تعیین پایداری ساختمان خاک با مقایسه بُعدهای فرکتالی مدل جرم-اندازه توزیع اندازه خاکدانه‌ها

شیوا محمدیان خراسانی*، مهدی همایی، ابراهیم پذیرا
*نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران
استاد؛ گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران
استاد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

چکیده

خاک محیطی طبیعی، پیچیده و مهم‌ترین نهاده برای کشاورزی و تعادل زیست بوم می‌باشد. به‌منظور بهره‌وری مناسب از خاک، دانستن ویژگی‌های فیزیکی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ساختمان خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی می‌باشد که تاکنون عمدتاً به‌صورت کیفی بیان شده است. هندسه فرکتالی یکی از روش‌های به‌روز و کارآمد در بیان کمّی این ویژگی می‌باشد. در این پژوهش، ۴۱ نمونه خاک دست‌نخورده از یک منطقه زراعی برداشت و آزمایش‌های سری الک‌های خشک و تر بر روی آن‌ها اعمال شد. سپس، با استفاده از مدل فرکتالی جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو، بُعد فرکتالی نمونه‌ها تعیین و پایداری ساختمان آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کم شدن اختلاف بُعد فرکتالی در دو حالت خشک و تر پایداری خاکدانه‌ها را افزایش و با افزایش اختلاف این بُعدها در دو حالت، خاکدانه‌ها ناپایدارتر می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: الک خشک و تر، مدل جرم-اندازه، مدل فرکتالی

مقدمه

ساختمان خاک در زمان و مکان متغیر است. بنابراین، تخمین ویژگی‌های خاک، کاری دشوار است (Mapa *et al*., 1986; Messing and Jarvis. 1993; Scott *et al*., 1994). در نتیجه، رسیدن به یک وضعیت بهینه ساختمانی و افزایش پایداری خاکدانه‌های تشکیل‌دهنده ساختمان خاک مهم‌ترین هدف می‌باشد. در ارزیابی خاک، پایداری خاکدانه‌ها اهمیتی فراوان دارد به‌گونه‌ای که فرسایش خاک تحت تأثیر پایداری ساختمان خاک است (Kay, 2000). با اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها می‌توان ویژگی‌های دیریافت و هزینه‌بر خاک را برآورد کرد. بیان کیفی پایداری خاکدانه‌ها به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد که این امر باعث ایجاد مشکل در مقایسه داده‌های بدست آمده، می‌شود (Amézketa, 1999).

تعیین چگونگی خاکدانه‌ای شدن در زمان معین، برای توصیف ویژگی‌های ساختمان خاک کافی نیست. زیرا خاکدانه‌ها تنها در طول زمان تغییر نمی‌کنند به‌عبارتی، خاکدانه‌ها به‌طور مداوم تشکیل، تجزیه و دوباره تشکیل می‌شوند (Capriel *et al*., 1992). امروزه برای شبیه‌سازی محیط‌های متخلخلی مانند خاک، از تئوری هندسه فرکتالی استفاده می‌شود (Tyler and Wheatcraft, 1990; Hunt, 2004; Cihan *et al*., 2007). هندسه فرکتالی مفهومی جدید برای توصیف و تعریف ناهمگنی و بی‌نظمی زیاد در محیطی مانند خاک را فراهم می‌کند. هندسه فرکتالی به‌طور آماری در محدوده وسیعی از مقیاس‌ها تکرار شده و در نتیجه، مقیاس تغییرناپذیری را افزایش می‌دهد. زمانی‌که خاصیت فرکتالی تحت مقیاس‌های متفاوت اندازه‌گیری و بی‌نظمی‌های اندازه کم‌تر از ویژگی اندازه نادیده گرفته شود، قانون توان این مقیاس تغییرناپذیر بوجود می‌آید که به‌عبارتی بُعد فرکتالی، توان مقیاس‌سازی است و این بُعد قادر به اندازه‌گیری درجه بی‌نظمی محیط می‌باشد (Turcotte , 1986; Tyler and Wheatcraft, 1989; Lin, 2008).

خاک یک پدیده فرکتالی است بنابراین مقایسه ساختمان خاک‌های مختلف با بُعد فرکتالی آن‌ها امکان‌پذیر است (Arya and Paris, 1981). از خصوصیات بارز اجسام فرکتالی این است که خودهمانند بوده، بُعد غیر عدد صحیح دارند و در مقیاس‌های ریز بسیار پیچیده می‌باشند (Martens, 2000). در واقع تشکیل از راه تکرار، خودمتشابهی و بُعد غیر صحیح سه ویژگی ساختمان خاک هستند که امکان مدل کردن آن را با هندسه فرکتالی نیز فراهم می‌نمایند.

