مقایسه روشهای کلاسیک با مدلهای فرکتالی در ارزیابی ساختمان خاک

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 منابعطبیعی دانشگاه آزاداسلامی واحد علومو تحقیقات تهران

چکیده
ساختمان خاک، یکی از مهمترین خواص فیزیکی خاک است که مفهوم آن شیوهٔ قرارگیری ذرات خاک در کنار یکدیگر میباشد. بهمنظور سنجش ساختمان خاک به مفهوم کمّی آن نیاز بوده، که هندسه فرکتالی ابزاری مناسب برای این بررسی فراهم کردهاست. هدف از این پژوهش، کمّیسازی ساختمان خاک به کمک مدلهای فرکتالی و مقایسهٔ آن با روش‌های کلاسیک بود. بدین منظور، ۳۰ نمونه خاک، از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری تهیه گردید. سپس با استفاده از روش الکهای تر و خشک، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانهها محاسبه و با کمک چهار مدل فرکتالی، بُعد فرکتالی نمونهها تعیین گردید. نتایج نشان داد که استفاده از مدلهای فرکتالی در ارزیابی ساختمان خاک، مناسبتر و دقیقتر از روشهای کلاسیک میباشد. زیرا، پارامترهای بیشتری را بررسی میکنند و برخلاف روشهای کلاسیک که مقادیر دادهها را نسبت به یک شاخص مرکزی مانند میانگین میسنجند، دادهها را در مقیاسهای مختلف مورد بررسی قرار میدهند. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش اختلاف بُعد خشک و تر، پایداری خاکدانهها کاهش و ناپایداری آنها افزایش مییابد.

واژه‌های کلیدی: ساختمان‌خاک، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، میانگین وزنی قطرخاکدانه‌ها

مقدمه
نظم و تکرار موجود در بسیاری از پدیدههای طبیعی همچون شکل ابرها، رشته کوهها، شبکهٔ رودخانهها، گیاهان و سبزیجات، بشر را بر آن داشته است تا با مطالعهٔ این موارد، روابطی ریاضی، میان این الگوهای تکرارشونده، کشف کند. مندلبرات هنگام اندازهگیری طول سواحل انگلستان مشاهده کرد که با تغییر مقیاس، میزان طول بدست آمده تغییر میکند. نظریهٔ وی به تحول عظیمی منجر شد و علمی بنام هندسهٔ فرکتالی پایهگذاری گردید. مندلبرات واژه فرکتال (fractal) را از واژهٔ لاتین فرکتوس *fractus* به معنی سنگی که به شکل نامنظم شکسته و خرد شده باشد، انتخاب کرد (Mandelbort, ۱۹۸۲). اشیاء فرکتالی خودهمانند بوده، بُعد غیر صحیح داشته و در مقیاس ریز بسیار پیچیده هستند. ساختمان خاک نیز در شرایط مختلف، پتانسیل فرکتالی بودن را دارا میباشد. ساختمان خاک، در مدیریت منابع خاک با هدف رعایت استانداردهای محیطزیستی و ارتقای توان تولید پایدار منابع، پر اهمیت است. بنابراین بهمنظور سنجش ساختمان خاک به مفهوم کمّی آن نیاز بوده، که هندسه فرکتالی ابزار ریاضی مناسبی را برای این بررسی در علم خاکشناسی فراهم کردهاست. Tiulin (۱۹۲۸) روش الکتر را به منظور اندازهگیری پایداری خاکدانهها در مقابل فرسایش آبی پیشنهاد کرد. سالها بعد، Yoder (۱۹۳۶) روشی دیگر برای الکتر ارائه کرد، که در حال حاضر از معمولترین این نوع روشها است. Van Bavel (۱۹۴۹) شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانهها (MWD) را پیشنهاد کرد. که در آن وزن‌های مساوی از خاکدانهها در ضریبی که متناسب با اندازهٔ آنها است، ضرب میشوند. وی در نهایت به این نتیجه دست یافت که هرچه مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بیشتر باشد، پایداری نسبی خاکدانه ها نیز بیشتر است. Mazurak (۱۹۵۰) شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانهها (GMD) را ارائه کرد. Filgueira و همکاران (۱۹۹۹) میزان حساسیت خصوصیات فرکتالی خاکدانههای خاک را در مدیریتهای مختلف تعیین کردند. در این پژوهش از هر دو مدل تعداد-اندازه و جرم-اندازه Riue و Sposito استفاده شده است و به این نتیجه دست یافتند که بُعد فرکتالی جرم به مدیریت حساس نیست. Millan و Orellana (۲۰۰۱) به بررسی تأثیر عمق خاک بر بُعد فرکتالی در خاک های ورتی‌سول پرداختند. Gulser (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر کشت علوفههای مختلف بر ساختمان خاک و ارتباط آن با بُعد فرکتالی به این نتیجه دست یافت که میان بُعد فرکتالی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در این پژوهش همبستگی منفی وجود دارد که نشان دهندهٔ کاهش مقدار D_m و D_fبا افزایش اندازهٔ خاکدانهها به علت کشت علوفه میباشد. هدف از این پژوهش، کمّیسازی ساختمان خاک به کمک مدلهای فرکتالی و مقایسهٔ آن با روش‌های کلاسیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک مورد نیاز در این پژوهش از دشت ایوانکی و گرمسار برداشت شد. بدین ترتیب که از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، ۳۰ نمونه تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. با استفاده از داده‌های بدست آمده جرم ویژهٔ ظاهری و رطوبت نمونه‌ها تعیین و سپس از روش سری الکهای خشک و تر و با کمک مدلهای فرکتالی، بُعد فرکتالی خاکدانههای نمونههای مورد نظر تعیین گردید. برای تعیین توزیع اندازهٔ خاکدانهها از سری الک خشک با قطرهای (۴۲/۰، ۸۴/۰، ۲، ۷/۴، ۴/۶، ۷/۱۲ و ۳۸ میلیمتر) و سری الک تر (۲، ۱، ۵/۰، ۲۵/۰، ۱۰۶/۰، ۰۵۳/۰ میلیمتر) استفاده شد. برای بدست آوردن بُعد فرکتال مدل تعداد-اندازهٔ Mandelbort از رابطه زیر

