پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

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

رابطه بُعد مدل‌های فیزیکی با شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها

شیوا محمدیان خراسانی*، مهدی همایی، ابراهیم پذیرا

۱ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

پایداری خاکدانه‌ها شاخصی برای ارزیابی کیفیت و عملکرد زیستی خاک است. بنابراین، توضیح کمّی این ویژگی دارای اهمیتی بسزا می‌باشد. اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها و توصیف کمّی آن به‌طور مستقیم زمان‌بر، پرهزینه و دشوار است. بدین منظور، استفاده از هندسه فرکتالی برای بیان کمّی پایداری خاکدانه‌ها در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های نوین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این روش می‌توان در مقیاس‌های مختلف، وضعیت پایداری خاکدانه‌ها را به‌صورت کمّی با تعیین بُعد فرکتالی آن‌ها بررسی کرد. در این پژوهش، تعدادی نمونه خاک دست‌نخورده از یک منطقه زراعی گردآوری و برای انجام آزمایش‌های مربوط به سری الک‌های خشک و تر به آزمایشگاه منتقل شد. سپس با استفاده از مدل‌های فرکتالی، بُعد فرکتالی نمونه‌ها تعیین و پایداری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش خردشدگی در سری الک، بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد و تغییرات این شاخص، عکس تغییرات دو شاخص تجربی پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه‌ها، شاخص‌های تجربی، مدل‌های فرکتالی

مقدمه

خاک، منبع طبیعی ارزشمند و یکی از ارکان اساسی اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد که در خدمت بشر قرار دارد (Lal and Pierce, 1991). ساختمان خاک بر اثر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک تشکیل می‌شود. از میان این فرآیندها، آن دسته از مکانیسم‌هایی که در تشکیل خاک پویا هستند نسبت به فرآیندهای پایا دارای تأثیر بیش‌تری می‌باشند (Bronick and Lal, 2005; Ridolfi *et al*., 2003; Manolis, 2002). پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک از ضروریات مهم کاهش تخریب، فرسایش خاک و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌شمار می آیند (Bronick and Lal, 2005).

ذرات خاک از نظر اندازه و شکل، متفاوت می‌باشند. بنابراین برای ساختمان خاک نمی‌توان هیچ‌گونه شکل هندسی خاصی را در نظر گرفت. ساختمان خاک ثابت نبوده و افزون بر غیریکنواختی در نقاط مختلف، با زمان و مکان نیز تغییر می‌کند. ساختمان خاک را به روش‌های مختلف می‌توان مطالعه کرد، لیکن کمّی کردن نتایج این مطالعات بسیار دشوار است. بنابراین ارائه شاخص‌هایی کمّی برای توصیف وضعیت پایداری ساختمان خاک گامی نوین برای مدیریت پایدار خاک می‌باشد.

امروزه روش‌های هندسی مانند هندسه فرکتالی که قادر به توصیف بی‌نظمی اجسام در مقیاس‌های مختلف می‌باشند مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Tyler and Wheatcraft, 1990). Mandelbrot (۱۹۸۲) هندسه فرکتالی را در مقابل هندسه اقلیدسی به‌منظور کمّی کردن و تشریح اشکال نامنظم طبیعت پایه‌ریزی کرد. هرچند هندسه فرکتالی توسط Mandelbrot (۱۹۸۲) فرمول‌بندی شده، لیکن Feder (۱۹۸۸) آن را توسعه داد و بیان کرد که هندسه فرکتالی باعث ایجاد چارچوبی کمّی برای توصیف پدیده‌های خاک در همه مقیاس‌های مکانی و زمانی می‌شود. ناهمگونی اجسام فرکتالی، تصادفی نبوده بلکه به‌صورت خوشه‌ای است و در کل، ریاضیات فرکتالی امکان تهیه مدل‌های مفهومی جدیدی را برای برخورد با ناهمگنی فراهم می‌سازد (Arya and Paris, 1981). Perfect و Kay (۱۹۹۱) برای ثابت ماندن مقدار تخمینی بُعد فرکتالی، خاکدانه‌ها را کروی شکل فرض کرده و نشان دادند که مقدار بُعد فرکتالی 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 به‌صورت یک پارامتر کمّی قابل استفاده در مدیریت پایدار خاک قابل عرضه است. هرچه مقدار بُعد فرکتالی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پراکندگی بیش‌تر ذرات است.