فرکتال‌ها چارچوبی بین مطالعات چند گرایشی خاک ایجاد کرده و ارائه‌دهنده روابط پیچیده بین فرآیندهای خاک می‌باشند (Mandelbrot, 1982). بررسی فرکتال‌ها و ساختمان خاک از اهمیت زیادی برخوردار است (Bartoli *et al*., 1991; Crawford *et al*., 1995; Bird and Dexter, 1997). تئوری فرکتال توانایی مدل کردن ساختمان خاک (Tyler and Wheatcraft, 1990) و بافت خاک را دارد و همچنین با استفاده از این تئوری می‌توان غیر یکنواختی ساختمان خاک را به رفتار ویژه‌ای از خاک پیوند داد (Young *et al*., 2001). مطالعات گسترده‌ای در زمینه کمّی‌سازی ساختمان خاک، تأثیر عملیات خاکورزی بر روی خاک و دیگر عناوین فیزیک خاک با استفاده از هندسه فرکتالی انجام شده است (Perfect, 1997; Anderson *et al*., 1998; Baveye *et al*., 1998).

Bird *et al*. (۱۹۹۶) طی نتایج بدست آمده پی بردند که با استفاده از فرکتال خودمتشابه می‌توان یک رابطه توانی ساده بین ویژگی‌های مرتبط ساختمان خاک و مقیاس مشاهده‌ای و یا اندازه‌گیری را جستجو کرد. Millan و Orellana (۲۰۰۱) در پژوهشی بیان کردند که اگر پارامتری دارای رفتار فرکتالی باشد، با در دست داشتن مقادیر پارامتر در حداقل دو مقیاس می‌توان مقادیر آن را در دیگر مقیاس‌ها نیز پیش‌بینی کرد. Graham *et al*. (۲۰۰۷) با بررسی ساختمان خاکدانه‌های بسیار ریز با تخلخل زیاد، ثابت کردند که این خاک‌ها ساختاری خودهمانند و فرکتالی دارند. مطالعات محدودی که با استفاده از هندسه فرکتالی در علوم خاک صورت گرفته، حاکی از اهمیت این روش در کمّی‌سازی پارامترهای خاک است. از طرفی دیگر، محیط خاک چون در پهنه وسیع ناهمگن بوده و تغییرپذیری زیادی دارد بنابراین شبیه‌سازی شرایط واقعی سطح خاک نیازمند اندازه‌گیری‌های فراوان است که هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. بدین ترتیب هدف از این پژوهش، تعیین پایداری خاکدانه‌های تشکیل‌دهنده ساختمان خاک با استفاده از مدل فرکتالی جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، نمونه‌های خاک دست‌نخورده به‌صورت چند ریز نمونه مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت و برای تعیین توزیع اندازه خاکدانه‌ها با سری الک‌های خشک و تر به آزمایشگاه منتقل شد. سپس برای محاسبه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از مدل فرکتالی جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد.

بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها با استفاده از مدل جرم-اندازه Rieu-Sposito (D_m) (۱۹۹۱a) بدست آمد:

$$\log(\frac{\rho_i}{\rho_0}) = (D_m - 3)\log(\frac{d_i}{d_0}) \quad (۱)$$

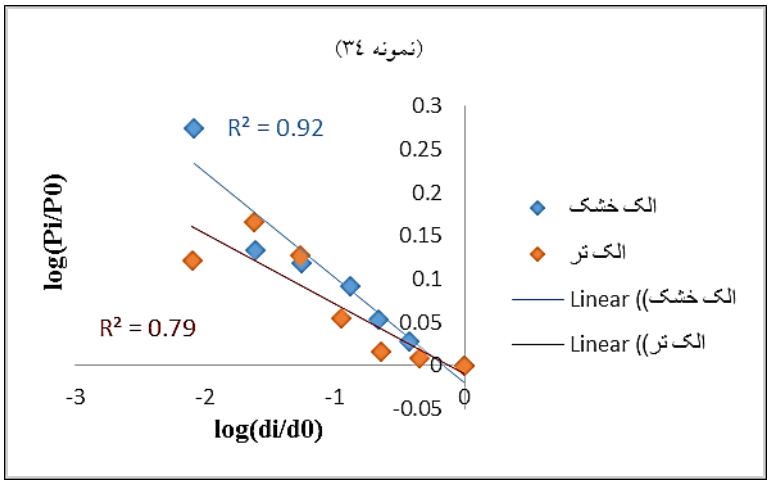
در این معادله، p_i جرم ویژه ظاهری کلاس اندازه i ام، ρ_0 جرم ویژه ظاهری بزرگ‌ترین خاکدانه، d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازه i ام، d_0 میانگین قطر بزرگ‌ترین خاکدانه و D_m بُعد فرکتالی (جرم-اندازه) می‌باشد.

