تعیین کارآمدترین مدل‌های فرکتالی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در کمّی‌سازی ساختمان خاک

شیوا محمدیان خراسانی*، مهدی همایی، ابراهیم پذیرا
دانشجوی دکتری؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران
استاد؛ گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران
استاد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

چکیده

مدیریت پایدار منابع خاک موجب ایجاد تعادل، بقا و حفظ چرخه زیستی می‌شود. ساختمان خاک موضوعی مهم در مدیریت منابع خاک است. برای بیان کمّی ساختمان خاک و استفاده از این ویژگی در مدل‌های مختلف برای برنامه‌ریزی و مطالعات به‌عنوان اطلاعات پایه کمّی، لازم است این فاکتور به‌صورت کمّی ارائه شود. بدین منظور، تعدادی نمونه خاک دست‌نخورده از یک منطقه زراعی برداشت و جرم ویژه ظاهری، فراوانی نسبی اندازه ذرات و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو حالت تر و خشک اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از چهار مدل فرکتالی تعداد-اندازه و جرم-اندازه توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو سری الک خشک و تر، بُعد فرکتالی همه نمونه‌ها بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل‌های تعداد-اندازه مندل‌برات و جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت در سری الک‌های خشک و مدل‌های تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو و جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت در سری الک‌های تر با داشتن کم‌ترین خطا و انحراف معیار، مناسب‌ترین مدل‌ها برای بیان کمّی ساختمان خاک می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: بُعد فرکتالی، فراوانی نسبی اندازه ذرات، مدیریت منابع خاک

مقدمه

امروزه، کشاورزی پایدار به‌عنوان مدیریت موفق منابع برای ارتقاء سطح کیفی محیط‌زیست و حفاظت منابع طبیعی معرفی می‌شود. ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها، بر روی تهویه، فرسایش، حرکت آب در خاک و رشد محصول تأثیر می‌گذارند و می‌توانند محدوده وسیعی از فرآیندهای بیوژئوشیمیایی و فیزیکی محیط زراعی و غیر زراعی را تحت تأثیر قرار دهند (Bronick and Lal, 2005). بنابراین دستیابی به وضعیت بهینه ساختمانی و ارتقای پایداری واحدهای تشکیل‌دهنده ساختمانی خاک، یکی از مهم‌ترین اهداف کشاورزی پایدار و حفاظت محیط‌زیست می‌باشد.

کمّی‌سازی ساختمان خاک بر پایه ارزیابی‌های غیر مستقیم پارامترهای ساختمان خاک از روی داده‌های تعدادی از فرآیندهای خاک که از ساختمان خاک نشأت می‌گیرند انجام می‌شود. همان فرآیندهایی از خاک که با حالت پایدار یا لحظه‌ای از سیستم پویای خاک در ارتباط هستند. ذرات خاک از نظر شکل، اندازه و جهت قرارگیری متفاوت هستند و می‌توانند به شیوه‌هایی گوناگون کنار هم قرار بگیرند، در نتیجه مجموعه آن‌ها نیز نامنظم و پیچیده است و مشخص کردن شکل هندسی دقیق برای آن‌ها، بسیار دشوار است. توصیف محیط‌های متخلخل چون اغلب ناهمگن و نامنظم می‌باشند، با هندسه اقلیدسی دشوار است (Uquiche *et al*., 2004). بررسی روش‌های به‌روز و کارآمد برای کمّی‌سازی مفاهیم اساسی فیزیک خاک و استفاده کاربردی از ساختمان خاک، ضروری و حائز اهمیت می‌باشد. امروزه برای کمّی‌سازی محیط‌های متخلخل و نامنظم در طبیعت از روش‌های فرکتالی استفاده می‌شود (Pedreschi *et al*., 2000; Quevedo *et al*., 2002).

