

## تخمین منحنی رطوبتی آب خاک با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک بر اساس مدل فرکتالی

محمد مهدی چاری<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

برگرفته از پژوهشی مستقل از پایان نامه و طرح تحقیقاتی.

### چکیده

به دست آوردن منحنی رطوبتی در آزمایشگاه زمان بر و پرهزینه است. لذا تخمین رطوبت خاک با استفاده از خصوصیات پایه ای خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق محاسبه منحنی رطوبتی آب خاک با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک و استفاده هندسه فرکتال می‌باشد. در این تحقیق از مدل تایلر و ویت-کرافت به منظور محاسبه منحنی رطوبتی استفاده شد. به منظور محاسبه بعد فرکتال در مدل تایلر-ویت کرافت ( $DSWRC$ ) با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک از چهار روش شامل ۱- بر اساس درصد رس با رابطه غیر خطی ۲- بر اساس درصد شن، سیلت و رس، ۳- درصد رس با رابطه خطی و ۴- بر اساس بعد فرکتال اندازه ذرات بدست آمده از درصد شن، سیلت و رس استفاده گردید. برای این پژوهش از ۳۰ نمونه خاک مناطق شمالی ایران با شش کلاس بافتی لوم، لوم رسی، رسی، لوم رسی شنی، سیلتی لوم و لوم شنی استفاده شد.  $DSWRC$  دارای بیشترین مقدار برابر با ۲/۹۰۹ در خاک رسی و کمترین مقدار برابر با ۲/۷۳۱ در خاک لوم شنی و میانگین ۲/۸۱۷ بود. مقدار میانگین بعد فرکتال به دست آمده از روش اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر با ۲/۸۴، ۲/۷۵، ۲/۸۶ و ۲/۸۲ بود. مقدار  $NRMSE$  روش اول برابر با ۰/۰۱۶۰، روش دوم برابر با ۰/۰۰۹۳، روش سوم برابر با ۰/۰۲۱۶ و روش چهارم برابر با ۰/۰۰۸۹ بود. نتایج نشان داد به استثناء روش بر اساس درصد شن، سیلت و رس نتایج سایر روش‌ها نزدیک به یکدیگر است.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه ذرات، فرکتال، منحنی رطوبتی.

## مقدمه

با توجه به اینکه چه بعد فرکتال برای خاک استفاده شود مدل‌های متفاوتی برای بیان منحنی رطوبتی (SWRC) توسعه یافته‌اند. تعدادی از آن‌ها بر پایه بعد فرکتال جرم (Kravchenko and Zhang, 1998)، تعدادی بر پایه بعد فرکتال سطح (de Gennes, 1985) و تعدادی نیز بر اساس بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات یا فاز منافذ خاک (Bird et al., 2000) توسعه یافته‌اند. به منظور تعیین منحنی رطوبتی آب-خاک با استفاده از این مدل‌ها نیاز به تعیین توان منحنی رطوبتی یا بعد فرکتال منحنی رطوبتی می‌باشد که این کار در آزمایشگاه و یا مزرعه زمان‌بر می‌باشد (Ghanbarian and Millán, 2009). در نتیجه استفاده از خصوصیات راحتی در اختیار قرار می‌گیرند می‌تواند مفید واقع شود. از آنجایی که به دست آوردن بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات ( $D_{PSD}$ ) آسانتر از بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) می‌باشد در بسیاری از موارد از بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات برای به دست آوردن منحنی رطوبتی استفاده می‌شود. بدین منظور Ghanbarian and Hunt (2012) سه روش Kravchenko and Zhang (1998)، Bird et al., (2000) و (Hunt and Gee (2002) را برای تخمین منحنی رطوبتی برپایه توزیع اندازه ذرات به کار برد و مشاهده کرد که روش (Hunt and Gee (2002) از دو روش دیگر بهتر بوده است.

بعد فرکتال منحنی رطوبتی رابطه بسیار قوی با بافت خاک دارد، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش رس خاک بعد فرکتال افزایش و با افزایش شن خاک کاهش می‌یابد (Huang and Zhang, 2005). اخیراً توابعی برای تخمین بعد فرکتال منحنی رطوبتی ارائه شده که در آنها از درصد های بافت خاک استفاده می‌شود. از نمونه-های آن می‌توان به توابع Huang and Zhang, (2005)، (Ghanbarian and Millán, (2009) اشاره کرد.