نتایج و بحث

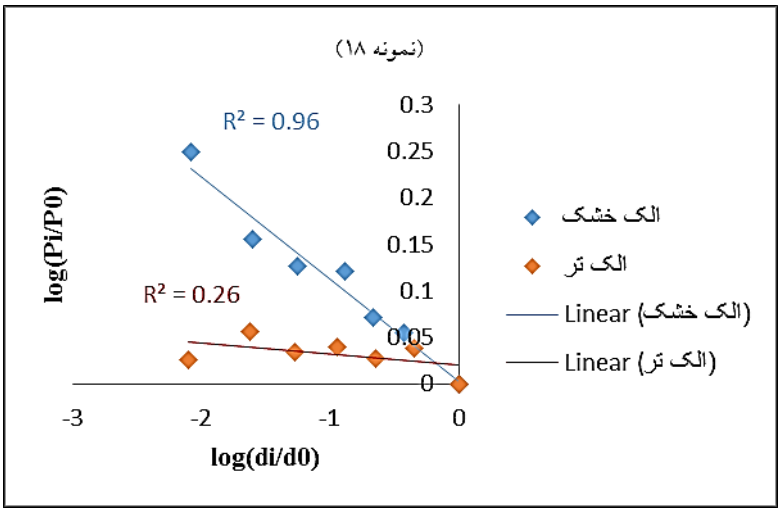
در این پژوهش، نخست درصد پایداری و ناپایداری بر اساس بُعد فرکتالی بدست آمده از مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو برای ۴۱ نمونه محاسبه، سپس نمونه‌ها از پایدارترین تا ناپایدارترین مرتب شدند. مرتب‌سازی نمونه‌ها در مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو با محاسبه درصد پایداری و درصد ناپایداری، مقایسه آن‌ها در هر نمونه و از طریق مقایسه اختلاف سطح زیر نمودار در حالت خشک و تر انجام گردید که بر اساس تفاوت بُعدهای فرکتالی در حالت خشک و تر، میزان درصد پایداری و ناپایداری برای همه نمونه‌ها محاسبه شد که با توجه به جدول ۱، پایدارترین خاکدانه‌ها در نمونه سی و چهارم و ناپایدارترین مربوط به نمونه هجدهم می‌باشد که پایدارترین و ناپایدارترین نمونه‌ها بر پایه مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، کم بودن اختلاف بُعد در حالت خشک و تر باعث شده که خاکدانه‌ها پایدارتر باشند و در شکل ۲ به‌علت زیاد بودن اختلاف بُعد خشک و تر، خاکدانه‌ها در این نمونه ناپایدار می‌باشند. در مدل جرم-اندازه، هیچ‌کدام از نمونه‌ها دارای بُعد فرکتالی بیش از ۳ نبودند بنابراین این مدل قادر به بیان توزیع فرکتالی خاکدانه‌ها می‌باشد. همانگونه که در دو شکل زیر مشاهده می‌شود، بعضی نقاط برازش داده شده بر روی خط از لحاظ شکل ناپایدارند لیکن بر پایه محاسبات، پایدار تعیین شده‌اند. علت این است که در قسمت ابتدایی، دو منحنی بر روی هم قرار گرفته‌اند لیکن در انتها از هم فاصله می‌گیرند.

جدول ۱- کم‌ترین و بیش‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها به همراه اختلاف بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو (خشک و تر)

کمینه			بیشینه		
شماره نمونه	تفاوت	درصد پایداری	شماره نمونه	تفاوت	درصد پایداری
۱۸	۰/۱۰	۹۶/۶۱	۳۴	۰/۰۴	۹۸/۶۰



شکل ۱- بیش‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها در مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو



شکل ۲- کم‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها در مدل جرم-اندازه ریو-اسپوزیتو

منابع

Amézketa E. 1999. Soil aggregate stability: A Review. Journal of Sustainable Agriculture. 14: 83-151.

