پژوهش های آبخیزداری شماره ۹۹، تابستان ۱۳۹۲
(پژوهش و سازندگی)

تخمین منحنی رطوبتی خاک با استفاده از بعد فرکتالی اندازه ذرات خاک

• **محمود فاضلی سنگانی** (نویسنده مسئول)
دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
• **احمدرضا پیله ور شهری**
دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان
تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۰
تلفن تماس: ۰۹۱۵۵۳۱۳۶۰۶
Email: mahmoodfazelisangani@gmail.com

چکیده

منحنی رطوبتی خاک، یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی در مطالعات انتقال آب و املاح در خاک می باشد. از آنجا که اندازه گیری مستقیم این ویژگی، زمان بر و هزینه بر است، محققین روش های غیرمستقیمی همچون توابع انتقالی و مدل های تجربی را برای تعیین آن پیشنهاد داده اند. در این پژوهش، از مدل های فرکتالی برای تخمین منحنی رطوبتی خاک استفاده شده است. بدین منظور بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک با استفاده از مدل های فرکتالی تعیین و رابطه ی بین بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک (D_{SWRC}) با بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک (D_{PSD})، درصد رس، سیلت و شن، میانگین هندسی ذرات خاک (dg) و چگالی ظاهری (ρb)، مورد بررسی قرار گرفت. منحنی رطوبتی و توزیع اندازه ذرات خاک برای ۴۰ نمونه خاک تعیین شد که ۳۳ نمونه خاک برای آنالیز رگرسیونی و ۷ نمونه برای اعتبار سنجی مدل استفاده گردید. نتایج نشان داد که رابطه ی معنی داری (در سطح ۱ درصد) بین D_{SWRC} و D_{PSD} و dg با ضریب تبیین (R^2 =۰/۹۵) برقرار است که از این رابطه برای تخمین منحنی رطوبتی خاک استفاده گردید. نتایج بیانگر تخمین مناسبی از منحنی رطوبتی برای خاک های با بافت سبک بود اما برای خاک های با بافت ریز، استفاده از این مدل دارای بیش برآورد بود که این بیش برآورد با واسنجی مدل اصلاح گردید.

کلمات کلیدی: توزیع اندازه ذرات، مدل فرکتالی، رابطه رگرسیونی، منحنی رطوبتی خاک.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 99 pp: 126-132

Estimation of soil water retention curve by using fractal dimension of soil particle size distribution

By: Fazeli Sangani, M. PhD. Student of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad., Pilevar Shahri, A. R. (Corresponding Author; Tel: +989155313606), MSc. Student of Soil Science, Isfahan University of Technology.

Received: January 2011 **Accepted: March 2011**

Soil water retention curve (SWRC) is an important hydraulic property in the studies of water and solute movement in soil and its direct measurement is time consuming and expensiveness. Therefore many indirect procedures like pedotransfer function and empirical models have proposed by soil scientists. In this study, a model based on fractal theory, was used to estimate water retention curve. For estimating Fractal dimension (D) that used in this model, it was tried to find out a simple relation between this parameter and feasible soil properties such as, soil particle size distribution (PSD) fractal dimension, clay, silt and sand content, ρb, dg, by applying stepwise regression analysis. The SWRC was measured for 40 soil samples, which included all soil texture classes, by pressure plate. the measured D_{SWRC} for 33 soil samples, used for regression analysis and 7 soil samples was used for model validation. The regression analysis showed a linear relationship between D_{SWRC} and D_{PSD} and dg with goodness of fit, $R^2 = 0.95$. Estimation SWRC for 7 soil sample whit replacement estimated D by linear model, showed that the model had a good estimation, especially for light texture soils. Also there is an overestimate that can be modified by model calibration.

Keywords: Fractal model, Particle size distribution, Regression model, Soil moisture curve

مقدمه

منحنی رطوبتی خاک، یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی خاک است که برای تعیین زمان آبیاری، تعیین میزان رطوبت قابل استفاده گیاه، محاسبه توزیع اندازه خلل و فرج، ارزیابی ساختمان خاک و تعیین ضریب آبگذری خاک کاربرد دارد. اندازه گیری مستقیم منحنی رطوبتی خاک زمان بر و هزینه بردار است؛ از این رو سعی بر این بوده تا از روش های غیرمستقیم برای تخمین آن استفاده شود. تلاش های زیادی در این زمینه شده و معادلات تجربی فراوانی ارائه شده است(Alizadeh، ۲۰۰۰).