منحنی مشخصه آب-خاک یک از ویژگی‌های بنیادی خاک برای تعیین مقدار آب در دسترس گیاه و همچنین مدل‌سازی حرکت آب و املاح در خاک می‌باشد (Medina et al., 2002). تخمین منحنی مشخصه رطوبتی خاک به روش مستقیم گران، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد در نتیجه جهت دور زدن این موانع روش‌های غیر مستقیم معرفی شدند. در این روش‌ها منحنی مشخصه آب-خاک با استفاده از داده‌های زود یافت خاک (شن، سیلت، رس و ...) بدست می‌آیند. در میان روش‌های غیر مستقیم، توابع انتقالی (حق‌وردی و همکاران، ۱۳۸۹; Wosten et al., 2001) و روش‌های استفاده از هندسه فرکتال (Tyler and Wheatcraft, 1990; Kravchenko and Zhang, 1998; Ghanbarian- Alvijeh and Hunt, 2012) به طور گسترده مورد استفاده پژوهشگران قرار می‌گیرند.

در سال‌های اخیر هندسه فرکتال ابزار مفیدی ایجاد کرده که قادر است شکاف بین استفاده از مدل‌های تجربی و تفسیر فیزیکی ضرایب را پر کند (Huang and Zhang, 2005). بر پایه این فرض که هر دو فاز جامد خاک و فضای منافذ خاک نسبتاً خود متشابه هستند هر کدام از آنها می‌توانند خصوصیات فرکتالی متفاوتی از خاک را بیان کنند، در نتیجه در سال‌های اخیر یافته‌های نظریه فرکتال برای مدل‌های توزیع اندازه ذرات (PSD) (Tyler and Wheatcraft, 1992)، توزیع اندازه منافذ (Tyler and Wheatcraft, 1990)، فرکتال سطح منافذ (de Gennes, 1985) و فرکتال منافذ-ذرات (PSF) (Bird et al., 2000) در علوم آب و خاک گسترش پیدا کردند.

در این رابطه معادله ای خطی بین  $\log(\theta)$  به عنوان متغیر وابسته و  $\log(h)$  به عنوان متغیر مستقل و با شیب  $D_{SWRC-3}$  و عرض از مبدأ  $(3 - \log(\theta_s) + [\log(\theta_s) \log(h_0)] D_{SWRC})$  می باشد. از طرفی مقدار رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در مکش صفر بدست آمد. در نتیجه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی مکش-رطوبت برای هر خاک، می‌توان بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) و مکش ورود هوا ( $h_0$ ) را به دست آورد.

de Gennes (1985) با استفاده از بعد فرکتال سطح رابطه‌ای مشابه رابطه کمپل ارائه کرده است:

$$\theta = \varphi \left( \frac{h}{h_0} \right)^{D_s-3} \quad (3)$$

در این رابطه  $D_s$  بعد فرکتال سطح و  $\varphi$  تخلخل، که برابر با رطوبت در حالت اشباع و  $h_0$  مکش ورود هوا (cm) است. معنی فیزیکی بعد فرکتال ارائه شده در معادله (۳) و معادله (۱) متفاوت است. اما از لحاظ تئوری این دو بعد برابر می‌باشند.

**تعیین بعد فرکتال با استفاده از بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس)**

روش اول (Huang and Zhang, 2005): در این روش با بررسی تعداد زیادی خاک رابطه‌ای غیر خطی بین بعد فرکتال و درصد رس به صورت زیر ارائه شد:

$$D_{SWRC} = a_0 + \frac{1 - e^{a_1 C}}{a_2(1 + e^{a_1 C}) + a_3(1 - e^{a_1 C})} \quad (4)$$

که در آن  $C$  درصد رس (%)،  $a_0$ ،  $a_1$ ،  $a_2$  و  $a_3$  پارامترهای برازش می‌باشند که به وسیله هوانگ و ژانگ برای ۴۳۸ نمونه خاک از بانک UNSODA محاسبه شدند.

Sepaskhah and Tafteh (2013) و چاری و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد.

اگرچه استفاده از این روش‌ها فرکتالی با نتایج با ارزشی همراه بوده است اما باید توجه داشت که رفتار هیدرولیکی خاک‌ها از خاکی به خاک دیگر متفاوت می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده هدف از این تحقیق ارزیابی دقت روش‌های استفاده از پارامترهای زود یافت خاک (Ghanbarian, Huang and Zhang, (2005) and Millán, (2009) and Sepaskhah and Tafteh (2013) و چاری و همکاران (۱۳۹۴)) به منظور پیش-بینی درصد رطوبت برپایه روش فرکتال در تعدادی از خاک‌های ایران با شش کلاس بافتی لوم، لوم رسی، رسی، لوم رس شنی، سیلتی لوم و لوم شنی است.