Anderson A.N., McBratney A.B. and Crawford J.W. 1998. Application of fractals to soil studies. Adv. Agron. 63: 1-76.

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.

Bartoli F., Philippy R., Doiresse M., Niquet S. and Dubuit M. 1991. Structure and self-similarity in silty and sandy soils: The fractal approach. J. Soil Sci. 42: 167-185.

Baveye P., Parlange J–Y. and Stewart B.A. 1998. Fractals in soil science. CRC Press, Boca Raton, FL.

Bird N.R.A. and Dexter A.R. 1997. Simulation of soil water retention using random fractal networks. Eur. J. Soil Sci. 48: 633-641.
Bird N.R.A., Bartoli F. and Dexter A.R. 1996. Water retention models for fractal soil structures. Eur. J. Soil Sci. 47: 1-6.
Capriel P., Harter P. and Stephenson D. 1992. Influence of management on the organic matter of a mineral soil. Soil Sci. 153: 122-128.
Cihan A., Perfect E. and Tyner J.S. 2007. Water retention models for scale-variant and scale-invariant drainage of mass prefractal porous media. Vadose Zone. J. 6: 786-792.
Crawford J.W., Matsui N. and Young I.M. 1995. The relation between the moisture release curve and the structure of soil. Eur. J. Soil Sci. 46: 369-375.
Graham J.R., Kalas P.G. and Matthews B.C. 2007. Ap. J. 654: 595–605.
Hunt A.G. 2004. Continuum percolation theory for water retention and hydraulic conductivity of fractal soils: estimation of the critical volume fraction for percolation. Adv. Water Resour. 27: 175-183.
Kay B.D. 2000. Soil structure, In: Handbook of Soil Science. CRC Press, E.M. Sumner, Ed., USA, F.I., Boca Raton. A229-A264.
Lin D.C. 2008. Factorization of joint multifractality. Physica: 3461-3470.
Mandelbrot B.B. 1982. The fractal geometry of nature. W. H. Freeman, San Francisco, USA.
Mapa R.B., Green R.E. and Santo L. 1986. Temporal variability of soil hydraulic properties with wetting and drying subsequent to tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1133-1138.
Martens D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. Soil Biol. Biochem. 39: 361–369.
Messing I. and Jarvis N.J. 1993. Temporal variation in the hydraulic conductivity of tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. Soil Sci. J. 44: 11-24.
Millan H. and Orellana R. 2001. Mass fractal dimensions of soil aggregates from different depths of a compacted vertisol. Geoderma. 101: 65-76.
Perfect E. 1997. Fractal models for the fragmentation of rocks and soils: A review. Eng. Geol. 48: 185-198.
Rieu M. and Sposito G. 1991a. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: I. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1231–1238.
Scott H.D., Mauromoustakos.Handayani P. and Miller D.M. 1994. Temporal variability of selected properties of loessial soil as affected by cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1531-1538.
Turcotte D.L. 1986. Fractals and fragmentation. Geophys. Res. J. 91: 1921–1926.
Tyler S.W. and Wheatcraft S.W. 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 987–996.
Tyler S.W. and Wheatcraft S.W. 1990. Fractal processes in soil water retention. Water Resour. Res. 26(5): 1047-1054.
Young I.M., Crawford J.W. and Rappoldt C. 2001. New method and models for characterizing structural heterogeneity of soil. Soil Till. Res. 61: 33-45.

Determining soil structural stability by comparing mass-size fractal dimensions model of aggregates size distribution

Sh. Mohammadian Khorasani*, M. Homaee, E. Pazira
*Corresponding author: PhD Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Professor, Department of Irrigation and Drainage, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Abstract
Soil is a natural and complex domain and is the most important factor for agriculture and environmental balance. For better management of soil, understanding its physical characteristics is of particular importance. Soil structure is the most important physical property, which has been usually described in a qualitative manner. The so-called fractal geometry is an innovative method to quantify soil structure. In this study, a number of 41 intact soil samples were taken from an agricultural farms and delivered to the laboratory and subjected to wet and dry sieve series afterwards. By using the mass-size fractal model of Rieu-Sposito, fractal dimensions of samples were determined and their structural stability was evaluated based on the obtained dimensions. The obtained results showed that the small differences between fractal dimensions for dry and wet aggregates reflect higher aggregate stability, while large difference between the wet and dry dimensions can reflect the aggregate instability.

Keywords: fractal model; mass-size fractal model; wet and dry sieving