مطالعات گوناگونی برای تخمین این ویژگی با استفاده از پارامترهای زود یافت، همچون درصد ذرات رس، سیلت و شن، جرم مخصوص ظاهری خاک، ماده آلی و منحنی دانه بندی، تا کنون صورت گرفته است. روش های غیرمستقیم مختلفی از جمله، مدل توزیع اندازه خلل و فرج و توزیع اندازه ذرات خاک (Van Genuchten، ۱۹۸۰؛ Arya و Paris، ۱۹۸۱)، توابع انتقالی (Wosten و Van Genuchten، ۱۹۸۸) و شبکه عصبی مصنوعی (Minasny و Mcbratney، ۲۰۰۷؛ Schaap و Van Genuchten، ۲۰۰۱) برای تعیین منحنی رطوبتی به کار گرفته شده است.

مدل های تجربی زیادی نیز به منظور پیش بینی منحنی مشخصه رطوبتی خاک ارائه شده است (Brooks و Corey، ۱۹۶۴؛ Campbell، ۱۹۷۴؛ Van Genuchten، ۱۹۸۰). در این مدل ها پارامترهای معادله معمولاً از روش برازش معادله به داده ها و یا از روش توابع انتقالی تخمین زده می شوند (Wosten و Van Genuchten، ۱۹۸۸).

برای اندازه گیری های مستقیم و غیرمستقیم و مدل سازی در خاک اشکال با هندسه ایده آل مانند کره، دایره و خط به طور گسترده در نظر گرفته می شوند. حال آنکه اشکالی که در خاک دیده می شوند، نامنظم هستند و فرض منظم بودن اشکال (استوانه، دایره، کره و خط) برای اندازه گیری، مدل سازی و شبیه سازی خصوصیات خاک باعث ایجاد خطاهای غیر قابل کنترل می شود؛ بنابراین تکنیک های هندسی مانند هندسه فرکتال که قادر به توصیف بی نظمی اجسام در مقیاس های مختلف هستند، مورد توجه قرار می گیرند (Perfect و Kay، ۱۹۹۵).

تئوری فرکتال در بررسی منحنی رطوبتی خاک نیز مورد توجه قرار گرفته است (Rieu و Sposito، ۱۹۹۱). از آن جا که توزیع منافذ و ذرات خاک در تعیین خصوصیات منحنی مشخصه نقش مهمی دارند و از طرفی این دو ویژگی رفتار فرکتالی از خود نشان داده اند لذا پیشنهاد مدل هایی مبتنی بر فرکتال توسط برخی محققین مورد توجه قرار گرفته است (Perfect و Kay، ۱۹۹۵).

Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۰) از الگوی سنگ فرش سرپینسکی برای توصیف اندازه خلل و فرج در خاک استفاده نمودند و یک رابطه توانی مشابه معادلات تجربی ارائه شده توسط Brooks و Corey و Campbell ارائه دادند که رابطه نهایی ارائه شده توسط آنها به صورت زیر می باشد:

$$\theta = \theta_s \left(\frac{h}{h_0} \right)^{Dm-3}$$ رابطه ۱-

که در این رابطه، h، مکش اعمال شده به خاک، h_0 ، مکش در نقطه ورود هوا، θ، درصد رطوبت خاک، θ_s، درصد رطوبت خاک در حالت اشباع و D_m، بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک می باشد.

از آن جا که روش مستقیم تعیین منحنی رطوبتی زمان بر و پرهزینه است و با توجه به اینکه خصوصیات توزیع اندازه ذرات و منافذ خاک خاصیت فرکتالی دارند می توان از مدل های فرکتالی برای تخمین منحنی رطوبتی استفاده نمود؛ لذا هدف از این پژوهش، ۱- تعیین بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک در مدل فرکتالی Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۰) و بعد

Archive of SID

www.SID.ir

فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک ۲- بررسی رابطه ی بین بعد فرکتالی منحنی رطوبتی و بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات، درصد رس، سیلت و شن، میانگین هندسی ذرات (dg) و چگالی ظاهری (ρb) خاک، با استفاده از آنالیز رگرسیونی و ۳- تخمین منحنی رطوبتی خاک با استفاده از این رابطه در مدل فرکتالی می باشد.