## مواد و روش‌ها

### روش فرکتال

برپایه هندسه فرکتال روش‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی منحنی رطوبتی بیان گردیده است. (Tyler and Wheatcraft, 1990) از الگوی فرش سرپینسکی برای توصیف اندازه خلل و فرج در خاک استفاده نموده و رابطه‌ای توانی، مشابه معادله تجربی کمپل، به صورت زیر ارائه نمودند:

$$\theta = \theta_s \left( \frac{h}{h_0} \right)^{D_{SWRC}-3} \quad (1)$$

در این رابطه  $\theta_s$  رطوبت اشباع،  $h_0$  مکش ورود هوا (cm)،  $h$  مکش اعمال شده به خاک (cm)،  $D_{SWRC}$  بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) و  $\theta$  رطوبت حجمی ( $m^3 m^{-3}$ ) می‌باشد. معادله (۱) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\log(\theta) = a + b \log(h) \quad (2)$$

خاک، به عنوان متغیر مستقل، و لگاریتم شعاع ذرات، به عنوان متغیر وابسته، برابر با  $3-D_{PSD}$  خواهد بود. بنابراین، بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات برابر با تفاضل عدد ۳ از شیب معادله خط رگرسیون خواهد بود.

چاری و همکاران (۱۳۹۴) به جای استفاده از کل داده‌های منحنی دانه‌بندی، با استفاده از سه شعاع ۱ (ذرات رس)، ۲۵ (ذرات سیلت) و ۱۰۰۰ (ذرات شن) میکرومتر، بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات را به دست آوردند و سپس رابطه (۸) را برای تعیین بعد فرکتال منحنی رطوبتی ارائه کردند:

$$D_{SWRC} = 0.773D_{PSD} + 0.654, \quad (8)$$

$$R^2 = 0.871$$

#### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از ۳۰ نمونه خاک با بافت‌های مختلف از ناحیه شمال ایران (شهرهای آمل، بابل و کرچ) استفاده گردید که مشخصات آماری آنها در جدول ۱ موجود می‌باشد. بافت خاک به طریقه هیدرومتر بایکاس، و وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه و پارافین محاسبه گردید. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری میزان رطوبت هر نمونه خاک در سه تکرار در پتاسیل‌های صفر، ۵، ۳۳، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. خاک‌ها به شش کلاس بافتی شامل بافتی لوم با ۱۰ نمونه، لوم رسی با ۹ نمونه، رسی با ۲ نمونه، لوم رس شنی با ۳ نمونه، سیلتی لوم با ۳ نمونه و لوم شنی با ۳ نمونه تقسیم شدند.

روش دوم، (Sepaskhah and Tafteh, 2013): این پژوهشگران با استفاده از درصد شن، سیلت و رس، رابطه‌ی زیر را برای تعیین بعد فرکتال ارائه نمودند:

$$D_s = 3 - 0.118 \left[ -\ln \left( \frac{C}{100} \right) + \left( \frac{Si + Sa}{100} \right) \right] \quad (5)$$

در این رابطه  $D_s$  بعد فرکتال سطح،  $C$  درصد رس،  $Si$  درصد سیلت و  $Sa$  درصد شن است.

روش سوم (Ghanbarian and Millán, 2009): یک رابطه خطی برای تعیین بعد فرکتال سطح با استفاده از درصد ذرات رس به صورت زیر ارائه کردند (۱۰):

$$D_s = 0.0785 \ln(C\%) + 2.6129 \quad (6)$$

در این رابطه  $C$  درصد ذرات رس است.

روش چهارم: Tyler and Wheatcraft (1992) رابطه بین جرم ذرات خاک و بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات ( $D_{PSD}$ ) را به صورت رابطه (۷) ارائه کردند:

$$\frac{M(<R)}{M_T} = \left( \frac{R}{R_{max}} \right)^{3-D_{PSD}} \quad (7)$$

در این رابطه  $M(<R)$  بیان کننده جرم ذرات با شعاع کمتر از  $R$ ،  $M_T$  کل جرم خاک،  $R_{max}$  حداکثر شعاع ذرات و  $D_{PSD}$  بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات می‌باشد. از این رو، شیب خط رگرسیون بین لگاریتم جرم ذرات

