کمّی‌سازی ساختمان خاک با استفاده از مدل فرکتالی تعداد- اندازهٔ مندل‌برات

شیوا محمدیان خراسانی [۱]، مهدی همایی [۲]، ابراهیم پذیرا [۳]
۱-دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،۲-استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس،۳-استاد گروه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده
ساختمان خاک به دلیل رابطهٔ مستقیمی که با کارآئی و عملکرد خاک به ویژه در کشاورزی دارد دارای اهمیت بسیار است. به همین دلیل بیان کمّی ساختمان خاک اهمیت زیادی در بررسی روابط آب و خاک و گیاه دارد. تقریبا هیچ‌گونه روش مشخصی برای اندازه‌گیری ساختمان خاک وجود ندارد، به گونه‌ای که می‌توان گفت تا کنون به طور کیفی توصیف شده است. از دیگر سو، ساختمان خاک به مفهومی کمّی نیاز دارد تا بتوان آن را به صورت یک ویژگی قابل سنجش بیان کرد. بدین منظ ور، تعداد ۴۱ نمونه خاک دست نخورده از یک منطقه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس فراوانی نسبی اندازهٔ خاکدانه‌ها و جرم ویژهٔ ظاهری آنها در دو حالت خشک و تر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مدل‌های فرکتالی، بعد فرکتالی آنها تعیین و پایداری آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل فرکتالی تعداد- اندازهٔ مندل‌برات در سری الک خشک با دو شاخص تجربی بیش‌ترین همبستگی را دارند و می‌توان از آن برای سنجش کیفی پایداری ساختمان خاک استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بعد فرکتالی، ساختمان خاک، مدل‌های فرکتالی

مقدمه
توصیف ساختمان خاک هنوز برای خاکشناسان با جالش‌هایی همراه است و یک روش کاربردی، علمی و جهانی برای اندازه‌گیری ساختمان خاک وجود ندارد. زیرا برخلاف بافت خاک، ساختمان خاک براثر فعالیت‌های بیولوژیک، آب و هوا و مدیریت‌های مختلفی که برروی آن انجام می‌شود، تغییر می‌کند (Harris et al., ۱۹۶۵). از آنجا که فعالیت‌های بشر موجب تغییرات کوتاه‌مدت و درازمدت در خاک می‌شود و ممکن است این تغییرات اثراتی مثبت و یا زیان‌آور بر عملکرد خاک بگذارند، ساختمان خاک باید به طور کمّی مورد ارزیابی قرار گیرد.
هندسهٔ فرکتالی در مقابل هندسهٔ اقلیدسی توسط Mandelbrot (۱۹۸۲) به منظ ور کمّی نمودن و تشریح اشکال نامنظم طبیعت پایه‌ریزی شد. پس از Mandelbrot محققین زیادی از جمله Kay و Rieu (۱۹۹۱)، Perfect و Sposito (a,b ۱۹۹۱) و Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۲) از مفهوم فرکتال در مباحث مختلف مربوط به خاک استفاده کردند. طی فرآیند سلسله مراتبی تشکیل خاکدانه‌ها شکل و اندازهٔ خاکدانه‌های کوچک‌تر تابعی از تعداد واحدهای بزرگ‌تر می‌باشند و این نحوهٔ خرد شدن به وسیلهٔ بُعد کسری یا بُعد فرکتالی بیان می‌شود. به این ترتیب ساختمان خاک را می‌توان با توابع مبتنی بر هندسهٔ فرکتالی کمّی کرد (Perfect and Blevins, ۱۹۹۷). به دست آوردن بُعد فرکتالی به عنوان ابزاری مفید در مطالعات مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک، فرسایش، فرآیندهای هیدرولوژیک و روشی نوین برای کمّی‌سازی ساختمان خاک است که در آن خاکدانه‌ها جسمی شبه‌فرکتالی در نظر گرفته می‌شوند (Zhao et al., ۲۰۰۶).
در سال‌های اخیر، امکان توصیف توزیع اندازهٔ ذرات، اندازهٔ منافذ و اندازهٔ خاکدانه‌ها با استفاده از هندسهٔ فرکتالی، به عنوان ابزاری مناسب برای کمّی کردن ساختمان خاک، فرسایش خاک و نفوذپذیری مورد استفاده قرار گرفته است (Filgueira et al., ۲۰۰۶; Miao et al., ۲۰۰۷; Montero, ۲۰۰۵; Rieu and Sposito, ۱۹۹۱ a,b).
Perfect و Kay (۱۹۹۱) برای ثابت ماندن مقدار تخمینی بُعد فرکتالی، خاکدانه‌ها را کروی شکل فرض کرده و اثبات کردند که مقدار D نسبت به اثرات فعالیت‌های کشاورزی بر ویژگی‌های خاک حساس می‌باشد، بنابراین تغییرپذیری مکانی و زمانی ساختمان خاک را به خوبی توجیه و تفسیر می‌کند و به صورت یک پارامتر کمّی قابل استفاده در مدیریت پایدار خاک قابل عرضه است. هر چه مقدار D بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ پراکندگی بیش‌تر ذرات است. درنتیجه ذرات با اندازهٔ کوچک‌تر بیشتر خواهند بود.
Rieu و Tyler (۱۹۹۱) (۱۹۹۲) نشان دادند که مقدارهای D باید کمتر از ۳ باشد، لیکن این شرایط مرزی به بافت خاک بستگی دارد. هرچه از سطح به عمق برویم، بافت ممکن است ریزتر و درصد رس و سیلت بیشتر باشد و مقدار D افزایش می‌یابد. هدف مورد بررسی در این پژوهش محاسبه و تعیین پارامترهای فرکتالی مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات پایداری خاکدانه‌ها و مقایسهٔ آن با شاخص‌های تجربی میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و انتخاب بهترین مدل برای بیان ساختمان خاک به صورت کمّی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک به صورت چند ریز نمونهٔ مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و سپس توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها با سری الک‌های تر و خشک بدست آمد. در این پژوهش برای محاسبهٔ شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از دو مدل تجربی و مدل فیزیکی تعداد- اندازهٔ مندل‌برات توزیع تجمعی جهت برازش توزیع تعداد- اندازهٔ خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

