بررسی پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از مدل‌های فرکتالی

سپیده مفیدی [۱]، مهدی همایی [۲]، ابراهیم پذیرا [۳]
۱-دانشجوی کارشناسیارشد، دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم و تحقیقات گروه خاکشناسی تهران،۲-استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران،۳-استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی و منابعطبیعیدانشگاه آزاداسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده
ساختمان خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه و تولید بهینهٔ محصول تأثیر میگذارد. از آنجا که ساختمان‌خاک تا کنون به طور کیفی بیان شده است یکی از روش‌های نوین برای توصیف کمّی ساختمان‌خاک استفاده از هندسه فرکتالی می‌باشد. هدف از این پژوهش، بدست‌آوردن بُعد فرکتالی خاکدانهها و ارزیابی پایداری آنها بود. بدین منظور، از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری یک منطقه زراعی ۳۰ نمونه تهیه و با استفاده از روش الک‌های تر و خشک و با کمک چهار مدل فرکتالی تعداد-اندازه و جرم-اندازهٔ ریو و اسپوزیتو، تعداد-اندازهٔ مندلبرات و جرم اندازهٔ تیلر و ویتکرفت، بُعد فرکتالی تعیین گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش بُعد فرکتالی، پایداری خاکدانهها کاهش و ناپایداری آنها افزایش مییابد. بنابراین نمونهای که در آن بُعد فرکتالی زیاد است، ساختمان ضعیفتر یا به عبارتی خاکدانه‌ها ناپایدارتر می‌باشند.

واژه های کلیدی: بُعدفرکتالی، پایداری خاکدانه‌ها، مدلهای فرکتالی

مقدمه
اطلاع از خواص فیزیکی خاک جهت بهره وری و استفاده از آن، دارای اهمیت ویژه‌ای است. یکی از مهمترین این خواص، ساختمان خاک است که مفهوم آن شیوهٔ قرار گرفتن ذرات خاک در کنار یکدیگر میباشد. پایداری خاکدانهها در ارزیابی ساختمان خاک اهمیتی فراوان دارد. زیرا اگر خاکدانهها بر اثر جذب آب و یا برخورد با ابزار خاکورزی، متلاشی نشوند، گویای این واقعیت خواهد بود که آبیاری، بارندگی، زهکشی و عملیات کاشت، داشت و برداشت تأثیر سوئی بر ساختمان خاک نداشته و خاک از یک پایداری نسبی و مطلوب برخوردار است (بای بوردی، ۱۳۸۸). ماده آلی در پایداری ساختمان‌خاک نقش مؤثری دارد. فرآیندهای خاکدانهسازی با ماده آلی نه تنها به مقدار و ترکیب شیمیایی ماده آلی بستگی دارد، بلکه به آرایش و چگونگی پیوندهای ماده آلی با اجزاء معدنی‌خاک نیز وابسته است. اکسیدهای آهن و آلومینیم نیز به تنهایی و یا در ترکیب با مواد آلی باعث پایداری ساختمان خاک میشوند (Aringhieri and Sequi, ۱۹۷۹). ساختمان خاک با اثر بر چرخه کربن و دیگر عناصر غذایی، جذب، ذخیره و حرکت آب، تهویه، رسانایی گرمایی خاک، مقاومت مکانیکی و مقاومت در برابر فرسایش، بر رشد گیاه و تولید بهینه محصول اثر میگذارد (Diaz-Zorita et al., ۲۰۰۲). دستیابی به وضعیت بهینهٔ ساختمانی و ارتقاء پایداری خاکدانه‌ها، یکی از مهم ترین اهداف کشاورزی پایدار و حفاظت محیطزیست به حساب می‌آید (Bronick and Lal, ۲۰۰۵). به‌منظور بیان ساختمان خاک به صورت یک ویژگی قابل سنجش به مفهوم کمّی آن نیاز بوده و با پیدایش هندسهٔ فرکتالی ابزار ریاضی مناسبی برای این بررسی در علم خاکشناسی فراهم شده است. Zhong و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی بُعد فرکتالی توزیع اندازهٔ ذرات خاک به کمک مدل یانگ (۱۹۹۳) بیان کردند، بُعد فرکتالی ابزاری مناسب برای تعیین میزان پایداری خاک و افزایش بیابانزایی است و نشان دادند بین درجهٔ بیابانزایی و بُعد فرکتالی رابطهٔ معنی داری وجود دارد. در این پژوهش بُعد فرکتالی با توجه به میزان شن و رس بین ۱۷۹/۲ و ۶۱۱/۲ تعیین گردیده است. Filgueira و همکاران (۲۰۰۶) برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک به بررسی مدلهای فرکتالی (Tyler and Wheatcraft, ۱۹۹۲) و Filgueira et al., ۲۰۰۳)) روی پنج نمونهٔ خاک در آرژانتین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش میزان شن، بُعد فرکتالی برای سیلت کاهش مییابد و با افزایش میزان رس بُعد فرکتالی برای سیلت افزایش مییابد. در این پژوهش بین دو مدل استفاده شده تفاوت معنی داری از نظر بُعد فرکتالی بدست آمده، ملاحظه نشده است. در پژوهش دیگری Wang و همکاران (۲۰۰۶) خصوصیات فرکتالی خاکهایی را که تحت کاربریهای مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک فلات تبت چین قرار داشتند، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بُعد فرکتالی توزیع اندازهی ذرات به تغییرات کاربری اراضی حساس میباشد. با توجه به اینکه کمّیسازی ساختمان خاک با استفاده از هندسه فرکتالی کمتر مورد توجه پژوهشگران داخلی بوده است بدین منظور هدف از این پژوهش، استخراج بُعد فرکتالی خاکدانهها و ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در نمونهها با توجه به بُعد فرکتالی بود.

