تخمین پایداری ساختمان خاک با استفاده از مدل‌های فرکتالی و کلاسیک

فاطمه آمریی [۱]، مهدی همایی [۲]، ابراهیم پذیرا [۳]
۱- دانشجوی کارشناسیارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات گروه خاکشناسی تهران، ۲- استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۳- استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده
به دلیل اهمیت ساختمان خاک در مدیریت آب و خاک، ثبات و پایداری آن دارای اهمیت است. ساختمان خاک در شرایط مختلف پتانسیل فرکتالی بودن را داراست.در این پژوهش برای تعیین پایداری ساختمان خاک علاوه بر مدل‌های تجربی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) از مدل‌های فرکتالی Mandelbrot, Tyler and Wheatcraft و Rieu and sposito (Dm), Rieu and sposito (Df)استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه مدل‌های تجربی و مدل‌های فرکتالی و بررسی آن‌ها نشان داد که مدل‌های فرکتالی به دلیل دارا بودن پارامترهای بیشتر از دقت بالاتری نسبت به مدل‌های کلاسیک برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: فرکتال، خاکدانه، ساختمان خاک

مقدمه
بسیاری از فرآیندهای طبیعی و کشاورزی تحت تأثیر ساختمان خاک قرار دارند. تغییر در ساختمان خاک اغلب با تغییر در عملکرد مدیریتی همراه است و ممکن است بر تأثیر این عملکردها اثرگذار باشد (Filgueira et al., ۱۹۹۹). نظم و ترتیب ذرات خاک (ساختمان خاک) و پایداری خاکدانه‌ها به‌نوعی تعیین‌کننده‌ی پاسخ خاک به فشارهایی است که از خارج به آن وارد می‌شود (Lal and Shokla, ۲۰۰۵). اندازه بزرگ و مایکروسکوپی خاکدانه‌ها باعث پیدایش فضای خالی در بین آن‌ها می‌شود که این فضاها بزرگ‌تر از خلل و فرجی است که در فواصل بین شن، سیلت و رس، در درون خاکدانه‌ها وجود دارد. همین تأثیر ساختمان خاک بر خلل و فرج خاک می‌باشد که باعث شده ساختمان خاک یکی از خصوصیات مهم خاک به شمار رود. ساختمان خاک در شرایط مختلف پتانسیل فرکتالی بودن را دارا می‌باشد. پرفکت و کای (۱۹۹۵) در مطالعات خود نشان دادند که تئوری فرکتال‌ها برای توصیف بسیاری از خصوصیات و فرآیندهای خاک قابل‌استفاده می‌باشد. هندسه فرکتالی به‌عنوان یک روش جدید و ابزاری سودمند، جهت تخمین ساختمان خاک و خصوصیات فیزیکی خاک مثل جرم خاکدانه‌ها، جرم ذرات، سطح ذرات خاک، سطح ناهمواری‌ها و همچنین فرسایش می‌باشد (Guber et al., ۲۰۰۵; Lipiec et al.,۱۹۹۹). کاربرد هندسه فرکتال در علم خاک، نشانداده است، خاکی که ویژگی‌های فرکتالی را دارا است، یک محیط کشت متخلخل، دارای ترکیبات متفاوت ذرات با شکل نامنظم و ساختار خود همانند است (Liu et al., ۲۰۰۹). محققان روش‌های فرکتالی را در جهت تعیین پایداری خاکدانه‌ها و کمی سازی ساختمان خاک به‌کاربرده‌اند. بُعد فرکتالی در تخمین پایداری ساختمان خاک استفاده می‌شود و نتیجه حاصل از آن اطلاعات بیشتری نسبت به روش‌های سنّتی تخمین پایداری خاکدانه‌ها (MWD & GMD) در اختیار ما قرار می‌دهد (Zhao et al., ۲۰۰۶). اسپوزیتو و ریو (۱۹۹۱) با استفاده از هندسه فرکتالی وضعیت تخلخل خاک را بررسی کردند. میلان و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از مقیاس‌بندی فرکتالی،توزیع اندازه ذرات خاک را مورد بررسی قرار دادند. ژائو و همکاران (۲۰۰۶) از روشی فرکتالی جهت تخمین تغییر ساختمان خاک تحت تأثیر گیاهان مختلف استفاده کردند و دریافتند که بُعد فرکتالی ذرات نمی‌تواند تغییرات ساختمان خاک را همراه با توالی گیاهان نشان دهد در مقابل بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها، تغییرات ساختمان خاک را بعد از استقرار مجدد گیاهی توصیف می‌کند. لیو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر محیط‌های گیاهی بر ویژگی‌های فرکتالی ازنظر توزیع اندازه ذرات خاک را بررسی کردند و به این نتیجه دست‌یافتند که با تجزیه‌وتحلیل بُعد فرکتالی می‌توان درجه فروافت خاک بین انواع خاک مشابه را تعیین کرد و بُعد فرکتالی می‌تواند اقدامی مناسب جهت تعیین تراکم و اثرات مدیریت پوشش گیاهی بر کیفیت خاک در نظر گرفته شود. اهداف مورد بررسی در این پژوهش تعیین پارامترهای فرکتالی پایداری خاکدانه‌ها و پارامترهای میانگین هندسی و میانگین وزنی خاکدانه‌ها و مقایسه آن‌ها با هم و انتخاب بهترین مدل سازگار با نمونه‌ها بود.

