نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال چهارم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۴

ISSN 2251-7480

ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از مدل‌های فرکتالی و روش‌های کلاسیک[1]

شیوا محمدیان خراسانی[1]، مهدی همایی[2*] و ابراهیم پذیرا[3]

۱) دانشجوی دکتری؛ گروه خاکشناسی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۲*) استاد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: mhomaee@modares.ac.ir

۳) استاد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۳/۱۰

چکیده

ساختمان خاک، شاخصی مهم برای مدیریت بهینهٔ منابع خاک و آب می‌باشد. زیرا به گونه‌ای مستقیم، بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک همچون مقدار آب، هدایت آبی، گرما، تهویه، جرم ویژهٔ ظاهری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد. لیکن به دلیل پیچیدگی ساختمان خاک، توصیف کمّی آن دشوار می‌باشد. یکی از روش‌های نوین برای توضیح کمّی ساختمان خاک، استفاده از مفهوم هندسهٔ فرکتالی است. در این روش، با تعیین بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها می‌توان وضعیت پایداری آنها را در مقیاس‌های مختلف به صورت کمّی بررسی کرد. هدف از این پژوهش، کمّی‌سازی ساختمان خاک با استفاده از شاخص‌های کلاسیک و مقایسهٔ آن با بُعد فرکتالی به دست آمده برای خاکدانه‌های خاک در یک پهنهٔ گسترده بود. بدین‌منظور، تعداد ۴۱ نمونه خاک دست نخورده از یک منطقهٔ زراعی برداشت و فراوانی نسبی اندازهٔ خاکدانه‌ها، جرم ویژهٔ ظاهری و فراوانی نسبی اندازهٔ ذرات خاک اندازه‌گیری شد. سپس میانگین وزنی و میانگین هندسی اندازهٔ خاکدانه‌ها در دو حالت تر و خشک با استفاده از روش سری الک‌ها اندازه‌گیری شد. آنگاه برای همان نمونه‌ها، بُعدهای فرکتالی Mandelbrot، Tyler-Wheatcraft و Rieu-Sposito برای هر دو حالت خشک و تر تعیین شد. نتایج نشان داد که بُعدهای فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات در سری الک خشک و مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو در سری الک تر با دو شاخص تجربی قطر خاکدانه‌ها بیشترین همبستگی را دارند.

کلید واژه‌ها: پایداری خاکدانه‌ها؛ ساختمان خاک؛ مدل‌های فرکتالی؛ هندسهٔ فرکتالی

مقدمه

خاک از منابع طبیعی ارزشمند جهان است که مدیریت پایدار آن تنها با حفظ و بقای چرخهٔ زیستی محقق می‌شود (Lal and Pierce, 1991). ذرات خاک از نظر اندازه و شکل بسیار متفاوت می‌باشند، بنابراین هیچ‌گونه شکل هندسی خاصی را نمی‌توان برای ساختمان خاک در نظر گرفت. ساختمان خاک به دلیل رابطهٔ مستقیمی که با کارآیی و عملکرد خاک به ویژه در کشاورزی دارد، بسیار با اهمیت است. زیرا اثراتی فراوان بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، توانایی خاک در حمایت از رشد گیاه، چرخهٔ کربن، فراهمی ریزمغذی‌ها، دریافت، ذخیره و انتقال آب و همچنین مقاومت در برابر فرسایش دارد. به دلیل مدیریت‌های اکوسیستمی که در آن فعالیت‌های بشری موجب تغییرات کوتاه‌مدت و درازمدت بر خاک می‌شوند و ممکن است این تغییرات شدید اثرات

[1] برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مثبت و یا زیان‌آوری بر عملکرد خاک بگذارند، باید به ساختمان خاک توجه ویژه‌ای شود و آن را به طور کمّی مورد ارزیابی قرار داد.

توصیف کمّی ساختمان خاک برای خاکشناسان با چالش‌هایی همراه است، زیرا روشی کاربردی، علمی و جهانی برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. برخلاف بافت خاک، ساختمان خاک براثر فعالیت‌های بیولوژیک، آب و هوا و مدیریت‌های مختلفی که بر آن انجام می‌شود، تغییر می‌کند. بنابراین، هیچ‌گونه روش مشخصی برای اندازه‌گیری ساختمان خاک وجود ندارد، به گونه‌ای که می‌توان گفت تا کنون به طور کیفی توصیف شده است. از دیگر سو، ساختمان خاک به مفهومی کمّی نیاز دارد تا بتوان آن را به صورت یک ویژگی قابل سنجش بیان کرد. در حال حاضر، وضعیت خاکدانه‌ها با استفاده از سه شاخص اندازه، شکل و پایداری ارزیابی می‌شود (Harris *et al*., 1965).

