بهره گیری از تئوری فراکتالی در بهبود برآورد شاخص مخروطی

محمد جره[1]، حسین بیات[1]، علی اکبر صفری سنجانی[1]، ناصر دواتگر[2]

1ـ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
2ـ استادیار گروه خاکشناسی موسسه تحقیقات برنج کشور
E-mail: h.bayat@basu.ac.ir

چکیده

مقاومت فروروی خاک دارای تغییر پذیری بالایی است و در بسیاری از پایگاه های اطلاعاتی آگاهی چندانی در باره آن وجود ندارد. از سوی دیگر اندازه گیری این فراسنجه پرهزینه نیز می باشد. بنابراین برای برآورد این فراسنجه از دیگر فراسنجه های زود یافت خاک مانند اجزاء بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت و فراسنجه های کیفی (شکل، اندازه و درجه وضوح خاکدانه) از توابع انتقالی بهره گیری شد. سپس ابعاد فراکتالی توزیع اندازه ذرات و خاکدانه ها نیز به فراسنجه های پیشین افزوده شد که به خوبی میزان R^2 و R^2_{adj} را افزایش داد.

کلمات کلیدی: بعد فراکتالی، توابع انتقالی، شاخص مخروطی

مقدمه

شاخص مخروطی فراسنجه سودمندی در شناسایی فشردگی لایه های خاک، ارزیابی نسبی عمق، شدت و تداوم نرم شدگی بین تیمارها می باشد. همچنین در تشخیص تغییرات مقاومت به فروروی در خاک با گذشت زمان و ارزیابی تاثیر مقاومت خاک بر رشد ریشه به کار می رود (سالیوان، 1982). مقاومت به فروروی بستگی به نوع خاک، توزیع اندازه و شکل ذرات، کانی شناسی رس، اندازه اکسید های بی ریخت (آمورف)، درصد ماده آلی و شیمی محلول خاک دارد (جرارد، 1965). چگالی ظاهری، اندازه آب و ساختار خاک نیز بر این پارامتر تاثیر بزرگی دارند (بیرد و کاسل، 1980). حتی اگر چگالی ظاهری خاک و مقدار آب آن ثابت بماند باز مقاومت به فروروی خاک با گذشت زمان تغییر می کند (پرفکت، 1992)، که شاید بتوان آن را به تغییرات تدریجی عوامل پیوندی خاکدانه ها در زمان مرتبط دانست. شاخص مخروطی همبستگی مثبت و خیلی چشم گیری با جرم مخصوص ظاهری در خاک های همدان داشت اما برای خاک های مراغه این همبستگی چشم گیر نبود (بیات و همکاران،2008). به دلیل تغییرپذیری مکانی بالای شاخص مخروطی، به دست آوردن مقادیر دقیق آن در کشتزارها دشوار است (وز و همکاران، 2001). از اینرو پژوهشگران از توابع انتقالی (PTFs)[1] برای برآورد آن بهره گیری می کنند.

به تازگی نگره فراکتالی همانند وسیله ای برای مدل کردن پدیده های پیچیده بکار رفته است (تیلر، 1990). کاربرد این نگره به پیشنهاد معادله هایی برای منحنی های مشخصه آب خاک، هدایت هیدرولیکی غیراشباع و اشباع خاک و توزیع اندازه منافذ درشت در خاک انجامیده است (علیرضا شفیعی، 1375). اخیرا بیات و همکاران (2011) بطور موفقیت آمیزی از فراسنجه های فراکتالی برای تخمین منحنی رطوبتی استفاده کرده اند.

مقیاس فراکتالی توزیع اندازه ذرات، بسیاری از فرایند های دینامیک و استاتیک در خاک، مانند انتقال آب و نمک‌ها، گنجایش نگهداری آب، اندوخته گرمایی و هدایت گرمایی را کنترل می کند (ارساهین، 2006). احتمال می رود بهره

[1] Pedotransfer functions

گیری از فراسنجه های فراکتالی مایه بهبود برآورد شاخص مخروطی گردد. تا جایی که جستجو شد این نکته تاکنون در هیچ پژوهشی بررسی و گزارش نشده است. بنابراین اهداف این پژوهش عبارتند از: 1. بررسی اندازه بهبود برآورد شاخص مخروطی با بهره گیری از فراسنجه های کیفی خاک مانند ریخت، نوع و اندازه خاکدانه 2. بررسی بهبود برآورد شاخص مخروطی با بهره گیری از فراسنجه های فراکتالی توزیع اندازه ذرات و خاکدانه ها (خاکدانه های ریز و درشت).

مواد و روشها

در این پژوهش 53 نمونه خاک از خاک های شاخص بر پایه سری خاک های غالب از استان همدان نمونه برداری شد. نمونه ها از دو لایه رویین و زیرین خاک به گونه دست خورده برداشت و پس از رساندن به آزمایشگاه، هوا خشک گردیده و برای برخی آزمایش های فیزیکی و شیمیایی آماده گردیدند. شاخص مخروطی (CI^2) به کمک دستگاه پنترومتر در جایگاه نمونه برداری از خاک به گونه درجا اندازه گیری شد. نمونه جداگانه ای از خاک کشتزار برای اندازه گیری رطوبت خاک برداشته شد. ریخت، نوع و اندازه خاکدانه ها نیز در جایگاه نمونه برداری از خاک یادداشت گردید. در آزمایشگاه میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD^3) با روش الک تر، توزیع اندازه خاکدانه های ریز با روش هیدرومتر و الک تر، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر و الک خشک و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه اندازه گیری شد. در این پژوهش از فراسنجه های فراکتالی مدل بیرد (بیرد و همکاران، 2000) و میلان (میلان، 2007) برای توزیع اندازه ذرات بهره گیری شد. برای خاکدانه های ریز و درشت نیز از پارامتر فراکتالی مدل مندلبروت (مندلبروت، 1999) بهره گیری شد. ریخت، نوع ، اندازه و درجه وضوح خاک دانه ها نیز کمی شده و برای محاسبه دو فراسنجه (Eff. Diff. Pathlength d (mm) و Eff. Diff. Pathlength ASCALE (mm) بهره گیری شدند. این دو فراسنجه نیز به همراه درجه سختی به عنوان ورودی برای برآورد شاخص مخروطی بکار رفتند. در این پژوهش برای ساخت توابع انتقالی از روش رگرسیون بهره گیری شد. در آغاز همه متغیر ها از دیدگاه نرمال بودن داده های آنها بررسی شدند و آنهایی که توزیع نرمال نداشتند نرمال شدند. سپس استاندارد شدند. برای بررسی اثر فراسنجه های فراکتالی ذرات، خاکدانه های ریز و درشت و فراسنجه های ساختمانی چندین مدل ساخته شد که ورودی های مدل ها در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1 ورودی های مدل ها

مدل	ورودی های مدل	مدل	ورودی های مدل
1	رطوبت و جرم مخصوص ظاهری	7	بعد فراکتالی مندلبروت خاکدانه های درشت، MWD و فراسنجه های مدل 1
2	فراسنجه های فراکتالی توزیع اندازه ذرات مدل بیرد(C,D)	8	بعد فراکتالی خاکدانه های ریز و تمام فراسنجه های مدل 1و 2
3	رطوبت ،جرم مخصوص ظاهری، فراسنجه های کیفی	9	بعد فراکتالی خاکدانه های درشت و تمام فراسنجه های مدل 1و 2
4	تمام فراسنجه های مدل 2و3	10	تمام ابعاد مدل های پیشین به علاوه رطوبت و جرم مخصوص ظاهری
5	رطوبت، جرم مخصوص ظاهری، شن و رس	11	بعد فراکتالی میلان توزیع اندازه ذرات و ورودی های مدل اول
6	بعد فراکتالی خاکدانه های ریز مدل مندلبروت و فراسنجه های مدل1	12	تمام ابعاد فراکتالی مدل های قبلی و ورودی های مدل اول

[2] . Cone index
[3] . Mean weight diameter

در پایان برتری و دقت هر یک از مدل ها بر پایه آماره های R^2 (ضریب تعیین) وR^2_{adj} (ضریب تعیین تعدیل شده)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE[4]) و ضریب بهبود نسبی (RI[5]) ارزیابی شد. برای پردازش داده ها از نرم افزارهای SAS 2004 و EXCELL 2007 بهره گیری شد.

