رابطة شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها با مدل‌های فرکتالی

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

چکیده
ساختمان خاک شاخصی مهم برای مدیریت بهینهٔ منابع خاک و آب می‌باشد. زیرا به گونه‌ای مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک همچون مقدار آب، هدایت آبی، گرما، تهویه، جرم ویژهٔ ظاهری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد. لیکن به دلیل پیچیدگی ساختمان خاک توصیف کمّی آن دشوار است. یکی از روش‌های نوین برای توضیح کمّی ساختمان خاک استفاده از مفهوم هندسهٔ فرکتالی است. در این روش، با تعیین بعد فرکتالی خاکدانه‌ها می‌توان وضعیت پایداری آنها را در مقیاس‌های مختلف به صورت کمّی بررسی کرد. بدین منظور، تعداد ۴۱ نمونه خاک دست نخورده از منطقهٔ زراعی واقع در ورامین - ایوانکی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس فراوانی نسبی اندازهٔ خاکدانه‌ها و جرم ویژهٔ ظاهری آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ابعاد فرکتالی مدل تعداد- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو (Df) در سری الک خشک با دو شاخص تجربی بیش‌ترین همبستگی را دارند.

واژه‌های کلیدی: بعد فرکتالی، ساختمان خاک، مدل‌های فرکتالی

مقدمه
خاک به عنوان یکی از منابع طبیعی ارزشمند در جهان به شمار می‌رود. به همین دلیل مدیریت پایدار منابع خاک امری ضروری است، که تنها با حفظ و بقای چرخهٔ زیستی این امر حاصل می‌شود (Lal and Pierce, ۱۹۹۱). ذرات خاک از نظر اندازه و شکل بسیار متفاوت می‌باشند، بنابراین هیچ‌گونه شکل هندسی خاص را نمی‌توان برای ساختمان خاک در نظر گرفت. ساختمان خاک به دلیل رابطهٔ مستقیمی که با کارایی و عملکرد خاک به ویژه در کشاورزی دارد، بسیار با اهمیت است. زیرا اثرات زیادی بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، توانایی خاک در حمایت از رشد گیاه، چرخهٔ کربن، دریافت، ذخیره و انتقال آب و همچنین مقاومت در برابر فرسایش دارد.
از آنجا که هنوز یک روش کاربردی و مستقیم برای اندازه‌گیری کمّی ساختمان خاک وجود ندارد، توجه خاکشناسان به روش‌های کمّی‌سازی بیش از پیش جلب شده است. با ارائهٔ هندسهٔ فرکتالی و به کار بردن آن در دانش خاکشناسی، به ویژه در تخمین پایداری ساختمان خاک و مقایسهٔ آن با روش‌های سنتی می‌توان به درکی عمیق‌تر دربارهٔ ساختمان خاک به طور خاص و علوم خاک به طور عام دست یافت (Mandelbrot, ۱۹۷۷). استفاده از هندسهٔ فرکتالی و تعیین بعد فرکتالی اجسام برای شناخت غیریکنواختی محیط‌های طبیعی دارای اهمیت خاصی می‌باشد (Kutlu et al., ۲۰۰۸).
پژوهشگران مختلفی از فرکتال‌ها برای مدل‌سازی توزیع اندازهٔ ذرات و تخلخل خاک (Perfect and Blevins, ۱۹۹۷)، مطالعهٔ ساختمان خاک(Ding and Ding, ۲۰۰۷) ، مدل‌سازی توزیع خاکدانه‌ها و تأثیر کاربری‌های مختلف بر آن براساس بعد فرکتالی(Pirmoradian et al., ۲۰۰۵) استفاده کرده‌اند. Dathe و همکاران (۲۰۰۱) طی مطالعه‌ای نشان دادند که بُعد فرکتالی نه تنها برای بیان توصیف کمّی پیچیدگی ساختمان خاک کاربرد دارد بلکه می‌تواند درک درستی از فرآیندهایی که در شکل‌گیری ساختمان خاک دخالت دارند را نیز ارائه دهد.
Gülser (۲۰۰۶) پی برد که بین بُعد فرکتالی و پارامترهای ساختاری خاک رابطه‌ای وجود دارد. او در آزمایشی به این نتیجه رسید که ابعاد فرکتالی با افزایش مقدار MWD و کربن آلی کاهش پیدا می‌کنند. بنابراین کاهش بُعد فرکتالی ممکن است نشان‌دهندهٔ بهبود خواص ساختاری خاک در خاک رس باشد و افزایش بُعد فرکتالی به معنی پایداری بیشتر ساختمان خاک است.
ساختمان خاک برای اینکه به صورت یک خصوصیت قابل تعیین و سنجش بیان شود و در مدل‌های مختلف برای برنامه‌ریزی و مطالعات به عنوان اطلاعات پایهٔ کمّی مورد استفاده قرار گیرد به یک مفهوم کمّی نیاز دارد. هدف این پژوهش، محاسبهٔ پارامترهای فرکتالی مدل تعداد- اندازه و جرم- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها و مقایسهٔ آن با شاخص‌های تجربی میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۴۱ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک منطقة ورامین- ایوانکی برداشت و داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و پس از هوا خشک کردن، توزیع اندازة خاکدانه‌ها با سری الک‌های تر و خشک تعیین شد. برای محاسبة شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از دو مدل تجربی و مدل فیزیکی تعداد- اندازه و جرم- اندازة ریو و اسپوزیتو (Df) و (Dm) توزیع تجمعی جهت برازش توزیع تعداد- اندازه و جرم- اندازة خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از رابطة زیر بدست آمد (Van Bavel, ۱۹۴۹):

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

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.

میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نیز از رابطة زیر بدست آمد (Mazurak, ۱۹۵۰):

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

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.