مواد و روش‌ها
تعداد ۳۰ نمونه خاک از ۳۰ نقطه در گره‌های یک شبکه به صورت چند ریز نمونه‌ی مرکب ازعمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. آنگاه جرم ویژه ظاهری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در هر دو حالت تر و خشک به‌دست‌آمد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) نیز محاسبه گردید. سپس برای چهار مدل فرکتالی بُعد فرکتالی تعیین گردید. برای توزیع اندازه خاکدانه‌ها در سری الک‌های خشک با قطرهای (۴۲/۰، ۸۴/۰، ۲، ۷/۴، ۴/۶، ۷/۱۲، و ۳۸ میلی‌متر) و سری

الک‌های تر (۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶، و ۰/۰۵۳ میلی‌متر) تعیین و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) با استفاده از روابط زیر به دست‌آمد.

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

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

که در آن: $\bar{x}_i$ میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک و w_i وزن خاکدانه‌ها در یک کلاس اندازه‌ای با میانگین قطری $\bar{x}_i$ است.

بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه ریو و اسپوزیتو از رابطه زیر به دست آمد:

$$\log\left(\frac{\rho_i}{\rho_0}\right) = (Dm - 3)\log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \quad (۳)$$

که در آن: ρ_i جرم ویژه ظاهری خاکدانه‌ها (Mg. m^{-3})، d_i میانگین قطر خاکدانه‌ها (m)، D_m بُعد فرکتالی جرمی است.

بُعد فرکتالی مدل تعداد-اندازهء ریو و اسپوزیتو از رابطهء زیر به دست آمد:

$$NK = Adk^{-DF} \quad (۴)$$

که در آن: NK تعداد تجمعی خاکدانه‌ها، A مقداری ثابت، dk میانگین قطر خاکدانه‌ها و DF بُعد فرکتالی است.

بُعد فرکتالی مدل تیلر و ویت کرفت از رابطهء زیر به دست آمد:

$$M(r < R)MT = (\frac{R}{R_L})^{3-D} \quad (۵)$$

که در آن: M(r<R) جرم تجمعی خاکدانه‌ها با قطر بزرگ‌تر از اندازه‌ی r، MT جرم کل خاکدانه‌های خشک باقی‌مانده، R میانگین قطر خاکدانه‌ها، RL میانگین قطر بزرگ‌ترین خاکدانه، D بُعد فرکتالی

بُعد فرکتالی مدل مندل‌برات از رابطهء زیر به دست آمد:

$$N(r > R) = KR^{-D} \quad (۶)$$

که در آن: N(r>R) تعداد تجمعی ذرات با قطر بزرگ‌تر از اندازه‌ی R، K مقدار ثابت، R میانگین قطر خاکدانه‌ها، D بُعد فرکتالی است.

نتایج و بحث

دامنهء تغییرات شاخص میانگین وزنی خاکدانه‌هاو دامنهء تغییرات شاخص میانگین هندسی خاکدانه‌ها در حالت خشک و تر در جدول ۱ می‌باشد. هرچه کمیت MWD بزرگ‌تر باشد،پایدارینسبی خاکدانه‌ها نیزبیشتراستو ازآنجا که MWD و GMD همبستگی معناداری باهم دارند،مقادیر بزرگ‌تر GMD نیز نشان‌دهندهءپایدارینسبی خاکدانه‌ها می‌باشد. در جدول ۱ محدودهء تغییرات بُعدها در حالت خشک و تر مدل تعداد-اندازه ریو و اسپوزیتو، جرم-اندازه ریو و اسپوزیتو، تیلر و ویت کرفت و مندل برات می‌باشد.