مواد و روش ها

تعیین منحنی رطوبتی و توزیع اندازه ذرات خاک

در این پژوهش، تعداد ۴۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتی متر) که تمام کلاس های بافتی خاک را شامل می شدند و از اراضی تهران، کرج، اصفهان و مشهد نمونه برداری برداری شده بودند مورد استفاده قرار گرفتند. میانگین هندسی ذرات خاک با استفاده از داده های منحنی توزیع اندازه ذرات و چگالی ظاهری خاک در نمونه دست نخورده محاسبه شد. منحنی توزیع دانه بندی ذرات خاک با استفاده از روش هیدرومتری و در ۶ نقطه (۲، ۱، ۰/۵، ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ میلیمتر) تعیین گردید. مقدار رطوبت وزنی برای نمونه های دست نخورده خاک، تحت فشارهای ۱۰، ۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه گیری و منحنی رطوبتی این خاک ها با تعیین رطوبت حجمی خاک (متر مکعب بر متر مکعب) در هر مکش(کیلو پاسکال) تعیین گردید.

تعیین بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک

بعد فرکتالی منحنی توزیع دانه بندی ذرات خاک با استفاده از رابطه Tyler و Wheatcraft، تعیین گردید:

رابطه ۲- $$[M \le l] = l^{3-D}$$

که در آن [M۱] ، جرم تجمعی ذرات کوچکتر از l و D بعد فرکتالی اندازه ذرات خاک می باشند. اگر رابطه ۲ در شکل لگاریتمی نوشته شود با محاسبه شیب خط حاصل از ترسیم مقادیر لگاریتمی اندازه ذرات در برابر مقادیر لگاریتمی جرم عبوری، مقدار D تعیین می گردد. شکل ۱، نحوه محاسبه بعد فرکتالی منحنی توزیع دانه بندی ذرات خاک را برای یک خاک رسی نشان می دهد. شیب خط حاصل از رسم مقادیر لگاریتمی اندازه ذرات در برابر مقادیر لگاریتمی جرم عبوری برای این خاک برابر با ۰/۰۷۱ است و بنابر این داریم:

$$\log[M \le l] = (3-D)\log l$$

$$\frac{3-D=۰/۰۷۱}{D=۲/۹۳}$$

به این ترتیب بعد فرکتالی(D) برای این خاک برابر با ۲/۹۳ خواهد بود.

برای محاسبه بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک (D_{SWRC}) نیز، مقادیر اندازه گیری شده رطوبت (θ) در مکش (h) مربوطه و مقدار رطوبت اشباع خاک (θ_s) در رابطه ۱ قرار گرفت و دو پارامتر مجهول این مدل شامل بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک (D_{SWRC}) و پتانسیل ماتریک در نقطه ورود هوا (h_0)، از طریق حل دستگاه های معادلاتی دو مجهولی محاسبه گردید. برای انتخاب بهترین D_{SWRC} و h_0 برای یک خاک، مقادیر محاسبه شده این دو پارامتر، به طور جداگانه برای هر مکش در رابطه قرار داده شد و مقدار رطوبت متناسب آن محاسبه گردید. اختلاف مقدارrطوبت اندازه گیری شده با رطوبت حاصل از قرار دادن مقدار D و h_0 محاسبه و با توجه به معیار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (R_{MSE}) بهترین مقدار D و h_0 برای هر خاک تعیین گردید. مقدار R_{MSE} به صورت زیر محاسبه شده و هر چقدر به صفر نزدیکتر باشد بیانگر خطای کمتر می باشد.

رابطه ۳-

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]^2}{n}}$$

که در این معادله، n، تعداد نقاط نمونه های مقایسه شده، $Z^*(x_i)$ ، مقدار برآوردی، $Z(x_i)$، مقدار مشاهده‌ای می باشند.