پایداری خاکدانه‌ها یکی از شاخص‌های ارزیابی عملکرد خاک است که برای تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم اکنون برای سنجش پایداری ساختمان خاک از روش‌های کلاسیک (سری الک‌های خشک و تر) استفاده می‌گردد. این روش برای دانه‌های درشت‌تر خاک قابل قبول است لیکن برای دانه‌های بسیار ریز مناسب نیست، زیرا دانه‌های بسیار ریز خاک به یکدیگر می‌چسبند.

با ارائهٔ هندسهٔ فرکتالی و به کار بردن آن در دانش خاکشناسی، به ویژه در تخمین پایداری ساختمان خاک و مقایسهٔ آن با روش‌های کلاسیک می‌توان به درکی بهتر دربارهٔ ساختمان خاک به طور خاص و علوم خاک به طور عام دست یافت (Mandelbrot, 1977). هندسهٔ فرکتالی توسط Mandelbrot (۱۹۸۲) به منظور کمّی کردن و تشریح اشکال نامنظم طبیعت پایه‌ریزی شد. پس از Mandelbort پژوهشگران زیادی از جمله Perfect-Kay (۱۹۹۱)، Rieu-Sposito (۱۹۹۱ a,b) و Tyler-Wheatcraft (۱۹۹۲) از مفهوم هندسهٔ فرکتالی در شاخه‌های مختلف علوم خاک استفاده کردند. شکل‌های فرکتالی در مقیاس‌های مختلف خودهمانند، بُعد فرکتالی آن‌ها عددی غیرصحیح و در مقیاس میکروسکوپی بسیار پیچیده می‌باشند. شکل‌های فرکتالی برخلاف شکل‌های هندسهٔ اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها سرتا سر نامنظم و میزان بی نظمی آن‌ها در تمامی مقیاس‌ها یکسان است به گونه‌ای که جسم فرکتالی از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود.

طی فرآیند سلسله مراتبی تشکیل خاکدانه‌ها، خاکدانه‌های با اندازهٔ بزرگتر، خرد شده و به خاکدانه‌های کوچکتر تبدیل می‌شوند و دوباره خاکدانه‌های کوچک با قرار گرفتن در کنار یکدیگر باعث ایجاد خاکدانه‌های بزرگتر می‌شوند. بنابراین، شکل و اندازهٔ خاکدانه‌های کوچکتر تابعی از تعداد واحدهای بزرگتر بوده و این شیوهٔ خرد شدن، به وسیلهٔ بُعد کسری یا بُعد فرکتالی بیان می‌شود. به این ترتیب ساختمان خاک را می‌توان با توابع مبتنی بر هندسهٔ فرکتالی به صورت کمّی بیان کرد (Perfect and Blevins, 1997). در سال‌های اخیر، امکان توصیف توزیع اندازهٔ ذرات، اندازهٔ منافذ و اندازهٔ خاکدانه‌ها با استفاده از هندسهٔ فرکتالی، ابزاری مناسب در کمّی کردن ساختمان خاک قلمداد شده است (Filgueira *et al*., 2006; Miao *et al*., 2007; Montero, 2005; Rieu and Sposito, 1991 a,b;).

پژوهشگران به طور موفقیت آمیزی از فرکتال‌ها برای مطالعهٔ ساختمان خاک (Ding and Ding, 2007)، نحوهٔ الگوی توزیع مکانی متغیرهای خاکی (Eghbal *et al*., 1993)، مدل‌سازی توزیع اندازهٔ ذرات و تخلخل خاک (Perfect and Blevins, 1997)، مدل‌سازی نگهداشت آب توسط خاک (Perfect *et al*., 2004)، مدل‌سازی توزیع خاکدانه‌ها و تأثیر کاربری‌های مختلف بر آن بر اساس بُعد فرکتالی (Pirmoradian *et al*., 2005) و ارزیابی منحنی رطوبتی خاک با استفاده از مدل فرکتالی PSF (Zhou *et al*., 2004) استفاده کرده‌اند. برخی پژوهشگران نیز از هندسهٔ فرکتالی برای توصیف انتقال آب و املاح در محیط‌های

متخلخل و همچنین برای شبیه‌سازی ویژگی‌های محیط متخلخل استفاده کرده‌اند (Leao and Perfect, 2010).