مواد و روش‌ها
تعداد ۳۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری یک منطقه زراعی در دشت ورامین برداشت شد. علاوه بر نمونههای دست‌خورده، نمونههای دست‌نخورده نیز تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. با استفاده از دادههای بدست آمده از آزمایشگاه جرم ویژهٔ ظاهری و

درصد رطوبت تعیین و با استفاده از روش سری الکهای خشک و تر و مدلهای فرکتالی، پارامترهای فرکتالی محاسبه گردید. در نهایت با ترسیم نمودار هر مدل در حالت تر و خشک برای هر نمونه و مقایسهٔ سطح زیر نمودار و همچنین محاسبهٔ اختلاف بُعد خشک و تر و درصد پایداری و ناپایداری خاکدانهها، نمونهها هم به روش ترسیمی و هم محاسبهای از پایدارترین تا ناپایدارترین مرتب شدند. چهار مدل مختلف توزیع تجمعی جهت برازش توزیع جرم اندازه و تعداد اندازهٔ خاکدانهها در دو حالت خشك و تر استفاده شد. برای تعیین بُعد مدل جرم-اندازه Riue و Sposito (a۱۹۹۱) از رابطه زیر استفاده شد:

(۱)

که در آن i وزن مخصوصظاهری کلاس اندازه iام (Mg/m۳)، ۰ وزن مخصوصظاهری بزرگترین خاکدانه، di میانگین قطر خاکدانههای کلاس اندازهٔ iام (mm)، ۰dمیانگین قطر بزرگترین خاکدانه و Dm بُعد فرکتالی جرم میباشد. برای محاسبهٔ بُعد مدل تعداد- اندازه Riue و Sposito (b۱۹۹۱) از رابطه زیر استفاده شد:

(۲)

که در آن dk میانگین قطر خاکدانهها برای کلاس k ام، A ثابت مدل، Nk تعداد تجمعی خاکدانهها که از رابطه ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$N_k = \sum_{i=0}^{k} N(d_i) \qquad (۳)$$

و N (di)یا تعداد خاکدانهها نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$N(d_i) = \frac{M(d_i)}{(d_i^3 \rho_i)} \qquad (۴)$$

که در آن diمیانگین قطر خاکدانهها (m)، M (di) جرم خاکدانه (kg) و i جرم مخصوص ظاهری خاک میباشد. بُعد فرکتالی مدل جرم- اندازه Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۲) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{M(r<R)}{Mt} = \left(\frac{r}{RL}\right)^{3-D_m} \qquad (۵)$$