جدول (۱): مشخصات آماری خاک‌های مورد استفاده

بافت خاک	تعداد	شن (%)		سیلت (%)		رس (%)	
		حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
لومی	۱۰	۵۰	۳۳/۶	۴۱	۲۹	۲۸	۱۴
لوم رسی	۹	۴۱/۵	۲۵	۳۷	۲۷/۲	۳۷/۲	۲۴
رسی	۲	۲۲	۱۴	۳۷	۲۹	۵۶	۴۰/۸
لوم رس شنی	۳	۴۹	۴۶	۲۸/۵	۲۷/۵	۲۶	۲۳
سیلتی لوم	۳	۳۲	۲۹	۵۲	۵۰	۱۹	۱۸
لوم شنی	۳	۷۰	۵۳	۳۴	۲۰	۱۴	۹

تقسیم  $p_i$  به  $O_i$  به دست می‌آید و  $n$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد. هرچه مقدار  $NRMSE$  و  $ME$  نزدیک به صفر باشد مدل مناسب‌تر است. مقدار بهینه  $GMER$  برابر با یک می‌باشد و تطبیق بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی را نشان می‌دهد. همچنین برای درک بهتر عملکرد مدل‌ها، مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل‌های مختلف برای خاک‌هایی با بافت مختلف رسم گردید.

#### نتایج و بحث

جدول ۲ مقدار بعد فرکتال به دست آمده از معادله (۱) به همراه مکش ورود هوا ( $h_0$ ) را برای خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) دارای بیشترین مقدار برابر با ۲/۹۴ (در خاکی با بافت رس) و کمترین مقدار برابر با ۲/۶۸ (در خاکی با بافت لوم شنی) می‌باشد. نتایج تحقیقات Huang and Zhang (2005) بر روی ۴۳۸ نمونه خاک از بانک UNSODA نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار بعد فرکتال منحنی رطوبتی به ترتیب برابر با ۲/۹۶ (سیلتی لوم رسی) و ۲/۰۹ (لومی) می‌باشد و با افزایش

#### ارزیابی روش‌ها

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف در برآورد بعد فرکتال بر روی بازسازی منحنی رطوبتی و مقایسه آن با توابع انتقالی، از شاخص‌های آماری ریشه مربع میانگین خطاهای نرمال شده ( $NRMSE$ ، رابطه ۹)، میانگین خطا ( $ME$ ، رابطه ۱۰)، نسبت خطای متوسط هندسی ( $GMER$ ، رابطه ۱۱) و خط رگرسیون استفاده گردید:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum (p_i - o_i)^2 / n}}{\bar{p}} \quad (9)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)}{n} \quad (10)$$

$$GMER = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\varepsilon_i)}{n} \right] \quad (11)$$

در این روابط  $p_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در  $\bar{a}$  و  $\bar{p}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده،  $\varepsilon$  نسبت خطا که از



درصد رس خاک، بعد فرکتال منحنی رطوبتی افزایش و با افزایش مقدار شن بعد فرکتال کاهش می‌یابد. تحقیقات قنبریان و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که مقدار بعد فرکتال بین، ۲/۲۴ (برای خاک شنی) و ۲/۹۷ (رسی) متغیر می‌باشد. همچنین مکش ورود هوا ( $h_0$ ) دارای بیشترین مقدار برابر با ۴۴/۴۵ سانتی‌متر (در خاک لوم شنی) و کمترین مقدار برابر با ۰/۶۰ سانتی‌متر (در یک خاک رسی) می‌باشد که با نتایج Huang and Zhang, (2005) برای خاک‌های UNSODA همخوانی دارد.

جدول (۲): مقادیر پارامترهای معادله (۱) برای خاک‌های مورد مطالعه

بافت خاک	$R^2$			$h_0$ (- cm)			$D_{SWRC}$		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
لومی	۰/۹۶۵	۰/۹۲۳	۰/۹۹۶	۱۲/۳۰	۳/۳۶	۳۴/۱۲	۲/۸۲۰	۲/۷۵۳	۲/۸۵۴
لوم رسی	۰/۹۲۴	۰/۹۰۷	۰/۹۵۴	۵/۹۹	۱/۷۴	۱۰/۶۰	۲/۸۴۸	۲/۸۲۵	۲/۸۸۱
رسی	۰/۹۷۴	۰/۹۶۶	۰/۹۸۲	۲/۷۹	۰/۶۰	۴/۹۸	۲/۸۹۰	۲/۸۷۲	۲/۹۰۹
لوم رس شنی	۰/۹۱۸	۰/۸۹۸	۰/۹۴۷	۷/۵۵	۲/۹۶	۱۸/۰۲	۲/۸۳۴	۲/۸۲۲	۲/۸۴۶
سیلتی لوم	۰/۹۲۳	۰/۹۱۶	۰/۹۳۰	۲۰/۱۵	۱۲/۹۴	۲۷/۳۷	۲/۷۸۳	۲/۷۶۴	۲/۸۰۲
لوم شنی	۰/۹۵۵	۰/۹۲۱	۰/۹۷۱	۲۱/۰۱	۱۰/۱۲	۴۴/۴۵	۲/۷۳۱	۲/۶۸۰	۲/۷۸