$$N(r>R)=kr^{-D}$$

استفاده شد: (۱)

که در آن x 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. بُعد فرکتالی مدل تعداد- اندازهٔ Riue و Sposito از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\rho_i}{\rho_0}=\left(\frac{d_i}{d_0}\right)^{D_m-3} \qquad \sum\frac{M(d_i)}{(d_{i3}\rho_i)}=Ad_{k}^{-D_f} \qquad (۲)$$

که در آن dk میانگین قطر خاکدانهها برای کلاس k ام، A ثابت مدل، di میانگین قطر خاکدانهها (m)، M(di) جرم خاکدانه (kg) و i جرم مخصوص ظاهری است. برای محاسبه بُعد فرکتالی مدل جرم-اندازه Riue و Sposito از رابطه زیر استفاده گردید: (۳)

که در آن i وزن مخصوص ظاهری کلاس اندازهٔ iام (Mg/m۳)، ۰ وزن مخصوص ظاهری بزرگترین خاکدانه، di میانگین قطر خاکدانههای کلاس اندازه iام (mm)، ۰dمیانگین قطر بزرگترین خاکدانه و Dm بُعد فرکتالی جرم. بُعد فرکتالی مدل جرم- اندازه تیلر و ویت کرفت Tyler و Wheatcraft از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\frac{M(r<R)}{Mt}=\left(\frac{r}{RL}\right)^{3-D_m} \qquad (۴)$$

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 اندازهٔ منفذ غربال و r میانگین قطر خاکدانهها در هر کلاس میباشد.

برای محاسبه GMD و MWD از رابطه زیر استفاده شد:

$$MWD=\sum_{i=1}^{n}\bar{x}\,w_i \qquad (۵)$$

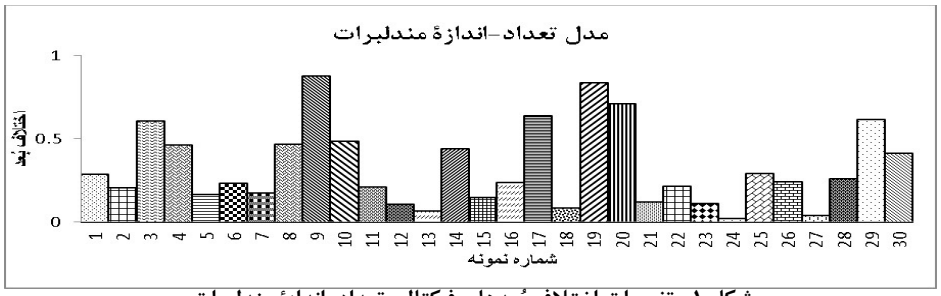
$$GMD=\exp\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}W_i\log\{\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n}W_i}\right)¿ \qquad (۶)$$