که در آن Dm بُعد فرکتال جرمی، M (r<R) جرم تجمعی خاکدانهها بر روی غربالها با اندازههای کوچکتر از Mt ، R جرم خاکدانهها، RL بالاترین اندازه منفذ غربال و r میانگین قطر خاکدانهها در هر کلاس میباشد. بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازه Mandelbort ازرابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$N(r>R) = kr^{-D} \qquad (۶)$$

که در آن r اندازهٔ قطر نرمال شدهٔ خاکدانهها در هر بخش اندازهای (میانگین اندازهٔ مش الک (iام) با اندازهٔ مش الک بزرگتر از آن)، N(r>R) تعداد تجمعی خاکدانههای با اندازهٔ r که از مقیاس اندازهای R بزرگتر است و با قطر الک تعیین میشود، K مقدار ثابت، D بُعد فرکتالی که به شکل و حد پراکندگی ذرات بستگی دارد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۱ دامنه بُعد فرکتالی جرم-اندازهٔ Riue و Sposito در حالت خشک از ۸۵۸/۲ تا ۹۲۴/۲ و در حالت تر از ۹۰۱/۲ تا ۹۹۴/۲ تغییرات داشت. ضریب تبیین در این مدل از ۷/۰ تا ۹۹/۰ متغیر بود. دامنهٔ بُعد فرکتالی Dm برای مدل Tyler و Wheatcraft (۱۹۹۲) در حالت خشک از ۵۲۵۷/۲ تا ۷۸۵۳/۲ و در حالت تر از ۲۴۳۵/۲ تا ۵۵۴۸/۲ تغییرات داشت. ضریب تبیین در این مدل از ۰۰۵/۰ تا ۹۸/۰ متغیر بود و همانطور که از دامنهی ذکر شده برای این دو مدل مشخص است در هیچ یک از نمونهها بُعد فرکتالی بیشتر از ۳ مشاهده نگردید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو مدل قادر به بیان توزیع فرکتالی خاکدانهها میباشند. دامنهٔ بُعد فرکتالی در مدل تعداد-اندازهٔ Riue و Sposito از ۷۶۶/۲ تا ۵۹۵/۳ در حالت خشک و از ۳۴۸/۲ تا ۱۸۴۷/۳ در حالتتر تغییرات داشت. ضریب تبیین در این مدل از ۹۶/۰ تا ۹۹/۰ متغیر بود. دامنهٔ بُعد فرکتالی تعداد-اندازه Mandelbort نیز در حالت خشک از ۸۸۷/۲ تا ۷۲۱/۳ و در حالتتر از ۲۱۳۹/۲ تا ۲۲۱۸/۳ تغییرات داشت. ضریب تبیین در این مدل از ۹۶/۰ تا ۹۹/۰ متغییر بود. مدل تعداد-اندازه Mandelbort بهدلیل اینکه دارای ضریب تبیین بیشتری است بنابراین بهعنوان بهترین مدل در نظر گرفته می‌شود.

جدول۱- ویژگیهای آماری متغیرهای مورد بررسی

متغیر	نوع آزمایش	تعداد نمونهها	کمترین	میانگین	بیشترین	انحراف معیار	خطای استاندارد

بُعد جرم-اندازهٔ تیلر و ویت‌کرفت	الک خشک	۳۰	۵/۲	۶/۲	۷/۲	۰۷/۰	۰۱/۰
	الک تر	۳۰	۲/۲	۴/۲	۵/۲	۰۸/۰	۰۱/۰
بُعد تعداد- اندازهٔ ریو و اسپوریتو	الک خشک	۳۰	۷/۲	۰/۳	۵/۳	۱/۰	۰۳/۰
	الک تر	۳۰	۳/۲	۸/۲	۱/۳	۱/۰	۰۳/۰
بُعد جرم- اندازهٔ ریو و اسپوریتو	الک خشک	۳۰	۸/۲	۸/۲	۹/۲	۰۱/۰	۰۰۲/۰
	الک تر	۳۰	۹/۲	۹/۲	۹/۲	۰۲/۰	۰۰۴/۰
بعد تعداد-اندازهٔ مندلبرات	الک خشک	۳۰	۸/۲	۱/۳	۷/۳	۱/۰	۰۳/۰
	الک تر	۳۰	۲/۲	۸/۲	۲/۳	۱/۰	۰۳/۰