تخمین منحنی رطوبتی خاک

تعداد ۳۳ نمونه خاک در مدل رگرسیونی برای بررسی ارتباط بین بعد فرکتالی منحنی رطوبتی و سایر پارامترها شامل بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک (D_{PSD})، درصد رس، سیلت و شن، میانگین هندسی ذرات خاک (dg) و چگالی ظاهری (ρb)، و از ۷ نمونه خاک برای ارزیابی تخمین منحنی رطوبتی استفاده گردید. آنالیز رگرسیونی مرحله ای[1] با استفاده از نرم افزار Minitab و در سطح معنی دار یک درصد انجام شد.

در نهایت بعد فرکتالی تخمینی با استفاده از مدل رگرسیونی، به جای بعد فرکتالی منحنی رطوبتی در مدل فرکتالی قرار داده شد، منحنی رطوبتی خاک تخمین و با منحنی رطوبتی اندازه گیری شده مقایسه گردید. برای سنجش اعتبار مدل در پیش بینی منحنی رطوبتی از نمودار پراکنش مقادیر مشاهده ای و برآوردی، ضریب تعیین (R^2) (در سطح معنی داری ۱ درصد) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (R_{MSE}) استفاده گردید.

واسنجی مدل [2]

برای واسنجی مدل، مقدار رطوبت دو نقطه ابتدایی و انتهایی(۰/۱ و ۱۵ اتمسفر) از منحنی رطوبتی اندازه گیری شده و تخمینی در برابر هم رسم و از شیب و عرض از مبدأ خط برازش داده شده بر این دو نقطه برای واسنجی مدل استفاده گردید (Ghanbarian-Alavigeh، ۲۰۰۷).

نتایج

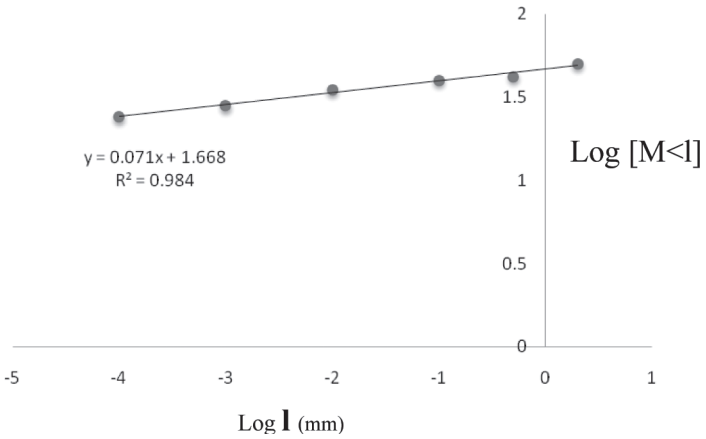
مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک برای سه کلاس کلی رسی، لومی و شنی در جدول ۱ نشان داده شده است. مدل رگرسیونی بدست آمده از آنالیز رگرسیونی برای ۳۳ نمونه خاک مورد استفاده به صورت زیر می باشد:

(۲)

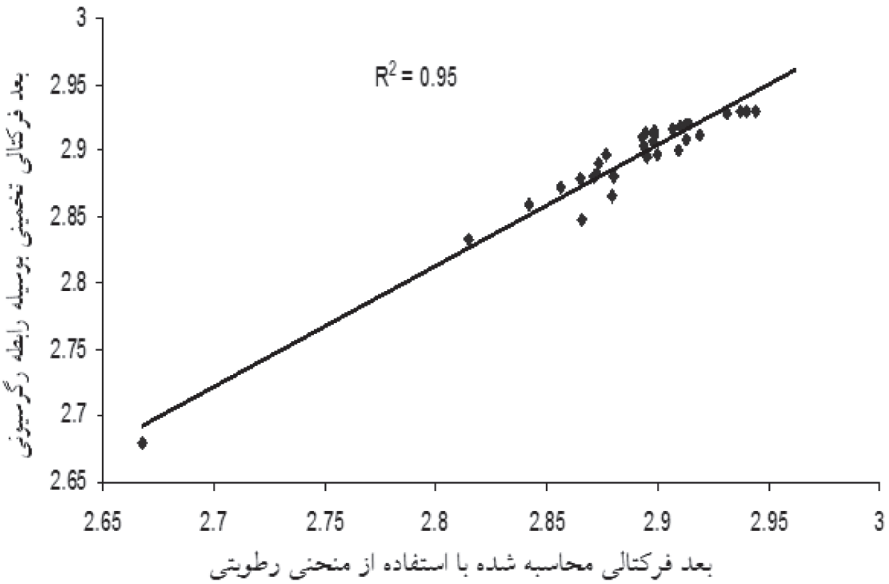
$$D_{SWRC} = ۲/۶۶ + ۰/۰۹۳\ D_{PSD} - ۰/۴۶\ dg$$

