کارآیی مدل‌های فرکتالی در ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها

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
پایداری خاکدانه‌ها باعث کاهش فرسایش و تخریب خاک و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود. پایداری خاکدانه‌ها شاخصی از عملکرد خاک است که از آن برای تعیین کیفیت خاک استفاده می‌شود و در ارزیابی خاک اهمیت فراوانی دارد. 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. هدف از انجام این پژوهش کمّی‌سازی ساختمان خاک با شاخص‌های متداول و مقایسهٔ آن با بعد فرکتالی به دست آمده برای خاکدانه‌های خاک در پهنهٔ وسیع بود. بدین منظور، نمونه‌های خاک دست نخورده از یک منطقهٔ زراعی گردآوری و فراوانی نسبی اندازهٔ خاکدانه‌ها و جرم ویژهٔ ظاهری آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل فرکتالی جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت از توانایی مناسبی برای توضیح کمّی پایداری خاکدانه‌ها برخوردار است. همچنین مدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت، در سری الک‌های خشک با دو شاخص پایداری خاکدانه‌ها و در سری الک تر تنها با شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها همبستگی مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: بعد فرکتالی، پایداری خاکدانه، مدل تیلر و ویت‌کرفت

مقدمه
پایداری خاکدانه‌ها شاخصی از عملکرد خاک است که از آن برای تعیین کیفیت خاک استفاده می‌شود و در ارزیابی خاک اهمیت فراوان دارد، زیرا اگر خاکدانه‌ها در اثر جذب آب و یا برخورد با ماشین‌آلات کشاورزی متلاشی نشوند، بیانگر این است که آبیاری، بارندگی، عملیات کاشت و داشت و برداشت تأثیر سویی بر ساختمان خاک نداشته و خاک از یک پایداری نسبی و مطلوب برخوردار است (بای‌بوردی، ۱۳۸۸). وضعیت خاکدانه‌ها با استفاده از شاخص‌های اندازه، شکل و پایداری ارزیابی می‌شوند (Harris et al., ۱۹۶۵).
از هندسهٔ فرکتالی به منظور کمّی نمودن و تشریح اشکال نامنظم طبیعت می‌توان استفاده کرد (Mandelbrot, ۱۹۸۲). شکل‌های فرکتالی در مقیاس‌های مختلف خودهمانند، بُعد فرکتالی آن‌ها عددی غیرصحیح و در مقیاس میکروسکوپی بسیار پیچیده می‌باشند. شکل‌های فرکتالی برخلاف شکل‌های هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها سرتاسر نامنظم و میزان بی نظمی آن‌ها در تمامی مقیاس‌ها یکسان است و جسم فرکتالی از دور ونزدیک یکسان دیده می‌شود. سه ویژگی ساختمان خاک که امکان مدل کردن آن را با هندسهٔ فرکتالی فراهم می‌کند: تشکیل از راه تکرار[۱۴۰]، خود تشابهی[۱۴۱] و بعد غیر صحیح می‌باشند.
کاربردهای هندسهٔ 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,۱۹۸۹.۱۹۹۲; Rieu and Sposito , ۱۹۹۱ a,b; Yang et al., ۱۹۹۳; kravchenko and Zhang, ۱۹۹۸).
Su و همکاران (۲۰۰۴) طی نتایج به دست آمده پی بردند که بُعد فرکتالی به فرآیندهای خاک حساس بوده و با افزایش خاک، Dm کاهش می یابد و بین بُعد فرکتالی و خواص خاک رابطهٔ خطی وجود دارد.
مطالعات محدودی که با استفاده از هندسهٔ فرکتالی در علوم خاک انجام شده حاکی از اهمیت این روش در کمّی‌سازی پارامترهای خاک می‌باشد. بنابراین کاربرد هندسهٔ فرکتالی برای بیان کمّی ساختمان خاک و مقایسهٔ آن با شاخص‌های رایج موضوعی با اهمیت به شمار می‌آید. از طرفی، محیط خاک به دلیل ناهمگن بودن در پهنهٔ وسیع، تغییرپذیری بسیار زیادی داشته و شبیه‌سازی شرایط واقعی سطح خاک نیاز به اندازه‌گیری‌های فراوان دارد که زمان‌بر و هزینه‌بر است. بنابراین با روش‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش، می‌توان با اطلاعات و داده‌های محدود، تضمینی قابل قبول از پارامترهای مدنظر را به دست آورد. اهداف مورد بررسی در این پژوهش محاسبهٔ پارامترهای فرکتالی مدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت پایداری خاکدانه‌ها و مقایسهٔ آن با مدل‌های تجربی و بررسی رابطهٔ بین این دو مدل بود.