بعد فرکتالی خاکدانه‌ها با استفاده از مدل تعداد- اندازة ریو و اسپوزیتو (Df) بدست آمد:

$$N_k = A d_k^{-Df} \qquad (۳)$$

که در آن -Df شیب تابع و Nk تعداد تجمعی خاکدانه‌ها می‌باشد که از رابطة زیر به دست می‌آید:

$$N_k = \sum_{i=0}^{k} N(di) \qquad (۴)$$

$$N(di) = \frac{M(di)}{di^3 \rho i} \qquad (۵)$$

که در آن M (di) جرم خاکدانه‌های روی الک کلاس iام، ρ_i جرم ویژة ظاهری کلاس اندازة iام و di میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازة iام می‌باشد.

با استفاده از مدل جرم- اندازة ریو و اسپوزیتو (Dm) نیز بعد فرکتالی محاسبه شد:

$$\log(\rho_i / \rho_0) = (Dm - 3) \log(d_i / d_0) \qquad (۶)$$

که در آن p_i جرم ویژة ظاهری کلاس اندازة iام، ρ_0 جرم ویژة ظاهری اندازة بزرگ‌ترین خاکدانه، d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازة iام، d_0 میانگین قطر بزرگ‌ترین خاکدانه و Dm بُعد فرکتالی (جرم- اندازه) می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول‌های ۱ و ۲ همبستگی شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها با ابعاد فرکتالی مدل‌های جرم- اندازه و تعداد- اندازة ریو و اسپوزیتو نشان داده شده است. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سری الک خشک و تر با بُعدهای فرکتالی مدل تعداد- اندازة Rieu و (Df) Sposito در سطح معنی‌داری ۱% دارای همبستگی منفی می‌باشند و با بُعدهای فرکتالی مدل جرم- اندازة Rieu و Sposito (Dm) در حالت‌های سری الک خشک و تر هیچ‌گونه رابطة معنی‌داری ندارند. نتایج به دست آمده با آنچه Kay و (۱۹۹۱) Perfect گزارش کرده‌اند همخوانی دارد. نتایج ارائه شده در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که با افزایش بعد فرکتالی، میانگین هندسی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد.

جدول ۱- همبستگی شاخص‌های تجربی با ابعاد فرکتالی مدل‌ها در حالت خشک

مدل‌های فرکتالی	شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها MWD و GMD (	
	الک خشک	الک تر
الک خشک		

	الک خشک		الک تر	
	MWD	GMD	MWD	GMD
D) مدل جرم- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو D_m)	۱۰۱/۰-	۰۵۳/۰	۲۴۷/۰-	۲۲۹/۰-
D) مدل تعداد- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو D_f)	۹۳۵/۰-**	۸۹۷/۰-**	۱۸۴/۰-	۱۸۵/۰-

** 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 شاخص‌های تجربی 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 جرم- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو D_m)	۱۵۱/۰	۲۸۹/۰	۰۹۶/۰	۱۱۱/۰
D) مدل تعداد- اندازهٔ ریو و اسپوزیتو D_f)	۱۷۱/۰-	۰۹۳/۰-	۸۰۳/۰-**	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

Dathe, A., Eins, S., Niemeyer, J., Gerold, G. ۲۰۰۱. The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis. Geoderma. ۱۰۳: ۲۰۳-۲۲۹.

Ding, Q., Ding, W. ۲۰۰۷. Comparing stress wavelets with fragment fractals for soil structure quantification. Soil Till. Res., ۹۳: ۳۱۶-۳۲۳.

Gü lser, C. ۲۰۰۶. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. Geoderma. ۱۳۱: ۳۳-۴۴.

Kutlu, T., Ersahin, S., Yetgin, B. ۲۰۰۸. Relations between solid fractal dimension and some physical properties of soils formed over alluvial and colluvial deposits. J. Food-Agric. Environ., ۶: ۴۴۵-۴۴۹.

Lal, R., Pierce, F. J. ۱۹۹۱. The vanishing resource. PP. ۱-۵. In Lal, R., Pierce, F. J.

Mandelbrot, B. B. ۱۹۷۷. Fractals-form, chance and dimension. Freeman and company, San Francisco, California.

Mazurak, A. P. ۱۹۵۰. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. Soil Sci. ۶۹: ۱۳۵-۱۴۸.

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.

Pirmoradian, N., Sepaskhah, A. R., Hajabbasi, M.A. ۲۰۰۵. Aplication of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosystems Engin., ۹۰(۲): ۲۲۷-۲۳۴.

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.

Van Bavel, C. H. M. ۱۹۴۹. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. Proc.

Abstract

Soil structure is an important indicator for optimal management of soil and water resources. Because most soil physical properties including hydraulic conductivity, heat and air transport and porosity are directly affected by soil structure. However, due to complexities involved in describing soil structure, less progress are made to quantify this important soil property. Fractal geometry can be considered as a relatively new method to explain the soil structure in a quantitative manner. In this method by determining the fractal dimension, aggregate stability of soil can be quantitatively analyzed in different scales. For this purpose, ۴۱ intact soil samples were collected from ۰-۳۰ cm of large agricultural areas and transferred to the laboratory afterwards. The samples were first air-dried and then subjected to dry and wet sieve series for aggregate analysis. The relative frequency of aggregate size distributions were obtained by dry-wet sieving method. Undisturbed bulk density of soil samples were obtained by

pichnometer method. The fractal dimensions were calculated based on the number-size and mass-size models. The obtained results indicated that the fractal model of Rieu and Sposito (Df) can well describe the soil aggregate stability. This model provided a reasonable agreement with those obtained from geometric and weighted means of aggregate size distributions.