پایداری خاکدانهها و ساختمان خاك، به ذرات ریز خاك وابسته میباشد. با افزایش اندازهٔ ذرات پایداری خاکدانهها کاهش مییابد. در این پژوهش کمّیسازی ساختمان خاک به کمک مدلهای فرکتالی صورت گرفت. پارامترهای مورد نیاز مانند جرم ویژهٔ ظاهری، میزان رطوبت خاک و غیره اندازهگیری و به چهار مدل فرکتالی مورد بررسی برازش داده شد و بهترین مدل تعیین شد. در کل نتایج نشان میدهد که با افزایش اختلاف بُعد خشک و تر، پایداری خاکدانهها کاهش و درصد ناپایداری آنها نیز افزایش مییابد. بنابراین میتوان گفت از آنجا که مطالعه بر روی ساختمان خاک نقش مهمی در مدیریت استفاده و بهرهوری از خاک دارد و همچنین به علت بالا بودن هزینههای آزمایشگاهی سنجش ساختمان خاک و مشکل بودن اندازهگیری مستقیم آن، استفاده از مدلهای فرکتالی به دلیل تنوع و دقت زیاد، میتواند راهگشای بسیاری از مشکلات در زمینه ارزیابی ساختمان خاک باشد.

منابع

بای بوردی، م. ۱۳۸۸. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

Aringhieri, R. and P. Sequi. ۱۹۷۹. The arrangement of organic mater in a soil crumb. PP. ۱۴۵-۱۵۰. Emerson, W.W. and A. R. Dexter. (Eds.), Modification of Soil Structure.

Bronick, C.J. and R. Lal. ۲۰۰۵. Soil structure and management: a review. Geoderma ۱۲۴: ۳-۲۲.

Diaz-Zorita, M., J. H. Grove and E. Perfect. ۲۰۰۲. Disruptive methods for assessing soil aggregation: a review. Soil Till. Res. ۶۴: ۳-۲۲.

Filgueira, R.R. Fournier, L.L. Crisola, C.I. Gelati, P. and Garcia, M. G. ۲۰۰۶. Particle-size distribution in soils: A critical study of the fractal model validation. Geoderma, ۱۳۴: ۳۲۷-۳۳۴.

Rieu, M., and Sposito, G. ۱۹۹۱a. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: I. Theory. SSSAJ, ۵۵(۵): ۱۲۳۱ ۱۲۳۸.

Rieu, M. and Sposito, G. ۱۹۹۱b. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: . Aplications. Soil Sci. Soc. Am. J., ۵۵:۱۲۳۹-۱۲۴۴.

Su, Y.Z. Zhao, H.L. Zhao, W.Z. and Zhang, T.H. ۲۰۰۴. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. Geoderma, ۱۲۲: ۴۳-۴۹.

Wang, X. Li, M.H. Liu, S. and Liu, G. ۲۰۰۶. Fractal characteristics of soils under different land-use patterns in the arid and semiarid regions of the Tibetan Plateau, China. Geoderma, ۱۳۴: ۵۶-۶۱.

Abstract

Soil structure directly and indirectly influences growth and optimal production of plant. Since soil structure has been not yet defined quantitatively, the so-called fractal geometry as a novel method can be used to describe to quantity of soil structure is the usage of. The purpose of this research is the catch of fractal dimension of aggregate stability. The objective of this investigation was to determine fractal dimension to assess stability of soil aggregates for this purpose, ۳۰ samples were taken from ۰-۳۰ cm soil depth of area large agricultural area. The collected soil samples were taken to the laboratory and subjected to wet and dry sieving experiments. Furthermore, four fractal models including the number-size and mass-size of Rieu and Sposito, number-size of Mandelbort, mass-size of Tyler and Wheatcraft were used to obtain the fractal dimensions. The obtained results indicated that by increasing the fractal dimension, aggregate stability decreases and vise versa Consequently, samples with lower fractal dimensions have stronger aggregate stability.