که در آن میانگین قطر خاکدانههایی که بر روی هر الک باقی میماند و Wi نسبت خاکدانهها در هر الک به وزن کل خاک به کار برده شده در ابتدای آزمایش میباشد.

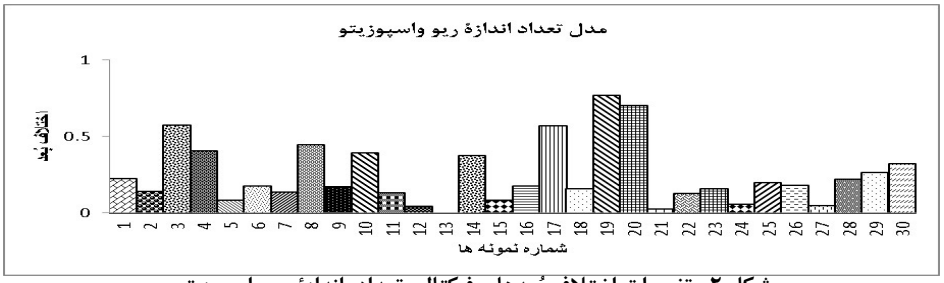
نتایج و بحث

جدول ۱ نشان می‌دهد که بیشترین انحراف معیار مربوط به میانگین وزنی قطر خاکدانهها و کمترین انحراف معیار مربوط به بُعد جرم- اندازهٔ ریو میباشد.

با توجه به مقایسه ترتیب بدست آمده برای هر نمونه با روشهای مورد بررسی، دو مدل تعداد-اندازه Mandelbort و تعداد-اندازه Riue و Sposito در تعیین ترتیب نمونهها تقریبا نتایج یکسانی را نشان می‌دهند. ولی به طور کلی ترتیب پایداری تعیین شده براساس هر پارامتر متفاوت بود. با انجام آنالیز حساسیت نیز ترتیب تعیین شده برای نمونهها برای سری الک دو براساس هر پارامتر متفاوت بدست آمد که نشاندهندهٔ این است که حساسترین عامل بین پارامترهای موجود در یک مدل فرکتالی، بُعد فرکتالی میباشد. در شکل ۱، ۲، ۳ و ۴ تغییرات مربوط به اختلاف بُعد نمونهها براساس چهار مدل فرکتالی نشان داده شده است.



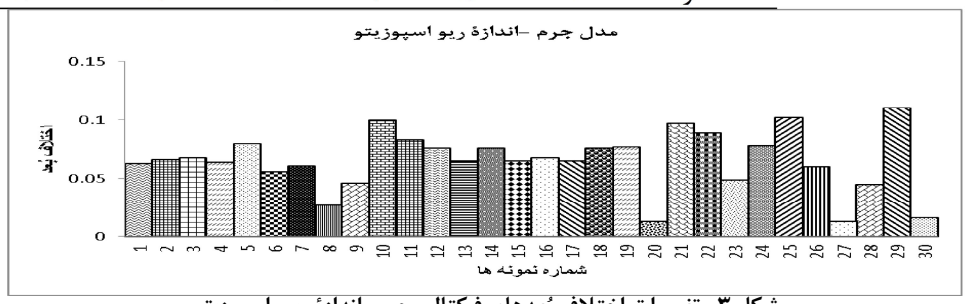
شکل ۱- تغییرات اختلاف بُعدهای فرکتالی تعداد-اندازهٔ مندلبرات