پراکنش مقادیر بعد فرکتالی تخمینی و اندازه گیری شده منحنی رطوبتی خاک در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر ضریب تبیین R^2 بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمینی رطوبت در ۷ مکش برای هر خاک و مجذور میانگین مربعات خطا برای ۷ نمونه خاکی که جهت ارزیابی مدل استفاده شدند، در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل۳، نمودار منحنی رطوبتی خاک تخمینی و اندازه گیری شده برای سه خاک رسی (شماره۲)، لومی (شماره۲۶) و شنی (شماره۴۰) در نشان داده شده است. شکل ۴ منحنی رطوبتی تخمینی را برای خاک لومی (شماره۲۶) پس از واسنجی مدل نشان می دهد.

Archive of SID



شکل ۱ – رسم مقادیر لگاریتمی اندازه و جرم عبوری ذرات برای محاسبه بعد فرکتالی خاک رسی



شکل ۲- پراکنش مقادیر D تخمینی در مقابل D محاسبه شده برای ۳۳ نمونه خاک

جدول ۱- مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک

کلاس بافتی	بعد فرکتالی اندازه گیری شده	حداکثر	حداقل	میانگین
رسی	توزیع اندازه ذرات	۲/۹۳	۲/۸۱	۲/۸۹
	منحنی رطوبتی	۲/۹۳	۲/۸۸	۲/۹۱
لومی	توزیع اندازه ذرات	۲/۸۹	۲/۷۵	۲/۸۲
	منحنی رطوبتی	۲/۹۰	۲/۸۲	۲/۸۹
شنی	توزیع اندازه ذرات	۲/۶۷	۲/۶۱	۲/۶۵
	منحنی رطوبتی	۲/۸۸	۲/۷۴	۲/۷۹

www.SID.ir

جدول ۲- مقادیر R^2 (در سطح معنی داری ۱ درصد) حاصل از پراکنش مقادیر اندازه گیری و تخمینی رطوبت و مقادیر R_{MSE} برای ۷ نمونه خاک مورد ارزیابی

شماره نمونه	بافت خاک	R^2	$RMSE(m^3/m^3)$
۲	رسی	۰/۹۹	۰/۲۲۳
۸	رس شنی	۰/۹۹	۰/۱۴۲
۱۸	لوم رسی	۰/۹۷	۰/۲۲۶
۲۶	لومی	۰/۹۷	۰/۱۸۱
۳۰	لوم شنی	۰/۹۸	۰/۱۲۴
۳۷	سیلتی	۰/۹۷	۰/۲۴۶
۴۰	شنی	۰/۹۴	۰/۰۲۴

بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشـان می دهـد که بعد فرکتالی منحنی رطوبتی خاک، در دامنه بین ۲/۹۳ برای خاک رسـی تا ۲/۷۴ برای خاک شـنی و بعـد فرکتالی منحنی توزیع دانـه بندی خاک نیز از ۲/۹۳ برای خاک رسی تا ۲/۶۱ برای خاک شنی تغییر می کند و هر دو پارامتر با درشت تر شـدن بافت خاک کاهش می یابند. تایلر و ویت کرافت با استفاده از توزیع جرم ذرات خاک، ریو و اسپوزیتو با استفاده از توزیع جرم خاکدانه ها، به این نتیجه رسیدند که بعد فرکتالی خاک در محدوده ۲ تا ۳ متغیر اسـت (Tyler و Wheatcraft، ۱۹۹۰؛ Rieu و Sposito، ۱۹۹۱). قنبریـان و همـکاران مقادیر بعد فرکتالی منحنـی رطوبتی خاک را در دامنه ای بین ۲/۴۴ برای خاک شـنی لومی تا ۲/۹۲ برای خاک رسـی و بعـد فرکتالی منحنـی دانه بندی ذرات خاک را بین ۲/۵۱ برای خاک شـن لومی تا ۲/۸۷ برای خاک رسی بدست آوردند (Ghanbarian-Alavigeh، ۲۰۰۸).نتایج همچنین نشـان می دهـد که بعد فرکتالی تعیین شده منحنی رطوبتی خاک برای همه خاک ها، بیشتر از منحنی توزیع دانه بندی ذرات خاک می باشد؛ در حالیکه تفاوت این دو پارامتر با درشـت تر شدن بافت خاک از خاک رسی به خاک شنی کاهش پیدا می کند.