برای محاسبهٔ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از رابطهٔ Van Bavel (۱۹۴۹) استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \overline{X}_i w_i \qquad (۱)$$

که در آن $\overline{X}_i$ میانگین قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های خشک باقی‌مانده روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌ها و n تعداد الک به کار برد شده می‌باشد.

برای محاسبهٔ میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها از رابطهٔ Mazurak (۱۹۵۰) استفاده گردید:

$$GMD = \exp\left[\left(\sum_{i=1}^{n} w_i \log \overline{x}_i\right) / \sum_{i=1}^{n} w_i \right] \qquad (۲)$$

که در آن w_i وزن خاکدانه‌ها در هریک از کلاس‌ها با میانگین قطر $\overline{x}_i$ و $\sum w_i$ وزن کل خاک می‌باشد.

با استفاده از مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات بعد فرکتالی محاسبه شد:

$$N(r > R) = KR^{-D} \qquad (۳)$$

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

نتایج و بحث

جدول ۱، همبستگی بین شاخص‌های تجربی و ابعاد فرکتالی را در حالت خشک نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۲ همبستگی شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها با ابعاد فرکتالی مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات برای خاک‌های تر نشان داده شده است. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سری الک خشک و تر با بُعدهای فرکتالی مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات در سطح معنی‌داری ۱% دارای همبستگی منفی می‌باشند که نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات Kay و Perfect (۱۹۹۱) همخوانی دارد.

جدول ۱ - همبستگی میانگین‌های وزنی و هندسی خاکدانه‌ها با ابعاد فرکتالی مدل‌ها در حالت خشک

مدل‌های فرکتالی	شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها MWD و GMD			
	الک خشک		الک تر	
	MWD	GMD	MWD	GMD
D مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات	۹۳۵/۰-**	۹۰۸/۰-**	۱۶۸/۰-	۱۷۰/۰-

** نمایانگر این است که در سطح ۱ % همبستگی معنی‌داری وجود دارد و اعدادی که فاقد علامت می‌باشند عدم وجود همبستگی معنی‌دار را نشان می‌دهند، رنگ خاکستری نیز نشانه‌ی این است که در سطح ۱ % بیشترین همبستگی بین بُعدهای فرکتالی مدل‌ها و شاخص‌های تجربی وجود دارد.