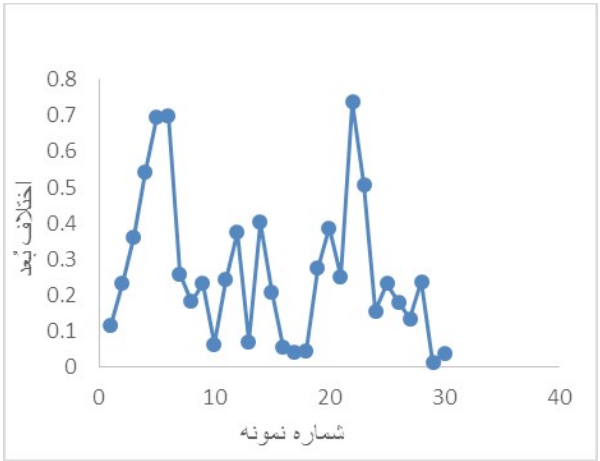
جدول ۱- محدوده تغییرات شاخص‌های تجربی در حالت خشک و تر

	GMD		MWD	
	خشک	تر	خشک	تر
جدول ۲- محدوده تغییرات	۴۴۸/۰-۷۱۰۸/۱	۹۷۴۵/۰-۳۲۳	۹۱۲۱/۷-۸۳۷/۲	۱۴/۱-۳۲۳/۰

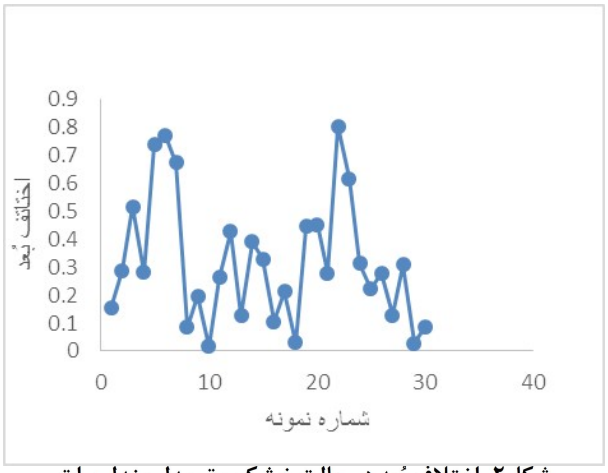
بُعدهای فرکتالی در حالت خشک و تر

Mandelbrot		Riue and Sposito(Dm)		Riue and Sposito(Df)		Tyler and Wheatcraft	
تر	خشک	تر	خشک	تر	خشک	تر	خشک
۲/۲-	۷۶۳/۲-	۹۹۶/۲-	۹۵۴/۲-	۱۳۹/۳-	۵۹۷/۳-	۶۳۷/۲-	۷۱۹/۲-
۵۰/۱	۱۸/۱	۸۹۱/۲	۸۵۵/۲	۴۳/۲	۷۹۴/۲	۲۷۱۵/۲	۴۵۸۹/۲

مقادیر زیاد بُعد فرکتالی نشان‌دهندهء تکه‌تکه شدن بیشتر خاکدانه‌ها است، در این حالت توزیع اندازه خاکدانه‌ها بیشتر با خاکدانه‌های ریز و مقادیر پایین بُعد فرکتالی بیان‌کنندهء این است که غالب توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها، بیشتر خاکدانه‌های درشت‌تر بوده است. هرچه اختلاف بُعد فرکتالی در حالت خشک و تر کمتر باشد نشان‌دهندهء پایداری بیشتر خاکدانه‌ها می‌باشد. شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان‌دهندهء اختلاف بُعدهای فرکتالی است. کمترین اختلاف بُعدها در حالت تر و خشک مربوط به مدل جرم-اندازه ریو و اسپوزیتو است.

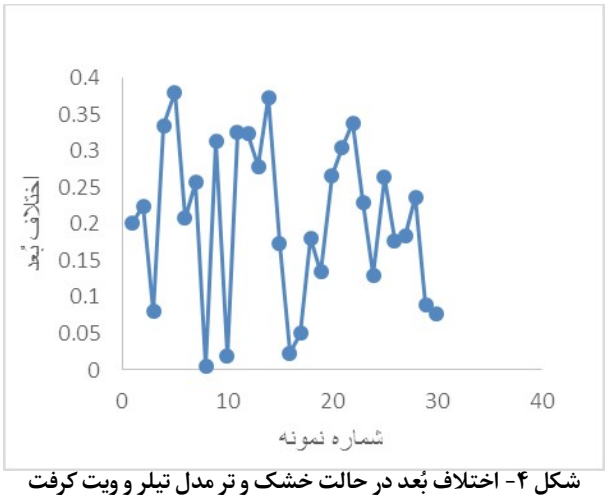


شکل ۱-اختلاف بُعد در حالت خشک و تر مدل ریو و اسپوزیتو (تعداد-اندازه)