نتایج آنالیز رگرسـیون نشـان داد که بـرای ۳۳ نمونه خاک مورد اسـتفاده در آنالیز رگرسـیونی، از بین پارامترهای ورودی، بعد فرکتالی بافت خاک و میانگین هندسی دارای همبستگی معنی داری با D_{SWRC} اسـت. این رابطه به صورت یک رابطه خطی نشـان داده شـده اسـت. قنبریـان و همـکاران رابطه بین بعـد فرکتالی منحنـی رطوبتی و بعد فرکتالی منحنی دانه بندی ذرات خاک را به صورت یک رابطه غیر خطی درجه سه با ضریب همبستگی ۰/۹۴ به دست آوردند (Ghanbarian-Alavigeh، ۲۰۰۸).

نتایج تخمین با استفاده از مدل رگرسیونی نشان می دهد که تقریباً با سنگین تر شدن بافت میزان خطای مدل در تخمین افزایش می یابد بطوریکه خاک شـماره ۴۰ که دارای بافت سبک (شنی) است، کمترین میزان خطا را در تخمین داشته است و تاییدکننده این است که استفاده از مدل پرفکت بـرای تخمین منحنی رطوبتی، برای خاک های با بافت سـبک تر نتایج بهتری نشان می دهد. قنبریان و همکاران نیز به نتیجه مشابه دسـت یافتند (Ghanbarian-Alavigeh، ۲۰۰۷). دلیل این امر را می توان سـهم کمتـر خصوصیات فرکتالی خاکدانـه ها و منافذ نسبت به خصوصیات فرکتالی اندازه ذرات در خاک های شنی دانست.

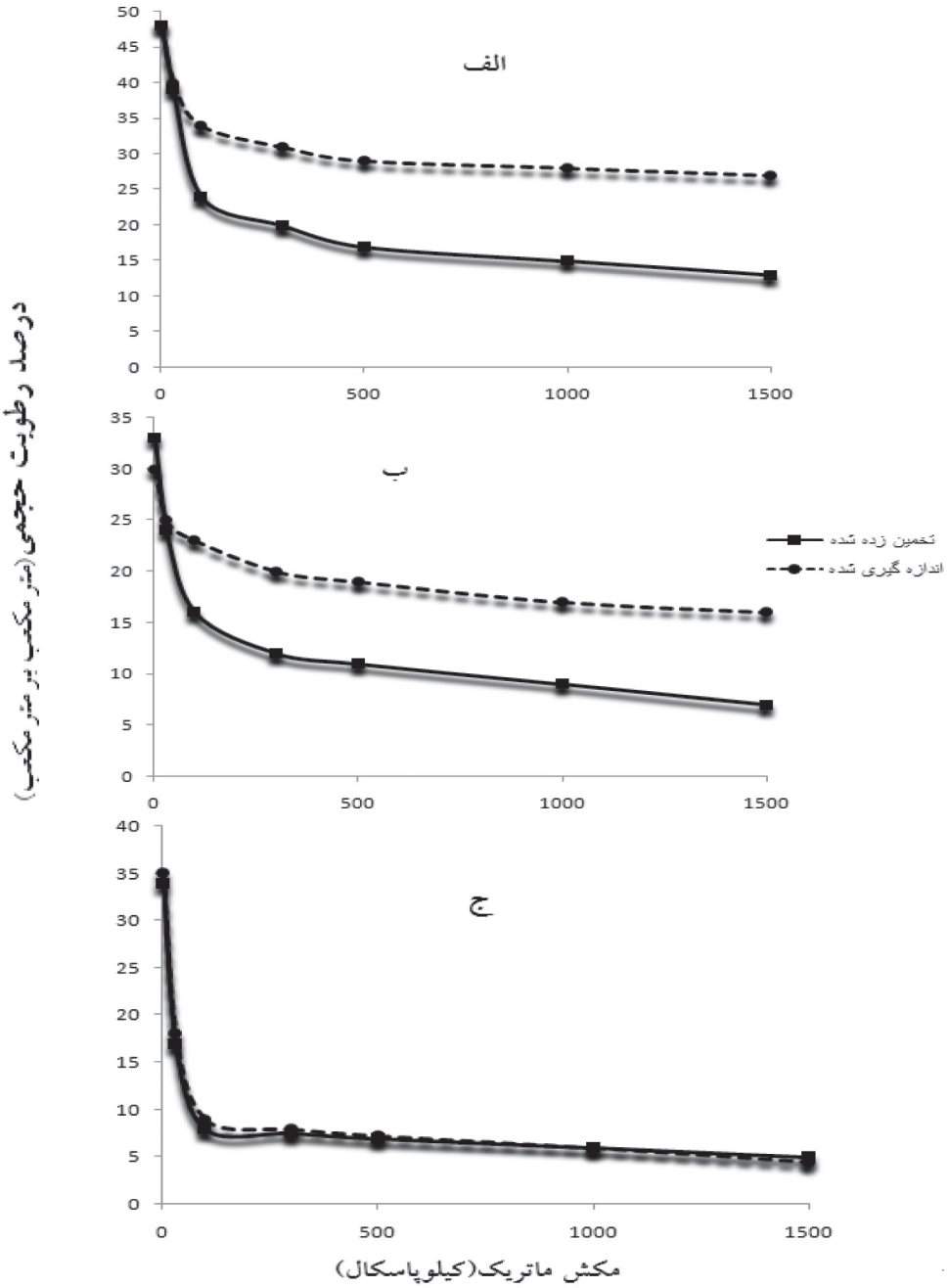
همانطور که شـکل ۳ نشـان می دهد، منحنی تخمینی با استفاده از مـدل برای هر سـه خـاک، در تخمین مقدار رطوبـت بیش برآورد[3] دارد. از آنجـا کـه بین مقدار رطوبت و بعـد فرکتالی در مدل Tyler و Wheatcraft رابطه مستقیم وجود دارد، تخمین بیشتر رطوبت را می توان در نتیجه تخمین بیشتر پارامتر فرکتال دانست.