بُعد فرکتالی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در مطالعات مربوط با خصوصیات فیزیکی خاک، فرسایش، فرآیندهای هیدرولوژیک و توضیح کمّی ساختمان خاک به کار رود که در آن خاکدانه‌ها جسمی شبه فرکتالی در نظر گرفته می‌شوند (Zhao *et al.*, 2006). بُعد فرکتالی خاک می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب برای درجهٔ به هم‌خوردگی خاک استفاده شود زیرا نتایج خرد شدن مکانیکی منافذ را به خوبی نشان می‌دهد (Duhour *et al.*, 2009). امکان بروز خاصیت فرکتالی واضح برای خاکدانه‌ها فقط هنگامی میسر است که گستردگی در آنها دو برابر یا بیشتر نباشد (Halley *et al.*, 2004). سه ویژگی ساختمان خاک که امکان مدل کردن آن را با هندسهٔ فرکتالی فراهم می‌آورند شامل تشکیل از راه تکرار[۱]، خود تشابهی[۲] و بُعد غیرصحیح می‌باشند. بنابراین، تخمین پارامترهای مدل‌های تجربی (میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها) و بُعد فرکتالی توزیع اندازهٔ خاکدانه‌های حاصل از مدل‌های فیزیکی (فرکتالی) و شناسایی رابطهٔ بین این دو مدل تجربی و فیزیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

بدلیل نو بودن موضوع استفاده از مفهوم هندسهٔ فرکتالی در علوم خاک، پژوهش‌هایی نه چندان گسترده در این زمینه توسط برخی پژوهشگران صورت گرفته است. در یکی از این پژوهش‌ها، Dathe و همکاران (۲۰۰۱) طی مطالعه‌ای نشان دادند که بُعد فرکتالی نه تنها برای بیان توصیف کمّی ساختمان خاک کاربرد دارد، بلکه می‌تواند درکی درست از فرآیندهایی که در تشکیل ساختمان خاک دخالت دارند را نیز ارائه دهد. Ding و Ding (۲۰۰۷) گزارش کردند که مقادیر بیشتر بُعد فرکتالی نشان‌دهندهٔ تکه تکه شدن بیشتر می‌باشد. بدین معنی که توزیع اندازهٔ خاک غالباً با تعداد بیشتری از خاکدانه‌های ریز بوده است. مقادیر کم بُعد فرکتالی، بیان‌کنندهٔ این است که توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها، بیشتر از خاکدانه‌های بزرگتر تشکیل شده است.

Gülser (۲۰۰٦) پی برد که بین بُعد فرکتالی و پارامترهای ساختاری خاک رابطه‌ای وجود دارد. او در آزمایشی به این نتیجه رسید که بُعد فرکتالی با افزایش مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد و نتیجه‌گیری کرد که کاهش بُعد فرکتالی ممکن است نشان‌دهندهٔ بهبود ویژگی‌های ساختاری خاک در خاک‌های رسی باشد.

Perfect و Kay (۱۹۹۱) برای ثابت ماندن مقدار تخمینی بُعد فرکتالی، شکل خاکدانه‌ها را کروی فرض کرده و نشان دادند که مقدار عددی بُعد فرکتالی نسبت به اثرات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی بر ویژگی‌های خاک حساس است. بنابراین، بُعد فرکتالی می‌تواند تغییرپذیری مکانی و زمانی ساختمان خاک را به خوبی توضیح داده و می‌توان آن را به صورت پارامتری کمّی و قابل استفاده در مدیریت پایدار خاک به کار گرفت. هر چه مقدار بُعد فرکتالی بزرگتر باشد، نشان‌دهندهٔ پراکندگی بیشتر ذرات خاک است و درنتیجه، مقدار ذرات با اندازهٔ کوچکتر بیشتر می‌باشند.

Pirmoradian و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر پایداری خاکدانه‌ها، بُعد فرکتالی غیر خطی را حساس‌تر از میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها گزارش نمودند و پیشنهاد کردند که از بُعد فرکتالی به دلیل پایهٔ قوی‌تر در بررسی پایداری خاکدانه‌ها استفاده گردد. Rieu-Sposito (۱۹۹۱) و Tyler-Wheatcraft (۱۹۹۲) نشان دادند که مقدار بُعد فرکتالی باید کمتر از ۳ باشد، لیکن این شرط مرزی به بافت خاک بستگی دارد. هرچه از سطح خاک به عمق برویم، بافت ممکن است ریزتر و درصد رس و سیلت بیشتر باشد و مقدار بُعد افزایش یابد. Su و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کرده‌اند که بُعد فرکتالی به فرآیندهای خاک حساس بوده و با افزایش خاکدانه‌ها، بُعد فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) کاهش می‌یابد و بین بُعد فرکتالی و خواص خاک رابطه‌ای خطی وجود دارد.