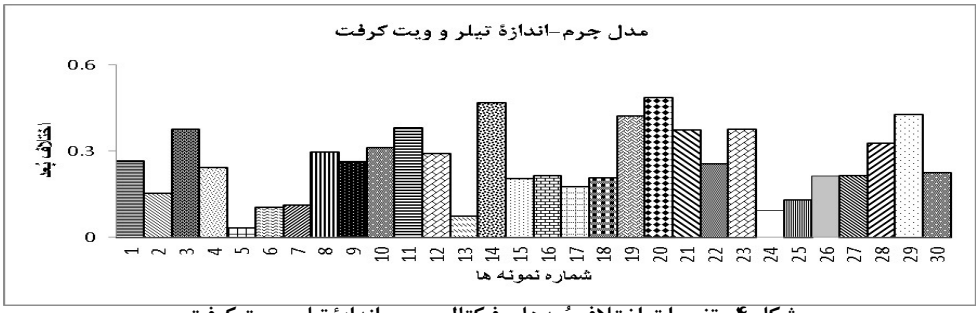
شکل ۲- تغییرات اختلاف بُعدهای فرکتالی تعداد-اندازهٔ ریو واسپوزیتو

جدول۱- ویژگیهای آماری متغیرهای مورد بررسی

متغیر	نوع آزمایش	تعداد نمونهها	کمتری ن	میانگین ن	بیشتری ن	انحراف معیار	خطای استاندارد
MWD	الک خشک	۳۰	۲/۲	۹/۴	۵/۷	۲/۱	۲/۰
	الک تر	۳۰	۲/۰	۷/۰	۹/۲	۵/۰	۰۸/۰
GMD	الک خشک	۳۰	۹/۰	۴/۱	۲/۳	۳/۰	۰۹/۰
	الک تر	۳۰	۴/۰	۶/۰	۹/۲	۴/۰	۰۷/۰
بُعد جرم-اندازۀ تیلروویت کرفت	الک خشک	۳۰	۵/۲	۶/۲	۸/۲	۱/۰	۰۱/۰
	الک تر	۳۰	۲/۲	۴/۲	۵/۲	۱/۰	۰۱/۰
بُعد تعداد- اندازۀ ریوواسپوریتو	الک خشک	۳۰	۸/۲	۰۴/۳	۶/۳	۲/۰	۰۳/۰
	الک تر	۳۰	۳/۲	۸/۲	۲/۳	۲/۰	۰۳/۰
بُعد جرم- اندازۀ ریوواسپوریتو	الک خشک	۳۰	۹/۲	۸/۲	۹/۲	۰۱/۰	۰۰۲/۰
	الک تر	۳۰	۹/۲	۹/۲	۹/۲	۰۲/۰	۰۰۴/۰
بعد تعداد-اندازۀ مندلبرات	الک خشک	۳۰	۹/۲	۱/۳	۷/۳	۲/۰	۰۳/۰
	الک تر	۳۰	۲/۲	۸/۲	۲/۳	۱/۰	۰۳/۰



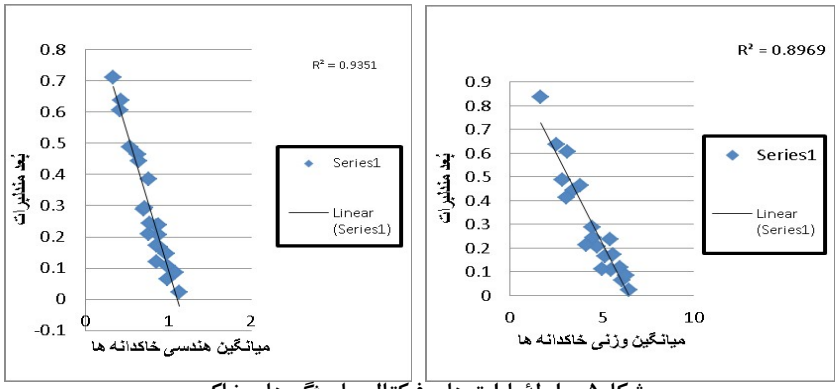
شکل ۳- تغییرات اختلاف بُعدهای فرکتالی جرم-اندازۀ ریو واسپوزیتو



شکل ۴- تغییرات اختلاف بُعدهای فرکتالی جرم-اندازۀ تیلر و ویت کرفت

باتوجه به شکل۱ برمبنای مدل تعداد-اندازۀ Mandelbort پایدارترین ساختمان مربوط به نمونۀ بیست و چهارم و ناپایدارترین نمونۀ نهم می‌باشد. براساس مدل تعداد-اندازۀ Riue و Sposito بیشترین اختلاف مربوط به نمونۀ نوزدهم و کمترین اختلاف مربوط به نمونۀ سیزدهم تعیین گردید (شکل ۲). همچنین با توجه به میزان اختلاف نشان داده شده در شکل ۳، پایدارترین، نمونۀ بیستم و ناپایدارترین نمونۀ بیست و نهم و بر مبنای مدل تعداد-اندازه Tyler و Wheatcraft نیز همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است