برای واسـنجی مـدل می توان مقادیر محاسـبه شـده و تخمینی رطوبت در دو نقطه از منحنی (ابتدا و انتها) را محاسـبه و با رسـم این مقادیر در مقابل یکدیگر رابطه خطی بین مقادیر تخمینی و اندازه گیری شـده را بدسـت آورد. و از این رابطه جهت واسنجی مدل استفاده نمود (Ghanbarian-Alavigeh، ۲۰۰۷).

به عنوان نمونه این واسـنجی برای خاک لومی (شماره ۲۶) صورت گرفت و مقدار R_{MSE} تخمین برای این خاک از ۰/۱۸۱ قبل از واسنجی مدل به ۰/۰۲۲ بعد از واسنجی مدل کاهش پیدا کرد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که پس از واسنجی تخمین قابل قبولی از منحنی رطوبتی حاصل می شود.

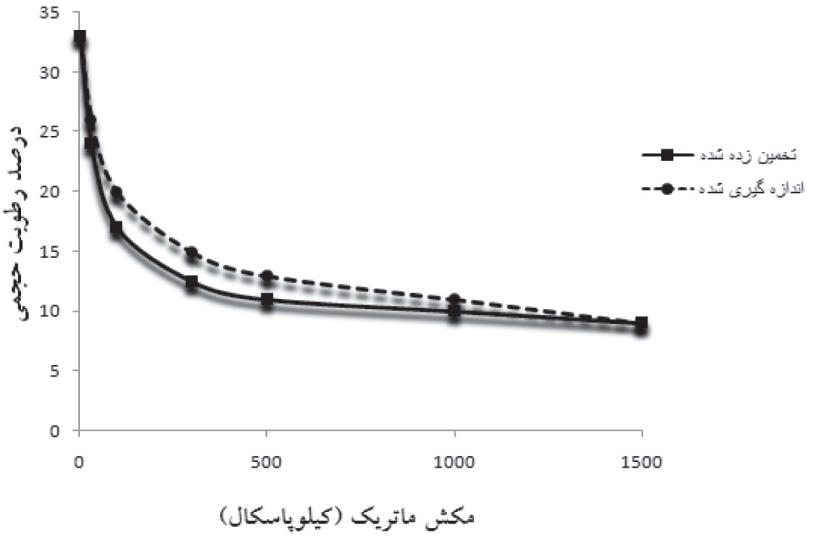
نتایج بدسـت آمده از این پژوهش نشان می دهد که با تخمین بعد فرکتالی مدل تایلر و ویت کرفت با استفاده از منحنی توزیع اندازه ذرات می توان تخمین مناسـبی از منحنی رطوبتی خاک داشت. از آن جا که خاک هـای مورد مطالعه تمـام کلاس های بافتی خاک را شـامل می شـوند، می توان انتظار داشت که بتوان از رابطه رگرسیونی بدست آمده در این پژوهش برای تخمین منحنی رطوبتی استفاده نمود. ضمن اینکه تخمین منحنی رطوبتی بدون واسـنجی مـدل برای خاک های با بافت سبک مناسب است ولی برای خاک های با بافت های متوسط و سنگین اسـتفاده از این مدل مستلزم واسنجی مدل می باشد. به این ترتیب می توان با دقت مناسبی منحنی رطوبتی که تعیین مستقیم آن بسیار وقت گیر و هزینه بر است را با سرعت بیشتر و هزینه کمتری تخمین زد.

Archive of SID



شکل ۳- نمودار منحنی رطوبتی خاک تخمینی و اندازه گیری شده برای خاک رسی(الف)، لومی(ب) و شنی (ج).

www.SID.ir



شکل ۴- منحنی رطوبتی تخمینی برای خاک لومی(شماره ۲۶)پس از واسنجی مدل

پاورقی ها

1- Stepwise Regression Analysis
2- Model calibration
3- Overestimate

منابع مورد استفاده

1- Alizadeh, A., (2000) *Soil, Water and Plant Relationships*. Astan Quds Razavi press Mashhad, p.170.

2- Arya, L. M. and Paris, J. F. (1981) A Physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol, 45, pp: 1023-1030.

3- Brooks, R. H. and Corey, A.T. (1964) Hydraulic properties of porous media. Colorado state university. *Hydrology paper* Vol,3. P. 27.