روش هوانگ و ژانگ (روش اول)، مقدار بعد فرکتال بین ۲/۹۱ تا ۲/۷۰ متغیر بوده و میانگین آن برابر با ۲/۸۴ است. مقدار بیشینه این روش بسیار نزدیک به مقدار بیشینه  $D_{SWRC}$  است. مقدار کمینه این روش کمتر از کمینه  $D_{SWRC}$  در جدول (۲) است. در روش سپاسخواه و تافته (روش دوم)، مقدار بعد فرکتال دارای بیشترین مقدار برابر با ۲/۸۸ و کمترین مقدار برابر با

مقادیر بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار بعد فرکتال منحنی رطوبتی محاسبه شده با استفاده از چهار روش فرکتالی ((Huang and Zhang, (2005), Sepaskhah, Ghanbarian and Millán, (2009) and Tafteh (2013) and چاری و همکاران (۱۳۹۴)) در جدول ۳ موجود است. جدول ۳ نشان می‌دهد که در

رطوبتی به دست آمده با معادله ۸ (روش چهارم) بین ۲/۶۵ تا ۲/۹۲ با میانگین ۲/۸۲ است. مقدار میانگین به دست آمده از روش چهارم بیشترین نزدیکی را به بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) دارد. مقدار کمینه بعد فرکتال به دست آمده از روش چهارم کمتر از کمینه بعد فرکتال  $D_{SWRC}$  است. نتایج جدول ۳ نشان می-دهد که به استثنا روش دوم نتایج سه روش دیگر نزدیک به یکدیگر است.

۲/۶۱ با میانگین برابر با ۲/۷۵ بود. مقدار بعد فرکتال به دست آمده با این روش در مقایسه با  $D_{SWRC}$  در جدول (۲) متفاوت است.

در روش سوم (قنبریان و میلان) دارای میانگین ۲/۸۶ و بیشینه و کمینه به ترتیب ۲/۹۲ و ۲/۷۵ است. در این مقادیر بعد فرکتال بیشتر از بعد فرکتال منحنی رطوبتی ( $D_{SWRC}$ ) است. مقدار بعد فرکتال منحنی

جدول (۳). بعد فرکتال بدست آمده با استفاده از روش‌های مختلف

Standard deviation	Mean	Minimum	Maximum	بعد فرکتال
۰/۰۴۰	۲/۸۴	۲/۷۰	۲/۹۱	معادله ۴
۰/۰۵۶	۲/۷۵	۲/۶۱	۲/۸۸	معادله ۵
۰/۰۲۷	۲/۸۶	۲/۷۵	۲/۹۲	معادله ۶
۰/۰۴۵	۲/۸۲	۲/۶۵	۲/۹۲	معادله ۸

بیشترین مقدار برابر با ۰/۰۶۴۳ در روش Sepaskhah and Tafteh (2013) می‌باشد. مقدار GMER نیز با مقدار ۱/۰۵۵ در روش Ghanbarian and Millán, (2009) و ۰/۹۴۵ در روش معادله (۸)، بهتر از دو روش دیگر می‌باشد. مقدار GMER بزرگتر از یک در روش Ghanbarian and Millán, (2009) نشان دهنده بیش برآورد این روش در محاسبه منحنی رطوبتی می-باشد.