جدول ۲ - همبستگی میانگین‌های وزنی و هندسی خاکدانه‌ها با ابعاد فرکتالی مدل‌ها در حالت تر

مدل‌های فرکتالی	شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها MWD و GMD			
	الک خشک		الک تر	
	MWD	GMD	MWD	GMD
D مدل تعداد- اندازهٔ مندل‌برات	۱۸۵/۰-	۱۲۴/۰-	۸۰۲/۰-**	۹۳۹/۰-**

** نمایانگر این است که در سطح ۱ % همبستگی معنی‌داری وجود دارد و اعدادی که فاقد علامت می‌باشند عدم وجود همبستگی معنی‌دار را نشان می‌دهند، رنگ خاکستری نیز نشانه‌ی این است که در سطح ۱ % بیشترین همبستگی بین بُعدهای فرکتالی مدل‌ها و شاخص‌های تجربی وجود دارد.

منابع

Filgueira, R. R., Fournier, L. L., Cerisola, C. L., Gelati, P., Garcia, M. G. ۲۰۰۶. Particle-Size distribution in soils: a critical study of the fractal model validation. Geoderma. J. ۱۳۴: ۳۲۷-۳۳۴.
Harris, R. F., Chesers, G., Allen, O. N. ۱۹۶۵. Dynamics of soil aggregation.Advance in Agr. ۱۸: ۱۰۷-۱۶۰.
Mandelbrot, B. B. ۱۹۸۲. The fractal geometry of nature. W. H. Freeman, san francisco, CA.
Mazurak, A. P. ۱۹۵۰. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. Soil Sci. ۶۹: ۱۳۵-۱۴۸.
Miao, C. Y., Wang, Y. F., Wei, X. ۲۰۰۷. Fractal characteristics of soil particles in surface layer of black soil. Chin. Appl. Ecol. J. ۱(۹): ۱۹۸۷-۱۹۹۳. In Chines with English abstract.
Montero, E. R. ۲۰۰۵. Dimensions analysis of soil particle-size distributions. Ecol. Model. ۱۸۲: ۳۰۵-۳۱۵.
Perfect, E., Blevins, R. L. ۱۹۹۷. Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage trearment. Soil Sci. Soc. Am. J. ۶۱: ۸۹۶-۹۰۰.
Perfect, E., Kay, B. D. ۱۹۹۱. Fractal theory applied to soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۵: ۱۵۵۲-۱۵۵۸.
Rieu, M., Sposito, G. ۱۹۹۱a. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: I. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۵: ۱۲۳۱-۱۲۳۸.
Rieu, M., Sposito, G. ۱۹۹۱b. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: II. Applications. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۵: ۱۲۳۹-۱۲۳۸.
Tyler, S. W., Wheatcraft, S. W. ۱۹۹۲. Fractal scaling of soil particle-size distribution: Analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۶: ۳۶۲-۳۶۹.
Van Bavel, C. H. M. ۱۹۴۹. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. Proc.
Zhao, S. W., Su, J., Yang, Y. h., Liu, N., Wu, J., Shangguan, Z. ۲۰۰۶. A fractal method of estimating soil structure changes under different vegetations on Ziwuling mountains of the Loess plateau, China. Chin. Agric. Sci. J. ۵(۷): ۵۳۰-۵۳۸.

Abstract

Soil structure has an important role due to its direct influences on soil functions. For this reason, quantitative description of soil structure is required for assessing soil-water-plant relationships. Yet, there is no accepted universal method to measure soil structure, such that can be said that soil structure is described in a qualitative manner. Thus, soil structure needs a quantitative description in order to assign it as a measurable input quantity. For this purpose, some soil samples were taken from an agricultural area and transported to the laboratory. The aggregates relative frequencies as well as their bulk densities were measured. The fractal dimensions of all soil samples were then derived using some fractal models to assess the aggregate stability of soil samples. The results showed that the fractal dimension model of the Mandelbrot has the highest correlation with the empirical indices in the dry sieve series.