4- Campbell, G.S., (1974) A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* Vol,117. pp: 311-314.

5- Ghanbarian-Alavigeh, B. Liaghat, A. M., Shorafa, M. and Moghimi-Araghi, S. (2008) Prediction of Soil Water Retention Curve Using Soil Particle-size Distribution, *Journal of Agricultural Engineering Research, Iran*. Vol,9. pp:63-80.(in Farsi)

6- Ghanbarian-Alavigeh, B. Liaghat, A. M., Shorafa, M. and Moghimi-Araghi, S. (2007) Evaluation of perefect fractal model in estimation of soil water retention curve. *Iranian J. Irrig. Drain.* Vol, 1. pp: 7-19.(in Farsi)

7- Minasny, B., A. B. Mcbratney. (2007) Estimation the water retention shape parameter from sand clay content. *Soil Scie. Soc. Am,J.* vol, 71. No,4. pp: 1105-1110.

8- Perfect, E., Kay, B.D., (1995) Applications of fractals in soil and tillage research: A review. *Soil and Tillage Research* Vol,36. pp:1-20.

9- Rieu, M. and Sposito, G., (1991) Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol,55. pp:1231-1238.

10- Schaap, M. G., Leij, F. J. and Van Genuchten, M. Th. (2001) Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.* Vol,251. pp: 163-176.

11- Tyler, S.W. and Wheatcraft, SW., (1990) Fractal processes in soil water retention. *Water Resour. Res.*, Vol, 26. pp: 1047- 1054.

12- Tyler, S.W. and Wheatcraft, SW., (1992) Fractal scaling of soil particle size distributions: Analysis and Limitations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol, 56. pp: 362-369

13- Van Genuchten, M. Th. (1980) A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol, 148. Vol,6. pp: 389- 403.

14- Wosten, J. H. M., and M. Th. Van Genuchten. (1988) Using texture and other soil properties to peredict unsaturated soil hydraulic functions. *Soil Sci. Soc. Am. J*.vol, 52. pp:1762-1770.

Archive of SID