فرکتال‌ها از روش‌های مهم و نوین برای مدل‌سازی و بیان کمّی ویژگی‌های خاک می‌باشند (Young *et al*., 2001). تعیین بُعد فرکتالی روشی جدید برای کمّی‌سازی ساختمان خاک است که در آن خاکدانه‌ها جسم شبه فرکتالی در نظر گرفته می‌شوند (Zhao *et al*., 2006). در خاک با جدا کردن اجزاء درشت، بُعد فرکتالی افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده بی‌نظمی شکل خاکدانه‌ها می‌باشد. جدا کردن ذرات ریز و درشت از خاک باعث فرسایش خاک می‌گردد که این مسأله را می‌توان با تئوری فرکتالی تشریح کرد (Salako and Hauser, 2001).

با توجه به اینکه امروزه برای مدل کردن ساختمان خاک اغلب به‌طور گسترده‌ای از روش‌های فرکتالی استفاده می‌شود، بنابراین همین امر باعث شده که استفاده از توابع نمایی برای پارامتره کردن توزیع اندازه ذرات افزایش یابد (Kozak *et al*., 1996; Bittelli *et al*., 1999). برای اندازه‌گیری ساختمان خاک، دو روش به‌واسطه بُعد فرکتالی وجود دارد. روش مستقیم، درست‌ترین و نخستین روشی است که در آن

ساختمان خاک تصویر می‌شود. سپس واحدهای ساختمانی به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شده و با آنالیز آن، بُعد فرکتالی برای توزیع اندازه ذرات تخمین زده می‌شود (Pachepsky *et al*., 1996; Dathe *et al*., 2006).

Perfect و Blevins (۱۹۹۷) در پژوهشی به این نتیجه دست یافتند که بُعد فرکتالی در سیستم‌هایی که عملیات خاکورزی در آن‌ها صورت نگرفته، کم‌تر و خاک دارای ساختمان بهتری است. در پژوهشی Millan *et al*. (۲۰۰۲)، بیان کردند که پارامترهای فرکتالی خاکدانه‌ها اثر عوامل خارجی مانند خاکورزی و بهسازی را بر روی ساختمان خاک منعکس می‌کنند و ابزاری مناسب برای تشخیص تأثیر عوامل مدیریتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشند.

بُعد فرکتالی اندازه ذرات خاک در کاربری‌های جنگل و مرتع کم‌تر از بُعد فرکتالی ذرات بوده و نمی‌تواند تغییر ساختمان خاک را با تغییر پوشش گیاهی نشان دهد. در حالی‌که بُعد فرکتالی خاکدانه‌های خاک، تغییر ساختمان خاک را با تغییر کاربری و پوشش به‌خوبی بیان کرده و به‌عنوان روشی سودمند و مؤثر برای توصیف ساختمان خاک می‌باشد (Su *et al*., 2004; Zhao *et al*., 2006). در نتیجه هدف از این پژوهش، محاسبه و تعیین پارامترهای فرکتالی چهار مدل تعداد-اندازه و جرم-اندازه توزیع اندازه خاکدانه‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر و در نهایت، انتخاب کارآمدترین مدل برای کمّی‌سازی ساختمان خاک بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کمّی ساختمان خاک، نخست تعداد ۴۱ نمونه خاک دست‌نخورده به‌صورت چند ریز نمونه مرکب از خاک برداشت و پس از هوا خشک کردن، جرم ویژه ظاهری و فراوانی نسبی اندازه ذرات خاک تعیین و آزمایش‌های مربوط به سری الک‌های خشک و تر بر روی آن‌ها اعمال شد. سپس برای محاسبه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از چهار مدل فرکتالی تعداد-اندازه و جرم-اندازه توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

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

$$N(r > R) = KR^{-D} \quad (۱)$$

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:

$$\frac{M\,(r<R)}{M_T} = \left(\frac{R}{R_L}\right)^{3-D} \quad (۲)$$

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:

$$\log\left(\frac{\rho_i}{\rho_0}\right) = (D_m - 3)\log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \quad (۳)$$

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

مقادیر کمینه، بیشینه، خطای استاندارد و انحراف معیار ضریب تبیین مدل‌های فرکتالی در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به این جدول، در سری الک‌های خشک، مدل‌های جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو و تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو و در سری الک‌های تر مدل‌های جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو و تعداد-اندازه مندل‌برات به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین خطا و انحراف معیار می‌باشند. مدل‌های تعداد-اندازه مندل‌برات و جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت در سری الک‌های خشک و مدل‌های تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو و جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت در سری الک‌های تر، کم‌ترین خطا و انحراف معیار را دارا بوده و در هر دو سری الک‌ها مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو دارای خطا و انحراف معیار بیش‌تری می‌باشد. بُعد فرکتالی محاسبه شده به‌وسیله برخی مدل‌ها برای بعضی نمونه‌ها بیش‌تر از ۳ بدست آمده که می‌تواند به دو دلیل باشد. نخست اینکه مدل مورد نظر برای توزیع خاصی از خاکدانه‌ها مناسب نمی‌باشد. دیگر آنکه حساسیت مدل نسبت به آن توزیع خاص بیش‌تر بوده، بنابراین نمونه‌های مورد نظر باید با مدل‌های دیگری (مدل‌های چند بُعدی) مورد ارزیابی قرار گیرند.

جدول ۱- مقادیر کمینه، بیشینه، خطای استاندارد و انحراف معیار ضریب تبیین مدل‌های فرکتالی

مدل	الک خشک				الک تر			
	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار
تعداد-اندازه مندل‌برات	۰/۹۶	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
جرم-اندازه تیلر-ویت‌کرفت	۰/۹۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۴۴
جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۰۰۸	۰/۰۵۲	۰/۱۴	۰/۹۳	۰/۶۲	۰/۰۳۵	۰/۲۲۷
تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو	۰/۹۶	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵

منابع

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.

Bronick C.J. and Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma. 124: 3–22.

Dathe A., Tarquis A.M. and Perrier E. 2006. Multifractal analysis of the pore and solid – phases in binary two – dimensional images of natural porous structures. Geoderma. 134: 318–326.

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.

Mandelbrot B.B. 1982. The fractal geometry of nature. W. H. Freeman, San Francisco, USA.

Millan H., Gonzalez-Posada M. and Benito R.M. 2002. Fragmentation fractal dimensions of vertisol samples: influence of sieving time and soil pretreatment. Geoderma. 109: 75-83.

Pachepsky Y.A., Yakovchenko V., Rabenhorst M.C., Pooley C. and Sikora L.J. 1996. Fractal parameters of pore surface as derived from micromorphological data: effect of long–term management practices. Geoderma. 74: 305–319.

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 Blevins R.L. 1997. Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage treatment. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 896–900.

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.
Salako F.K. and Hauser S. 2001. Influence of different fallow management systems on stability of soil aggregates in southern Nigeria. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 32: 1483-1498.
Su Y.Z., Zhao H.L., Zhao W.Z. and Zhang T.H. 2004. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. Geoderma. 122: 43–49.
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.
Young I.M., Crawford J.W. and Rappoldt C. 2001. New method and models for characterizing structural heterogeneity of soil. Soil Till. Res. 61: 33-45.
Zhao S.W., Su J., Yang Y.H., Liu N., Wu J. and Shangguan Z. 2006. A fractal method of estimating soil structure changes under different vegetations on ziwuling mountains of the loess plateau, China. China. Agric Sci. J. 5(7): 530-538.

Determining the most efficient fractal models of the PSD in quantification of soil structure

S. Mohammadian Khorasani*, M. Homaee, E. Pazira
*Corresponding author: PhD Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Professor, Department of Irrigation and Drainage, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Abstract
Sustainable management of soil resources led to balance survival and preservation of the biological cycle. Soil structure is an important issue for management of soil resources. To express soil structure as a measurable property and to use it in various models for planning purposes, it is necessary to quantify this property. For this purpose, several undisturbed soil samples were taken from a farmland and their bulk density, particle size distributions and aggregate distributions were measured. By using four fractal models including number-size and mass-size particle size distribution for both wet and dry sieve series, the fractal dimensions of all soil samples were determined. Results indicated that the number-size model of Mandelbrot and mass-size model of Tyler-Wheatcraft in dry sieve series and number-size model of Rieu-Sposito and mass-size model of Tyler-Wheatcraft in wet sieve series, have the minimum error and standard deviations. This implies that these models are the most appropriate models to quantify soil structure.

Keywords: Fractal dimension; Soil resource management; The relative frequency particle size