume method and implicit scheme. The relationship between unsaturated moisture content and pressure load was determined using Van Genuchten and Brooks-Corey hydraulic functions. The validation results of the model showed that the model accurately estimated the load pressure values. The Root Mean Square Error of the pressure load for the Van Genuchten and Brooks-Corey hydraulic functions was 0.0181 and 0.0439 meter, respectively. After confirmation of the results of the model, the effects of three different methods for estimating the hydraulic parameters of soil by ROSETTA software were evaluated on the soil moisture characteristics curve. In the first method the complete ROSETTA model, in the second method only soil texture and in the third method in addition of soil texture, porous medial shape parameter ( $l=0.5$ ) were considered. Comparison of the results of the model with the Hydrus 1D model showed that the prepared model had very good accuracy in all cases. Also, the results showed that with time passage and more soil drying, due to the effect of physical properties and soil porosity, the difference between three methods increases.

**Keywords:** Van Genuchten equation, Finite volume method, Richards' equation, Soil moisture characteristic curve

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Water Department, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah.