پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

۶ تا ۸ شهریور ۱۳۹۶ محور مقاله: فیزیک و رابطه آب خاک وگیاه

ارزیابی کارآیی مدل‌های فرکتالی در بیان کمّی ساختمان خاک

شیوا محمدیان خراسانی*[۱]، مهدی همایی[۲]، ابراهیم پذیرا[۳]

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات؛ تهران، ایران

۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

ساختمان خاک رابطه مستقیمی با کارآیی و عملکرد خاک دارد. بنابراین، این ویژگی خاک از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب و خاک برخوردار است. از آنجا که فعالیت‌های بشر موجب تغییرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت بر خاک می‌شود و ممکن است این تغییرات، اثراتی مثبت و یا زیان‌آور بر عملکرد خاک بگذارند، ساختمان خاک باید به‌گونه‌ای کمّی مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف از انجام این پژوهش، کمّی‌سازی ساختمان خاک با استفاده از مدل‌های فرکتالی در پهنه وسیع بود. بدین منظور، تعدادی نمونه خاک دست‌نخورده برداشت و فراوانی نسبی اندازه ذرات خاک و جرم ویژه ظاهری آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از چهار مدل فرکتالی، بُعد فرکتالی همه نمونه‌ها تعیین و برای بیان کمّی ساختمان خاک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که از میان چهار مدل فرکتالی در سری الک‌های خشک و تر، مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو از کارآیی بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ساختمان خاک، مدل‌های فرکتالی، هندسه فرکتالی

مقدمه

خاک محیطی طبیعی و بسیار پیچیده است و به همین دلیل نگهداشت، بقا و تعادل چرخه زیستی تنها با حفاظت و مدیریت پایدار آن امکان‌پذیر می‌باشد (Lal and Pierce, 1991). مدیریت منابع آب و خاک به منظور تولید و بهره‌وری بهینه به همراه حفاظت از منابع آب و خاک و پیشگیری از تخریب، هدررفت و آلودگی این منابع بسیار ضروری است (Okina *et al*., 2006). خاک، پالایش عظیمی را در سطح طبیعت انجام می‌دهد. آسیب‌های جبران‌ناپذیری بر اثر بهره‌برداری غیراصولی و ناکارآمد، به خاک وارد می‌شود که در نهایت مدیریت غلط طولانی‌مدت، نتایج زیان‌باری را به همراه خواهد داشت (Hillel, 1998). توصیف ساختمان خاک هنوز برای خاکشناسان با چالش‌هایی همراه است. زیرا بر خلاف بافت خاک، ساختمان خاک بر اثر فعالیت‌های بیولوژیک، آب و هوا و مدیریت‌های مختلفی که بر روی آن انجام می‌شود، تغییر می‌کند. بنابراین برای اندازه‌گیری ساختمان خاک، روش مشخصی وجود ندارد و تاکنون این ویژگی به‌صورتی کیفی توصیف شده است. بنابراین برای اینکه ساختمان خاک به‌صورت یک ویژگی قابل سنجش بیان گردد، به یک مفهوم کمّی نیاز دارد (Harris *et al*., 1965).

توصیف کمّی ساختمان خاک و اندازه‌گیری مستقیم آن، به‌دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر آن سخت و دشوار است. یکی از روش‌هایی که امروزه برای رفع این مشکل به‌کار می‌رود، استفاده از مفهوم هندسه فرکتالی برای توصیف کمّی ساختمان خاک است. برخی پژوهشگران گزارش داده‌اند که برای توصیف بهتر پارامترهای خاک، روش‌های فرکتالی سودمند می‌باشند (Perfect and Kay, 1991; Eghbal *et al*., 1993). کاربردهای هندسه فرکتالی در علوم خاک نشان داده خاکی که دارای ویژگی‌های فرکتالی است، یک محیط متخلخل حاوی ترکیبات متفاوت ذرات با شکل نامنظم و ساختار خودهمانند می‌باشد (Tyler and Wheatcraft, 1992; Rieu and Sposito, 1991a.b; Kravchenko and Zhang, 1998). شیوه تشکیل خاکدانه‌ها بدین صورت است که شکل و اندازه خاکدانه‌های کوچک‌تر تابعی از تعداد واحدهای بزرگ‌تر می‌باشند و این نحوه خرد شدن، به‌وسیله بُعد کسری یا بُعد فرکتالی بیان می‌شود. بدین ترتیب، می‌توان ساختمان خاک را با توابع مبتنی بر هندسه فرکتالی

کمّی کرد (Mandelbrot, 1982; Burrough, 1983). بُعد فرکتالی شاخصی برای تفکیک و جداسازی خاک‌ها در کل ساختمان آن‌ها می‌باشد (Pirmoradian *et al*., 2005).

از آنجا که خاک یک پدیده فرکتالی است، بنابراین مقایسه ساختمان خاک‌های مختلف با بُعد فرکتالی آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد (Arya and Paris, 1981). با توجه به اینکه امروزه برای مدل کردن ساختمان از روش‌های فرکتالی استفاده می‌شود، این امر باعث شده که استفاده از توابع نمایی برای پارامتره کردن توزیع اندازه ذرات افزایش یابد (Perfect and Kay, 1991; Kozak *et al*., 1996; Bittelli *et al*., 1999). بر پایه پژوهش‌های موجود، استفاده از روش‌های فرکتالی برای کمّی‌سازی محیط‌های متخلخل و نامنظم در طبیعت تأیید شده است (Pedreschi *et al*., 2000; Quevedo *et al*., 2002). Dathe *et al*. (۲۰۰۱) طی مطالعه‌ای بیان کردند که بُعد فرکتالی ارائه‌کننده درک درستی از فرآیندهایی است که در شکل‌گیری ساختمان خاک دخالت دارند. Millan *et al*. (۲۰۰۳) طی پژوهشی با برازش رگرسیون خطی و غیرخطی داده‌های تجربی، خطا و انحراف استاندارد روش‌های سنتی کمّی‌سازی ساختمان خاک را نسبت به روش‌های فرکتالی مورد مطالعه قرار داده و اثبات کردند که مقدار بُعد فرکتالی با جرم ویژه ظاهری خاک رابطه‌ای مستقیم دارد.

توصیف محیط‌های متخلخل به دلیل ناهمگن و نامنظم بودن، با هندسه اقلیدسی دشوار است (Uquiche *et al*., 2004). به همین دلیل، برای کمّی‌سازی ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها از هندسه فرکتالی استفاده شده است (Huang and Zhang, 2005). Gibson *et al*. (۲۰۰۶) از روش‌های فرکتالی برای کمّی کردن ناهمگنی جرم و منافذ خاکدانه‌ها استفاده کردند. بدین ترتیب، هدف از این پژوهش، محاسبه و تعیین پارامترهای چهار مدل فرکتالی پایداری خاکدانه‌ها و انتخاب بهترین مدل برای بیان کمّی ساختمان خاک بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی کمّی ساختمان خاک، تعداد ۴۱ نمونه خاک دست‌نخورده به‌صورت چند ریز نمونه مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت، جرم ویژه ظاهری و فراوانی نسبی اندازه ذرات خاک تعیین گردید و آزمایش‌های مربوط به سری الک‌های خشک و تر نیز به منظور تعیین پایداری خاکدانه‌ها انجام شد. در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از چهار مدل فرکتالی توزیع تجمعی جهت برازش توزیع تعداد-اندازه و جرم-اندازه خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه Mandelbrot (۱۹۸۲) از رابطه زیر بدست آمد:

$$N(r > R) = KR^{-D} \qquad (۱)$$

در این معادله، r اندازه قطر نرمال شده خاکدانه‌ها در هر بخش اندازه‌ای، $N(r>R)$ تعداد تجمعی خاکدانه‌های با اندازه r که از مقیاس اندازه‌گیری R بزرگ‌تر است، k مقدار ثابت و D بُعد فرکتالی می‌باشد.

بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه Tyler-Wheatcraft (۱۹۹۲) نیز از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$M(r < R)/MT = (R/RL)^{3-D} \qquad (۲)$$

در این معادله، $M(r<R)$ جرم تجمعی خاکدانه‌های با اندازه r، M_T جرم کل، R_L پارامتری که اندازه بزرگ‌ترین خاکدانه را تخمین می‌زند و D بُعد فرکتالی می‌باشد.

بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها با استفاده از مدل جرم-اندازه Rieu-Sposito (D_m) (۱۹۹۱a) بدست آمد:

$$\log(\rho_i/\rho_0) = (Dm-3)\log(d_i/d_0) \qquad (۳)$$

در این معادله، p_i جرم ویژه ظاهری کلاس اندازه i ام، ρ_0 جرم ویژه ظاهری بزرگ‌ترین خاکدانه، d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازه i ام، d_0 میانگین قطر بزرگ‌ترین خاکدانه و D_m بُعد فرکتالی (جرم-اندازه) می‌باشد.

با استفاده از مدل تعداد-اندازه Rieu-Sposito (D_f) (۱۹۹۱b) بُعد فرکتالی به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$N_k = Ad_k^{-Df} \quad (۴)$$

در این معادله، D شیب نمودار N_K در مقابل d_K و N_K تعداد تجمعی خاکدانه‌ها می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$N_k = \sum_{i=0}^{k} N(di) \quad (۵)$$

$$N(di) = \frac{M(di)}{di^3 \rho i} \quad (۶)$$

در این معادله، $M(d_i)$ جرم خاکدانه‌های روی الک کلاس i ام، ρ_i جرم ویژه ظاهری کلاس اندازه i ام و d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازه i ام می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول۱، مقدار خطای استاندارد میانگین و انحراف معیار بُعدهای فرکتالی را در دو سری الک خشک و تر نشان می‌دهد. در سری الک تر، بیش‌ترین خطای استاندارد میانگین و انحراف معیار، مربوط به بُعدهای فرکتالی مدل تعداد-اندازه مندل‌برات می‌باشد که با نظریه Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۲) که محدودیت‌های مدل Mandelbrot (۱۹۸۲) را مورد بررسی قرار داده و پی بردند بُعد فرکتالی که از مدل Mandelbrot بدست می‌آید دارای خطا می‌باشد، همخوانی دارد. همچنین در سری الک خشک، بُعدهای فرکتالی مدل‌های جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت و تعداد-اندازه مندل‌برات و در سری الک تر، بُعدهای فرکتالی مدل‌های جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت و تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو دارای خطا و انحراف معیار کم‌تری بودند و در میان همه مدل‌های مورد استفاده در هر دو سری الک‌ها، بُعدهای فرکتالی مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو کم‌ترین مقدار این دو فاکتور را دارا بودند.

جدول ۱- میانگین، خطای استاندارد میانگین و انحراف معیار بُعدهای فرکتالی مدل‌ها

مدل‌های فرکتالی	تعداد نمونه‌ها	میانگین	خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار
الک خشک				
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه مندل‌برات	۴۱	۳/۱۷	۰/۰۳۰	۰/۱۹۴
بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت	۴۱	۲/۶۵	۰/۰۱۳	۰/۰۸۵
بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو (D_m)	۴۱	۲/۸۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو (D_f)	۴۱	۳/۰۶	۰/۰۳۱	۰/۱۹۶
الک تر				
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه مندل‌برات	۴۱	۲/۹۵	۰/۰۲۸	۰/۱۷۹
بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت	۴۱	۲/۵۱	۰/۰۱۹	۰/۱۲۱
بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو (D_m)	۴۱	۲/۹۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۰
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو (D_f)	۴۱	۲/۹۰	۰/۰۲۸	۰/۱۷۷

منابع

Arya M.L. 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. 45: 1023-1030.

Bittelli M., Campbell G.S. and Flury M. 1999. Characterization of particle-size distribution in soils with a fragmentation model. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 782-788.

Burrough P.A. 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested leyels of soil variation. Soil Sci. J. 34: 577-597.

Dathe A., Eins S., Niemeyer J. and Gerold G. 2001. The surface fractal dimension of the soil–pore interface as measured by image analysis. Geoderma. 103: 203–229.

Eghbal B., Mielke L.N., Calvo G.A. and Wilhelm W.W. 1993. Fractal description of soil fragmentation for various tillage methods. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1337-1341.
Gibson J.R., Lin H. and Bruns M.A. 2006. A comparison of fractal analytical methods on 2- and 3-dimensional computed tomographic scans of soil aggregates. Geoderma. 134: 335-348.
Harris R.F., Chesers G. and Allen O.N. 1965. Dynamics of soil aggregation. Advance in Agr. 18: 107–160.
Hillel D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press, San Diego. 771 pp.
Huang G. and Zhang R. 2005. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model. Geoderma. 127: 52-61.
Kozak E., Pachepsky Y.A., Sokolowski S., Sokolowska Z. and Stepniewski W. 1996. A modified number based method for estimating fragmentation fractal dimension of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1291-1297.
Kravchenko A. and Zhang R.D. 1998. Estimating the soil water retention from particle–size distribution: a Fractal approach. Soil Sci. J. 163(3): 171–179.
Lal R. and Pierce F.J. 1991. The vanishing resource. pp. 1–5. In Lal R. and Pierce F.J.
Mandelbrot B.B. 1982. The fractal geometry of nature. W. H. Freeman, San Francisco, USA.
Millan H., Gonzalez–Posada M., Aguilar M., Dominguez J. and Cespedes L. 2003. On the fractal scaling of soil data. Particle–size distributions. Geoderma. 117: 117–128.
Okina G.S., Gillettebm D.A. and Herrickc J.E. 2006. Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. Arid Environ. J. 65: 253-275.
Pedreschi F., Aguilera J.M. and Brown C. 2000. Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. Journal of Food Process Engineering. 23: 127-143.
Perfect E. and Kay B.D. 1991. Fractal theory applied to soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1552–1558.
Pirmoradian N., Sepaskhah A.R. and Hajabbasi M.A. 2005. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosystems Engin. 90(2): 227–234.
Quevedo R., Lopez C., Aguilera J.M. and Cadoche L. 2002. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. Journal of Food Egineering. 53: 361-371.
Rieu M. and Sposito G. 1991a. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: I. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1231–1238.
Rieu M. and Sposito G. 1991b. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: II. Applications. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1239–1244.
Tyler S.W. and Wheatcraft S.W. 1992. Fractal scaling of soil particle–size distributions: analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 362–369.
Uquiche E., DelValle J.M. and Ortiz J. 2004. Upercritical carbon dioxide extraction of red pepper (Capsicumannuuml.) oleoresin. Food Eng. J. 65: 55-66.

Evaluating efficiency of fractal models for quantitative expression of soil structure

Sh. Mohammadian Khorasani[*1], M. Homaee[2], E. Pazira[3]
1-PhD Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Abstract
Soil structure is directly related to the soil functions. So, this soil property is of especial importance for management of soil and water resources. Since most human activities have positive or detrimental short-term, mid-term and long-term influences on soil functions, the soil structure should be evaluated quantitatively. The objective of this study was to quantify soil structure using fractal models in a large scale. For this purpose, several undisturbed soil samples were taken from the study area and their soil particle size distribution and bulk density were measured. Using four fractal models, the fractal dimension of all samples were derived and used to quantify soil structure. The results showed that among the evaluated four fractal models the so-called mass-size model of Rieu-Sposito provides better performance than three other models.

Keywords: fractal geometry; fractal models; soil structure