جدول ۴ نتایج ارزیابی آماری چهار روش فرکتالی هوانگ و ژانگ، سپاسخواه و تافته، قنبریان و میلان و چاری و همکاران به منظور محاسبه منحنی رطوبتی برای ۳۰ نمونه خاک مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. کمترین مقدار NRMSE برابر با ۰/۰۰۸۹ برای روش معادله ۸ (روش چهارم) و بیشترین مقدار آن برابر با ۰/۰۲۱۶ در روش Sepaskhah and Tafteh (2013) می‌باشد. مقدار ME نیز دارای کمترین مقدار برابر با ۰/۰۱۳ در Ghanbarian and Millán, (2009) و

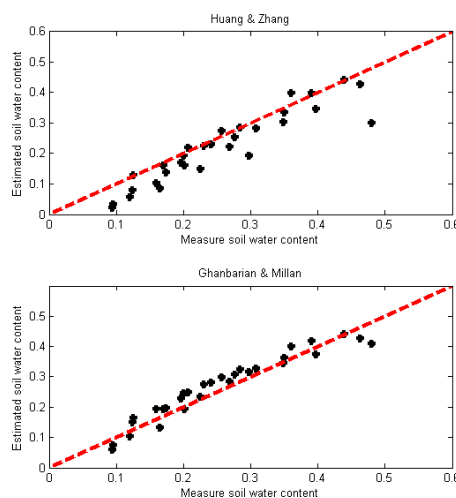
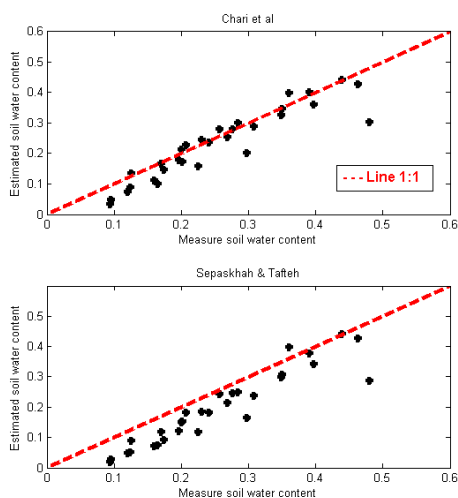


جدول (۴): نتایج ارزیابی آماری برای مدل‌های مختلف فرکتالی

R <sup>2</sup>	GMER	ME	NRMSE	روش محاسبه بعد فرکتال
۰/۸۸	۰/۹۱۴	-۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۶۰	هوانگ و ژانگ
۰/۷۴	۰/۸۹۰	-۰/۰۶۴۳	۰/۰۲۱۶	سپاسخواه و تافته
۰/۹۱	۱/۰۵۵	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۹۳	قنبریان و میلان
۰/۹۲	۰/۹۴۵	-۰/۰۲۶۹	۰/۰۰۸۹	چاری و همکاران

سیلت و رس) روش Ghanbarian and Millán, (2009) و روش چاری و همکاران (۱۳۹۴) بهتر از دو روش دیگر (Huang and Zhang, (2005)) روش دیگر (Sepaskhah and Tafteh (2013) عمل کرده است. همچنین دقت روش Huang and Zhang, (2005) بهتر از دقت روش Sepaskhah and Tafteh (2013) در برآورد منحنی رطوبتی است. از آنجا که در مدل Tyler and Wheatcraft, (1990) (رابطه ۱) رابطه مستقیمی بین رطوبت و بعد فرکتال برقرار می‌باشد، تخمین کمتر رطوبت در نتیجه تخمین کمتر پارامتر فرکتال می‌باشد.

شکل ۱ مقایسه بین رطوبت پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با استفاده از چهار روش اندازه‌گیری بعد فرکتال را نسبت به خط یک به یک نشان می‌دهد. نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد که محاسبه بعد فرکتال با استفاده از روش Ghanbarian and Millán, (2009) و رابطه (۸) با ضریب تعیین ۰/۹۱ و ۰/۹۲ نسبت به دو روش دیگر با ضریب تعیین ۰/۷۴ و ۰/۸۸ مناسب‌تر بوده است. نتایج شکل ۱ و جدول ۴ حاکی از این است که در بین روش‌های محاسبه بعد فرکتال منحنی رطوبتی با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک (درصد شن،