مقادیر کم بُعد فرکتالی اندازه ذرات، نشان‌دهنده حکم‌فرما بودن تعداد کم ذرات بزرگ در توزیع اندازه ذرات و مقادیر زیاد آن بیانگر حکم‌فرما بودن تعداد زیاد ذرات ریز در توزیع اندازه ذرات می‌باشد. بنابراین، هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد، مقدار بُعد فرکتالی اندازه ذرات بیش‌تر و هرچه بافت خاک سبک‌تر باشد، مقدار بُعد فرکتالی اندازه ذرات کم‌تر خواهد بود (Perfect *et al.*, 1992; Rasiah *et al.*, 1992). بین بُعد فرکتالی و پارامترهای ساختاری خاک رابطه‌ای وجود دارد. Gülser (۲۰۰۶) در آزمایشی به این نتیجه دست یافت که با افزایش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، بُعدهای فرکتالی کاهش می‌یابند. بُعد فرکتالی شاخصی برای درجه به هم‌خوردگی خاک می‌باشد (Duhour *et al.*, 2009). پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک به ذرات ریز خاک وابسته می‌باشند و با افزایش اندازه ذرات، به‌علت افزایش ضخامت لایه دوگانه پخشیده و کاهش تشکیل دُمین، پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. هدف از این پژوهش، محاسبه پارامترهای فرکتالی دو مدل تعداد-اندازه مندل‌برات و ریو-اسپوزیتو (D_f) و ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها و مقایسه آن با دو مدل تجربی میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و تعیین رابطه بین این دو بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام کار، نخست نمونه‌های خاک به‌صورت چند ریز نمونه مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت و پس از هوا خشک کردن، آزمایش‌های مربوط به سری الک‌های خشک و تر بر روی آن‌ها اعمال شد. در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از دو مدل تجربی میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و دو مدل فرکتالی تعداد-اندازه مندل‌برات و ریو-اسپوزیتو (D_f) توزیع تجمعی جهت برازش توزیع تعداد-اندازه خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از رابطه Van Bavel (۱۹۴۹) محاسبه شد:

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

در این معادله، $\bar{x}_i$ میانگین قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های خشک باقی‌مانده روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌ها و n تعداد الک‌های به‌کار برده شده می‌باشد.

برای بدست آوردن میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها از رابطه Mazurak (۱۹۵۰) استفاده شد:

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

در این معادله، w_i وزن خاکدانه‌ها در هر یک از کلاس‌ها با میانگین قطر $\bar{x}_i$ و $\sum w_i$ وزن کل خاک می‌باشد.

با استفاده از مدل تعداد-اندازه Mandelbrot (۱۹۸۲)، بُعد فرکتالی به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$N(r > R) = KR^{-D} \qquad (۳)$$

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 خاکدانه‌ها با استفاده از مدل تعداد-اندازه Rieu-Sposito (D_f) (۱۹۹۱b) بدست آمد:

$$N_k = Ad_k^{-Df} \qquad (۴)$$

در این معادله، D_f- شیب تابع و N_K تعداد تجمعی خاکدانه‌ها می‌باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