نتایج و بحث

همبستگی میان شاخص مخروطی و متغیر های ورودی در جدول 2 آورده شده است. بین شاخص مخروطی و میزان رطوبت، همبستگی منفی و چشم گیری دیده شد. همچنین همبستگی منفی و چشم گیری با شن و همبستگی مثبت و چشم گیری با میزان سیلت وجود داشت. نکته بارز اینکه شاخص مخروطی همبستگی مثبت و معنی داری نیز با بعد فراکتالی توزیع اندازه ذرات مدل های میلان و بیرد داشت. یکی از دلایل همبستگی این فراسنجه با ابعاد فراکتالی توزیع اندازه ذرات را می توان اینگونه توجیه کرد که با ریزتر شدن ذرات خاک بعد فراکتالی افزایش می یابد، همچنین در خاک های ریز بافت شاخص مخروطی نیز افزایش می یابد. بنابراین فراسنجه های فراکتالی، معیار های کمی کننده توزیع اندازه ذرات خاک هستند که یکی از عوامل موثر بر CI می باشد. در برابر آن شاخص مخروطی همبستگی چشم گیری با ابعاد فراکتالی توزیع اندازه خاکدانه های ریز و خاکدانه های درشت نداشت. شاید غیر خطی بودن همبستگی آنها یکی ازدلایل یافته بالا باشد. یافته های مدل های رگرسیونی در جدول 3 نشان داده شده است. این یافته ها نشان داد که افزودن بعد فراکتالی توزیع اندازه ذرات میزان R^2 و R^2_{adj} را افزایش می دهد.

جدول 2 همبستگی بین داده های ورودی مدل با شاخص مخروطی

	X1	X2	X3	W	D Psd M	% Clay	% Silt	% Sand
CI	0/081	-0/054	0/131	-0/306*	0/321*	0/126	0/301*	-0/331*
	D Psd MI	MWD	V Psd MI	D MWD M	D MICRO M	C Psd B	D Psd B	Pb
CI	0/364**	0/057	-0/247	0/139	0/07	0/181	0/360**	0/139

x1 و x2 به ترتیب Eff. Diff. Pathlength و Eff. Diff. Pathlength ASCALE می باشند، x3 درجه سختی، Psd[6] توزیع اندازه ذرات، D Psd M بعد فراکتالی توزیع اندازه ذرات مدل مندلبروت، D Psd MI بعد فراکتالی اندازه ذرات مدل میلان، MWD میانگین وزنی قطرخاکدانه ها، V Psd MI فراسنجه توزیع اندازه ذرات مدل میلان، D MWD M بعد فراکتالی خاکدانه های درشت مدل مندلبروت، D MICRO M بعد فراکتالی خاکدانه های ریز مدل مندلبروت، D Psd B و C Psd B فراسنجه های فراکتالی توزیع اندازه ذرات مدل بیرد، Pb جرم مخصوص ظاهری، W رطوبت، CI شاخص مخروطی می باشد.

که این می تواند به دلیل همبستگی بالای ابعاد فراکتالی توزیع اندازه ذرات با شاخص مخروطی باشد که در جدول 2 نیز دیده می شود. همانگونه که در جدول 3 دیده می شود در مدل چهارم با افزودن بعد فراکتالی و فراسنجه های کیفی به مدل یک، میزان R^2 و R^2_{adj} افزایش یافت (به ترتیب از 0/30 به 0/38 و از 0/18 به 0/28) ضمن اینکه میزان RMSE کاهش یافت (از 0/82 به 0/77). در مدل دهم افزودن ابعاد فراکتالی توزیع اندازه ذرات (بیرد) و خاکدانه ها ریز (مندلبروت) و خاکدانه های درشت نیز توانسته میزان R^2 و R^2_{adj} را به خوبی افزایش دهد (به ترتیب از 0/30 به 0/38 و از 0/18 به 0/30) که می تواند وابسته به پیوند بعد فراکتالی خاکدانه ها با فرایند خاکدانه سازی باشد، زیرا افزایش بعد فراکتالی میزان رس بالای خاک را نشان می دهد که خود این رس جزء ترکیبات مهم در

[4] . Root mean square error
[5] . Relative improvement
[6] . Particle size distribution

پیدایش خاکدانه ها است. ضریب بهبود نسبی (RI) نیز در مدل های دوم، چهارم، هشتم، نهم، دهم و یازدهم افزایش داشت که نشان از کاهش مجذور میانگین مربعات خطا در این مدل ها نسبت به مدل اول دارد. در مدل چهارم ضریب بهبود نسبی (0/057) نشان از بهبود این مدل با افزودن پارامترهای کیفی و بعد فراکتالی بیرد دارد.