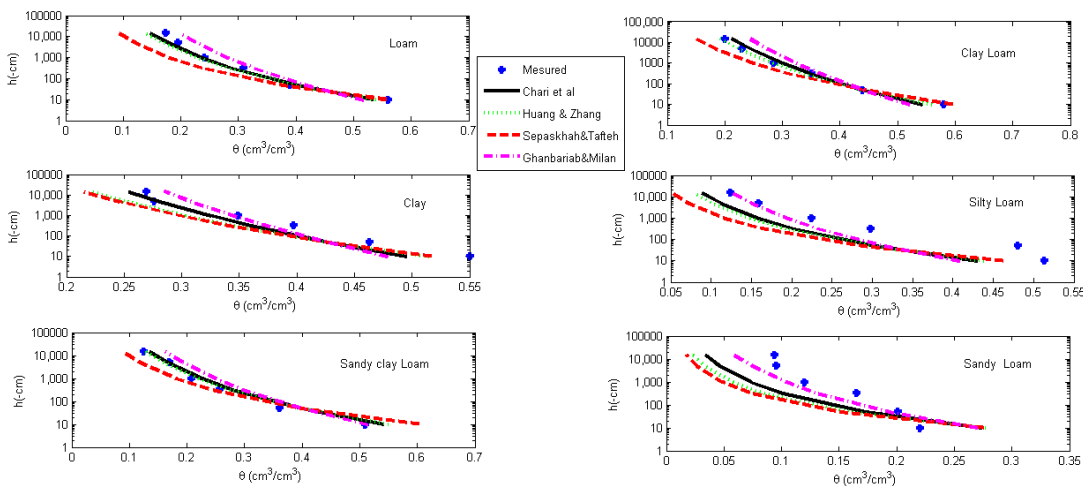


شکل (۱): مقایسه بین رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های مختلف برآورد بعد فرکتال



(۱۳۹۴) نیز نتیجه گرفتند که در خاک‌های سبک دقت مدل فرکتالی کاسته می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۲ و جدول ۳ (مقادیر ME) در بیشتر موارد (به استثنا روش (Ghanbarian and Millán, 2009) مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده کمتر از رطوبت اندازه‌گیری شده می‌باشد. نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که روش Sepaskhah and Tafteh (2013) دارای کمترین دقت در برآورد منحنی رطوبتی نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که دقت روش‌های فرکتالی برای خاک‌های مورد مطالعه در بافت لوم شنی و سیلتی لوم نسبت به خاک‌های دیگر کمتر می‌باشد. خاک لوم شنی دارای ۱۰ درصد رس و ۷۰ درصد شن بوده و خاک سیلتی لوم دارای ۱۴ درصد رس و ۳۵ درصد شن می‌باشد. به طور کلی با کاهش مقدار رس دقت روش فرکتالی در محاسبه منحنی رطوبتی کاهش می‌یابد. نتایج (Tyler and Wheatcraft, 1990) نشان داد که دقت مدل فرکتالی در پیش‌بینی رطوبت برای خاک‌های سبک کاهش می‌یابد. چاری و همکاران



شکل (۲): منحنی رطوبتی به دست آمده از روش‌های مختلف فرکتالی برای ۶ نمونه خاک بافت‌های مختلف

بود. نتایج نشان داد که به استثنا روش سپاسخواه و تافته، بعد فرکتال بدست آمده با سه روش دیگر نزدیک به یکدیگر است. به منظور ارزیابی منحنی رطوبت بدست با روش‌های مختلف از شاخص‌های آماری  $R^2$ ، GMER، ME، NRMSE و  $R^2$  استفاده گردید. مقدار NRMSE دارای کمترین مقدار برابر با NRMSE در روش چاری و همکاران و پس از آن روش قنبریان و میلان بود. نتایج GMER و مقایسه خط یک به یک نشان داد که روش قنبریان و میلان (با GMER برابر با ۱/۰۵۵) مقدار رطوبت را بیش برآورد کرده است و در سه روش دیگر محاسبه منحنی رطوبتی کم برآورد (با

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی دقت روش‌های مختلف در برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک نظیر درصد شن، سیلت و رس صورت گرفت. برای این منظور چهار روش مختلف برای برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از بعد فرکتال، برای ۳۰ نمونه خاک شمال مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای بدست آوردن بعد فرکتال از چهار روش هوانگ و ژانگ، سپاسخواه و تافته، قنبریان و میلان و چاری و همکاران استفاده شد. بعد فرکتال منحنی رطوبتی برای خاک‌های مورد مطالعه بین مقادیر ۲/۹۱ تا ۲/۷۳ متغییر و دارای میانگین ۲/۸۲



### تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-9618-122 انجام شد که بدین وسیله از آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

GMER کمتر از یک) بوده است. نتایج نشان داد که به استثنا روش سپاسخواه و تافته سایر روش‌ها با دقت مناسبی منحنی رطوبتی را برآورد می‌کند. به طور کلی این پژوهش کارایی روش فرکتالی را برای شبیه‌سازی منحنی رطوبتی با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک را برای تعدادی از خاک‌ها ایران با موفقیت اثبات کرد.