[۱۴۰]. Iterative Formation
[۱۴۱]. Self Similarity

مواد و روش‌ها

برای انجام کار، نمونه‌های مورد نظر به صورت چند ریز نمونهٔ مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت و پس از هوا خشک کردن، آزمایش‌های مربوط به سری‌های الک تر و خشک یر روی آنها اعمال گردید. برای محاسبهٔ شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از دو مدل تجربی و مدل فیزیکی جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت توزیع تجمعی جهت برازش توزیع جرم- اندازهٔ خاکدانه‌ها استفاده شد.
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از رابطهٔ Van Bavel (۱۹۴۹) بدست آمد:

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

که در آن $\bar{X}_i$ 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 از رابطهٔ Mazurak (۱۹۵۰) محاسبه شد:

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

که در آن w_i وزن خاکدانه‌ها در هریک از کلاس‌ها با میانگین قطر $\bar{x}_i$ و $\sum w_i$ وزن کل خاک می‌باشد.
بعد فرکتالی خاکدانه‌ها با استفاده از مدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت بدست آمد:

$$M(r < R) / MT = (R / RL)^{3-D} \qquad (۳)$$

که در آن M(r<R) جرم تجمعی خاکدانه‌های با اندازهٔ r (کوچک‌تر از مقیاس اندازه‌گیری R)، M_T جرم کل، R_L پارامتری که اندازهٔ بزرگ‌ترین خاکدانه را تخمین می‌زند و D بُعد فرکتالی می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول ۱، همبستگی شاخص‌های تجربی با ابعاد فرکتالی در حالت خشک و جدول ۲ همبستگی شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها با ابعاد فرکتالی مدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت در حالت تر نشان داده شده است. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سری الک خشک با بُعدهای فرکتالی مدل جرم- اندازهٔ Tyler و Wheatcraft در سطح معنی‌داری ۱% و در سری الک تر، تنها شاخص GMD با بُعدهای فرکتالی مدل جرم- اندازهٔ Tyler و Wheatcraft در سطح معنی‌داری ۱% دارای همبستگی منفی می‌باشند. این نتایج با نتایج به دست آمده از تحقیقات Kay و Perfect (۱۹۹۱) همخوانی دارند.

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	
	MWD	GMD	MWD	GMD
Dمدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت	۶۵۵/۰-**	۹۰۲/۰-**	۱۰۲/۰-	۰۷۸/۰-

** 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
Dمدل جرم- اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت	۲۰۹/۰-	۱۰۹/۰-	۲۴۸/۰-	۶۱۲/۰-**

** 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

بای‌بوردی، م. ۱۳۸۸. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
Harris, R. F., Chesers, G., Allen, O. N. ۱۹۶۵. Dynamics of soil aggregation.Advance in Agr. ۱۸: ۱۰۷-۱۶۰.
Kravchenko, A., Zhang, R. D. ۱۹۹۸. Estimating the soil water retention from particle-size distribution: a fractal approach. Soil Sci. J. ۱۶۳(۳): ۱۷۱-۱۷۹.
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.
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.
Su, Y. Z., Zhao, H. L., Zhao, W. Z., Zhang, T. H. ۲۰۰۴. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. Geoderma. ۱۲۲: ۴۳-۴۹.
Tyler, S. W., Wheatcraft, S. W. ۱۹۸۹. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۳: ۹۸۷-۹۹۶.
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.
Yang, P. L., Luo, Y. P., Shi, Y. C. ۱۹۹۳. Soil fractal character token by particle-mass distribution. Sci. Bull. J. ۳۸: ۱۸۹۶-۱۸۹۹ (in Chinese).

Abstract

Stability of soil aggregates causes to diminish soil erosion and degradation and minimizes the environmental pollution. Soil aggregate stability, as a measure of soil quality, is an important index for soil assessment. One of the relatively novel methods to describe soil structure is the so-called fractal geometry. In fractal geometry, the aggregate stability can be quantitatively analyzed by determining fractal dimension on different scales. The objective of this study was to quantify soil structure by means of common indexes as well as by fractal dimensions of aggregates in a large scale. Consequently, the required undisturbed soil samples were taken from some agricultural areas. The samples were air-dried and subjected to dry and wet sieves experiments. The intact bulk density of samples was obtained by pichnometer method. The results indicated reasonable outputs of the mass-size model of Tyler and Wheatcraft. Furthermore, a reasonable agreement was obtained between the fractal dimensions and geometric and weighted mean aggregate sizes for the dry sieve experiments.