جدول 3 مدل های فیت شده برفراسنجه های ورودی

ورودی ها	Model	R^2	Ra^2	RMSE	R I
W, Pb	a+b/x1+c/x1^2+d/x1^3+e/x1^4+ f*x2+g*x2^2+h*x2^3+i*x2^4	0/307	0/181	0/825	
C Psd B, D Psd B	a+b/x1+c/x1^2+d/x1^3+e/x1^4+ f/x1^5+g*x2+h*x2^2+i*x2^3+j*x2^4+k*x2^5	0/375	0/226	0/783	0/050
X1 ,X2, X3, W, Pb	exp(a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f)	0/283	0/207	0/839	-0/017
X1 ,X2, X3, W, Pb ,C Psd B, D Psd B	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f*x6+g*x7+h	0/383	0/287	0/778	0/057
W, Pb ,CLAY,SAND	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e	0/306	0/248	0/825	-0/001
D MICRO M , W, Pb	a*x1+b*x2+c*x3+d	0/164	0/113	0/906	-0/098
W, Pb ,MWD, D MWD M	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4	0/190	0.141	0/890	-0/07
D MICRO M, W, Pb ,C Psd B, D Psd B	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f	0/322	0/250	0/816	0/011
D MWD M, W, Pb ,C Psd B, D Psd B	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f	0/342	0/272	0/80	0/031
D MICRO ,D MWD M, W, Pb ,C Psd B, D Psd B	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f*x6+g	0/38	0/30	0/778	0/056
W, Pb ,V Psd MI, D Psd MI	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e	0/297	0/238	0/831	-0/008
Pb,W , همه ابعاد	a*x1+b*x2+c*x3+d*x4+e*x5+f*x6+g*x7+h*x8+i	0/395	0/285	0/769	0/067

متغیرهای x1 تا xn در مدل ها، به ترتیب از چپ به راست در ستون اول آورده شده است)

منابع :

شفیعی ع، 1375. مطالعه فراکتال ها و کاربرد آنها. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان.

Bayat H, Neyshabouri MR, Mohammadi K and Nariman-Zadeh N, 2011. Estimating Water Retention with Pedotransfer Functions Using Multi-Objective Group Method of Data Handling and ANNs. Pedosphere 21 : 107-114.

Bayat H, Neyshabouri MR, Hajabbasi MA, Mahboubi AA and Mosaddeghi MR, 2008. Comparing neural networks, linear and nonlinear regression techniques to model penetration resistance. Turk J Agric For 32 : 425-433.

Byrd CW and Cassel DK, 1980. The effect of sand content upon cone index and selected physical properties. Soil Sci. 129 : 197-204.

Bird NRA, Perrier E and Rieu M, 2000. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions. Eur. J. Soil Sci. 51 : 55- 63.

Ersahin S, Gunal H, Kutlu T, Yetgin B and Coban S, 2006. Estimating specific surface area and cation exchange capacity in soils using fractal dimension of particle-size distribution. Geoderma 136 : 588-597

Gerard CJ, 1965.The influence of soil moisture, soil texture, drying conditions and exchangable Cations on soil strength. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29 : 641- 645.

Mandelbrott B, 1999.The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Company, New York.

Millán H, González-Posada M, Morilla A. A and Pérez E, 2007. Self-similar organization of Vertisol microstructure: A pore–solid fractal interpretation. Geoderma 117 : 117-128.

Perfect E, Rasiah V and Kay BD, 1992. Fractal dimensions of soil aggregate-size distributions calculated by number and mass. Soil Sci. Soc. Am J 56 : 1407-1409.

Vaz C.M.P, Luis HB and Hopmans JW,2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil Till. Res 60 : 35-42.

O Sullivan MF and Ball BC, 1982. A comparison of five instruments for measuring soil strength in cultivated and uncultivated cereal seedbeds. Soil Sci J 33 : 597-608.