پایدارترین نمونه از نظر ساختمان، نمونهٔ پنجم و ناپایدارترین نمونهٔ بیستم می‌باشد. براساس شکل(۵) بین شاخصهای پایداری خاکدانهها و بُعد فرکتالی رابطه عکس وجود دارد که این رابطه تاکیدی بر کاهش بُعد فرکتالی با افزایش پایداری خاکدانهها میباشد.



شکل۵- رابطهٔ پارامترهای فرکتالی با ویژگی‌های خاکی

نتایج بدست آمده بیان میکند که با افزایش بُعد در حالت خشک و تر، پایداری خاکدانهها کاهش و ناپایداری آنها افزایش مییابد. که با پژوهش‌های Filgueira و همکاران (۲۰۰۶)، Dathe و همکاران (۲۰۰۱) و Gulser (۲۰۰۶) مطابقت دارد. همچنین رابطهٔ عکس شاخصهای پایداری خاکدانهها با بُعد فرکتالی تاکیدی بر کاهش بُعد فرکتالی با افزایش پایداری خاکدانهها میباشد. استفاده از مدلهای فرکتالی در ارزیابی ساختمان خاک، مناسبتر و دقیقتر از روشهای کلاسیک میباشد، زیرا در مدلهای فرکتالی پارامترهای مورد بررسی بیشتر است، بنابراین تأثیر ویژگیهای متفاوتتری برروی ساختمان خاک مورد ارزیابی قرار میگیرد و برخلاف روشهای کلاسیک که مقادیر دادهها را نسبت به یک شاخص مرکزی مانند میانگین میسنجند، مدلهای فرکتالی دادهها را در مقیاسهای مختلف مورد بررسی قرار میدهند. همچنین تفاوت در ترتیب تعیین شده برای پایداری خاکدانهها براساس هر مدل به علت تنوع بالای مدلهای فرکتالی و یکسان نبودن عوامل مورد بررسی در مدلها میباشد.

منابع

Dathe, A. Eins, S. Niemeyer, J. and Gerold, G. ۲۰۰۱. The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis. Geoderma, ۱۰۳: ۲۰۳- ۲۲۹.

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.

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.

Gulser, C., ۲۰۰۶. Effect of forage cropping treatments on soil structure relationships with fractal dimensions. Geoderma, ۱۳۱: ۳۳-۴۴.

Mandelbrot, B.B. ۱۹۸۲. The fractal geometry of nature. W.H. Freeman and Company, New York, ۴۶۸ p.

Mazurak, A.P. ۱۹۵۰. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. Soil Sci., ۶۹: ۱۳۵-۱۴۸.

Millan, H. and Orellana, R. ۲۰۰۱. Mass fractal dimensions of soil aggregates from different depths of a compacted vertisol. Geoderma, ۱۰۱: ۶۵-۷۶.

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.

vanBavel, C.H.M. ۱۹۴۹. Mean weight-diameter of soil aggregation as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J., ۱۴: ۲۰-۲۳.

Yoder, R.E. ۱۹۳۶. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. J. Am. Agron., ۲۸: ۳۳۷-۳۵۱.

Abstract

Soil structure is one of the most important physical properties which can be defined as the array of single soil particles together. A quantitve definition is needed to assess soil structure. The concept of fractal geometry has recently introduced as a reasonable quantitative approach for this purpose. This aimed to quantitatively assess the soil structure by using some classical and fractal models. To attain this purpose, ۳۰ soil samples were collected from topsoil of an agricultural area. The wet and dry sieving experiments were performed for the whole samples and their MWD and GMD were calculated. The fractal dimensions of soil samples were determined for four fractal models. The results showed that the use of fractal models is more appropriate than classical methods to describe soil structure. The reason can be attributed to the fact that fractal models incorporate more parameters and can assess the data in widely different scales. The results further indicated that by decreasing the dimensions, in both dry and wet conditions, the stability of aggregates decreased.