### منابع

- چاری م.م.، ب. قهرمان، ک. داوری و ع.ا. خشنود یزدی. ۱۳۹۴. تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از توزیع اندازه ذرات بر پایه روش فرکتال. آب و خاک. ۲۹ (۳): ۶۱۴-۶۰۴.
- حق‌وردی، ا.، ب. قهرمان، م. جلیلی، ع.ا. خشنود یزدی و ز. عربی. ۱۳۸۹. مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی برخی خاک‌های ایران با استفاده از توابع انتقالی شبه پارامتریک شبکه عصبی. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب. سال اول شماره اول ۱ (۱): ۸۲-۶۹.
- کها مقدم، پ. و ع.ا. سپاسخواه. ۱۳۹۵. ارزیابی سه مدل فراکتالی برای تعیین منحنی مشخصه آب خاک. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب. ۲۶: ۴۵-۲۸.

Bird, N., E. Perrier and Rieu M . 2000. The water retention curve for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions. European journal of soil science. 55:55-63.

De Gennes, P.G. 1985. Partial filling of a fractal structure by a wetting fluid. In: Adler, P.M., Fritzsche, H., Ovshinsky, S.R. (Eds.), Physics of Disordered Materials. Plenum Press, New York, pp. 227-241.

Ghanbarian-Alavijeh, B and A.G. Hunt. 2012. Estimation of soil-water retention from particle-size distribution: Fractal approaches. Soil Science. 177: 321-326.

Ghanbarian-Alavijeh, B and H. Millán. 2009. The relationship between surface fractal dimension and soil water content at permanent wilting point. Geoderma. 151:224-23.

Huang, G and R. Zhang. 2005. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model. Geoderma. 127:52-61.

Hunt, A.G., and G.W. Gee. 2002. Application of critical path analysis to fractal porous media: Comparison with examples from the Hanford site. Advance Water Resource. 25:129-146.

Kravchenko, A., and R. Zhang. 1998. Estimating the soil water retention from particle-size distributions: A fractal approach. Soil Science. 163: 171-179.



Medina H., M Tarawally, A. del Valle and M.E. Ruiz. 2002. Estimating soil water retention curve in rhodic ferralsols from basic soil data. *Geoderma*. 108: 277–285.

Sepaskhah, A.R., and A. Tafteh. 2013. Pedotransfer function for estimation of soil-specific surface area using soil fractal dimension of improved particle-size distribution. *Archive of Agronomy and soil science*. 59(1): 93-103.

Tyler, S.W. and S.W. Wheatcraft. 1990. Fractal processes in soil water retention. *Water Resource Research*. 26:1047–1054.

Tyler, S.W. and S.W. Wheatcraft. 1992. Fractal scaling of soil-particle size distributions: analysis and limitations. *Soil Science Society American*. 56, 362–369.

Wosten, J.H.M., Y.A. Pachepsky and W.J. Rawls. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*. 251: 123–15



## Estimation of Soil- Water Retention Curve Using Readily Available Soil Properties Based on Fractal Approach

Mohammad Mahdi Chari <sup>1</sup>

### Abstract

To obtain in a laboratory retention curve is not cost and time effective. So estimation of soil moisture using basic soil properties is of importance. The objective of this study was to calculate the soil-water retention curve using the readily available parameters of soil, fractal geometry. In order to calculate the fractal dimension in the TW type ( $D_{SWRC}$ ) model from readily available parameters of soils, four methods were used based on (1) clay percentage with non-linear equation, (2) clay, sand and silt percentage, (3) clay percentage with logarithmic equation, and (4) the fractal dimension of particles obtained from clay, silt and sand. 30 soil samples with different texture including loam, clay loam, clay, sandy clay loam, silty loam and sandy loam from the northern part of Iran were used to evaluate fractal functions.  $D_{SWRC}$  had the maximum value of 2.909 in clay soil and the minimum value of 2.731 in sandy loam soil and average of 2.817. The average fractal dimension obtained by the first, second, third and fourth methods were 2.84, 2.86, 2.75 and 2.82, respectively. NRMSE value of the first method was 0.0160, the second method was 0.0093, the third method was 0.0216 and the fourth method was 0.0089. The results showed that except for the method based on the percentage of sand, silt and clay, the results of the other methods are close to each other.

**Key words:** Particle size distribution, Fractal, Soil-water retention curve.

---

<sup>1</sup> Assistance Professor, Water Engineering Department, Faculty of Soil and Water, University of Zabol. Email: mmahdichari@uoz.ac.ir.