شکل۲-اختلاف بُعد در حالت خشک و تر مدل مندل برات

شکل۳- اختلاف بُعد در حالت خشک و تر مدل ریو و اسپوزیتو (جرم-اندازه)



شکل ۴- اختلاف بُعد در حالت خشک و تر مدل تیلر و ویت کرفت

به‌منظور دست‌یابی به سازگارترین مدل با داده‌ها که نتایج بهتر و دقیق‌تری از شرایط محیطی نشان می‌دهد، همبستگی بین داده‌ها و ۴ مدل فرکتالی استفاده شده در حالت خشک و تر، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل تعداد-اندازه ریو و اسپوزیتو در حالت خشک و تر بیشترین همبستگی را با داده‌ها دارد. همچنین بر پایه جدول ۱ کمترین دامنه تغییرات در حالت خشک و تر نیز مربوط به مدل تعداد-اندازه ریو و اسپوزیتو بود.

از آنجا که میانگین وزنی و هندسی بخش کوچکی از پیچیدگی ساختمان خاک را در بر می‌گیرند و این ضرایب داده‌ها باعث از بین رفتن بخشی از اطلاعات شده و به نفع اندازه الک بزرگ‌تر می‌باشند و نسبت به مدل‌های فرکتالی، پارامترهای کمتری را شامل می‌شوند، در نتیجه از دقت کمتری برخوردار می‌باشند؛ بنابراین استفاده از مدل‌های فرکتالی به‌منظور تخمین پایداری خاکدانه‌ها بهتر و کارآمدتر است. بهترین و سازگارترین مدل با داده‌ها بر طبق محاسبات و مشاهدات انجام‌شده، مدل فرکتالی ریو و اسپوزیتو (تعداد-اندازه) است.

منابع

Filgueira, R.R. Fournier, L.L. Sarli, G.O. Aagon, A. and Rawals, W.J. ۱۹۹۹. Sensivity of fractal parameters of soil aggregates to different management practices in a Phaeozem in centeral Argentina. Soil Till. Res., ۵۲: ۲۱۷-۲۲۲.

Guber, A.K. Pachepsky, Ya.A. Levkovsky, E.V. ۲۰۰۵. Fractal mass-size scaling of wetting soil aggregates. Ecological modeling ۱۸۲ (۲۰۰۵) ۳۱۷-۳۲۲

Lal, Rattan & K.Shukla, Manoj.۲۰۰۵. Principle of soil physics. The Ohio State University, Columbus Ohio, U.S.A

Liu, Xia. Guangcan Zhang. Gary C. Heathman. Yaqin Wang. Chi-hua Huang. ۲۰۰۹. Fractal features of soil particle-size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China. Geoderma ۱۵۴ (۲۰۰۹) ۱۲۳-۱۳۰.

Lipiec, J. Hatano, R. Stowinska-Jurkiewicz, A. ۱۹۹۸. The fractal dimension of pore distribution parrerns in variously-compacted soil. Soil & tillage research ۴۷(۱۹۹۸) ۶۱-۶۶

Millan, H. Gonzalez-Posada, M. Aguilar, M. Dominguez, J. and Cespedes, L. ۲۰۰۳.on the fractal scaling of soil data. Particle-size distributions. Geoderma, ۱۱۷: ۱۱۷-۱۲۸.

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

Zhao, shi-wei. Su, jing. Yang, yong-hui. Liu, na-na. Wu, jin-shui. Shangguan, zhou-ping. ۲۰۰۶. A fractal method of estimating soil structure change under different vegetation on Ziwuling Mountans of the Loess Plateau, China. Agriculture science in china-۲۰۰۶, ۵(۷): ۵۳۰-۵۳۸.

Abstract

Due to importance of soil structure its stability plays a significant role in soil-water management. Soil structure in different conditions has the potential to be a fractal object. In this study, to determine the stability of soil structure the empirical weighted mean diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) models as well as the fractal models of Mandelbrot, Tyler and Wheatcraft, Rieu and sposito (Dm), and Rieu and sposito (Df) were used. Interpreting the results of comparison between the experimental and fractal models indicated that fractal models due to their parameters are more accurate than classical models.