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

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

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 و بیشینه مربوط به مدل‌های تجربی و فیزیکی (فرکتالی) برای دو حالت الک خشک و تر در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول نشان داده شده، مقدار میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در سری الک خشک بیش‌تر از الک تر می‌باشد. علت این تفاوت در دو حالت خشک و تر آن است که نیروهای وارد شده بر خاکدانه‌ها در این دو شرایط متفاوت بوده و کاهش میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در سری الک تر، نشان‌دهنده بی‌ثباتی ذرات خاک بر اثر غوطه‌وری در آب می‌باشد. مقدار عددی بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها با خرد و ریزتر شدن خاکدانه‌ها کاهش یافته و مقدار بُعد فرکتالی در سری الک تر نسبت به الک خشک کم‌تر شده است. بنابراین تغییرات شاخص‌های فیزیکی، عکس تغییرات شاخص‌های تجربی می‌باشد. بدین‌گونه که با افزایش میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها، پایداری ساختمان خاک افزایش یافته، در حالی‌که با افزایش بُعد فرکتالی، پایداری ساختمان خاک کاهش یافته است.

جدول ۱- مقادیر کمینه و بیشینه مدل‌های تجربی و فیزیکی (فرکتالی)

پارامترها	الک خشک			الک تر		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	۲/۸۰	۸/۹۰	۵	۰/۳۰	۱/۸۵	۱/۰۱
میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها	۱/۰۳	۱/۹۱	۱/۳۵	۰/۴۳	۱/۰۱	۰/۶۷
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه مندل‌برات	۲/۷۶	۳/۶۳	۳/۱۷	۲/۵۴	۳/۵۵	۲/۹۵
بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه ریو-اسپوزیتو (D_f)	۲/۶۶	۳/۵۴	۳/۰۶	۲/۵۱	۳/۵۰	۲/۹۰

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.

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

Duhour A., Costa C., Momoa F., Falco L. and Malacalza L. 2009. Response of earthworm communities to soil disturbance: Fractal dimension of soil and species' rank-abundance curves. Appl. Soil Ecol. 43: 83-88.

Feder J. 1988. Fractals. New York: Plenum Press.

Gülser C. 2006. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. Geoderma. 131: 33–44.

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.

Manolis G.D. 2002. Stochastic soil dynamics. Soil Dyn. Earthq. Eng. 22: 3-15.

Mazurak A.P. 1950. Effect of gaseous phase on water–stable synthetic aggregates. Soil Sci. 69: 135–148.

Perfect E. and Kay B.D. 1991. Fractal theory applied to soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1552–1558.

Perfect E., Rasiah V. and Kay B.D. 1992. Fractal dimension of soil aggregate-size distribution calculated by number and mass. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1407-1409.

Rasiah V., Kay B.D. and Perfect E. 1992. Evaluation of selected factors influencing aggregate fragmentation using fractal theory. Soil Sci. Can. J. 72: 97-106.

Ridolfi L., D'Odorico P., Porporato A. and Rodriguez-Iturbe I. 2003. Stochastic soil moisture dynamics along a hillslope. Hydrol. J. 272: 264-275.

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. 1990. Fractal processes in soil water retention. Water Resour. Res. 26(5): 1047-1054.

Van Bavel C.H.M. 1949. Mean weight–diameter of soil aggregation as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 14: 20-23.

Relationship between physical models with empirical indexes of aggregate stability

Sh. Mohammadian Khorasani*, M. Homaee, E. Pazira
1, 3- PhD Student and Professor, 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

Abstract
Aggregate stability is an index to assess quality and biological functions of soils. Thus, a quantitative description of aggregate stability is of great importance. Direct measurement of aggregate stability and its quantitative description is time-consuming, costly and difficult. For this purpose, the use of fractal geometry for quantifying the aggregate stability is considered by several investigators in recent years. This method can be used at different scales to quantify the aggregate stability by determining the fractal dimension. In this study, several undisturbed soil samples were collected from an agricultural area and transferred to the laboratory for the desegnated physical analyses. All samples were then tested to obtain their aggregate stability by using the dry and wet seiving methods. The fractal dimensions of all soil samples were then obtained by using different fractal models. The obtained results showed that by increasing soil fragmentation, the fractal dimensions are reduced. The variation of these dimensions is opposite of the changes of two empirical indexes for soil aggregate stability.

Keywords: aggregate stability; empirical indexes; fractal models