[۱] Iterative Formation
[۲] Self Similarity

خاک به دلیل اینکه جسمی ناهمگن است، در پهنه‌های گسترده، از تغییرپذیری بسیار زیادی برخوردار است و بنابراین توضیح کمّی شرایط واقعی آن در مقیاس‌های مختلف نیازمند اندازه‌گیری‌های فراوانی می‌باشد. این اندازه‌گیری‌ها عموماً بسیار زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند. بنابراین، با روش‌های به کار رفته در این پژوهش شاید بتوان با داده‌هایی کمتر، پارامترهای مورد نظر را با دقتی قابل قبول به دست آورد. بدین ترتیب، هدف از این پژوهش، تعیین پارامترهای فرکتالی پایدارای خاکدانه‌ها و مقایسهٔ آن با شاخص‌های کلاسیک سنجش خاکدانه‌ها و تعیین رابطهٔ این شاخص‌ها با بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از ٤١ نقطه از خاک‌های سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) منطقهٔ ورامین برداشت شد. نمونه‌ها در درون کیسه‌هایی پلاستیکی نگهداری و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک و سپس تجزیه‌های فیزیکی مورد نظر شامل فراوانی نسبی اندازهٔ ذرات (به روش هیدرومتری) و فراوانی نسبی اندازهٔ قطر خاکدانه‌ها (به روش الک‌های تر و خشک) بر روی آنها اعمال گردید. جرم ویژهٔ ظاهری خاک به روش حجمی در صحرا بدست آمد. سپس برای محاسبهٔ شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از دو مدل تجربی (کلاسیک) و چهار مدل فرکتالی توزیع تجمعی برای تعیین توزیع جرم - اندازه و تعداد - اندازهٔ خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر استفاده شد. مدل‌های تجربی (کلاسیک) شامل تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[1] و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها[2] بود:

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

که در آن MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)، $\overline{X}_i$ میانگین حسابی قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های خشک باقی‌مانده بر روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌ها و n تعداد الک‌های به کار رفته می‌باشد.

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

که در آن GMD میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (mm)، W_i وزن خاکدانه‌ها در هریک از کلاس‌ها با میانگین قطر $\overline{x}_i$ و $\sum w_i$ وزن کل خاک می‌باشد.

مدل‌های فرکتالی شامل دو مدل تعداد – اندازه و دو مدل جرم – اندازهٔ خاکدانه‌ها بود. برای محاسبهٔ بُعد فرکتالی مدل تعداد - اندازهٔ Mandelbrot (۱۹۸۲) از رابطهٔ زیر استفاده گردید:

$$N(r > R) = KR^{-D} \qquad (۳)$$

که در آن r اندازهٔ قطر نرمال شدهٔ خاکدانه‌ها در هر بخش اندازه‌ای، $N(r>R)$ تعداد تجمعی خاکدانه‌های با اندازهٔ r که از مقیاس اندازه‌گیری R بزرگتر است و به وسیلهٔ قطر الک تعیین می‌شود، k مقدار ثابت و D بُعد فرکتالی می‌باشد.

بُعد فرکتالی مدل تعداد - اندازهٔ Rieu-Sposito (D_f) (۱۹۹۱b) از رابطهٔ زیر بدست آمد:

$$N_k = Ad_k^{-Df} \qquad (٤)$$

که در آن D شیب نمودار N_k در مقابل d_k و N_k تعداد تجمعی خاکدانه‌ها می‌باشد.

$$N_k = \sum_{i=0}^{k} N(di) \qquad (٥)$$

$$N(di) = \frac{M(di)}{di^3 \rho i} \qquad (٦)$$

که در آن $M(d_i)$ جرم خاکدانه‌های روی الک کلاس iام (kg)، ρ_i جرم ویژهٔ ظاهری کلاس اندازهٔ iام و d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازهٔ iام می‌باشد.

بُعد فرکتالی مدل جرم - اندازهٔ Rieu-Sposito (D_m) (۱۹۹۱a) از رابطهٔ زیر محاسبه گردید:

$$log(\rho_i/\rho_o)=(D_m-3)log(d_i/d_o) \qquad (۷)$$

[1] Mean Weight Diameter
[2] Geometric Mean Diameter

که در آن p_i جرم ویژهٔ ظاهری کلاس اندازهٔ iام (Mg/m^3)، ρ_0 جرم ویژهٔ ظاهری بزرگترین خاکدانه، d_i میانگین قطر خاکدانه‌های کلاس اندازهٔ iام (mm)، d_0 میانگین قطر بزرگترین خاکدانه و D_m بُعد فرکتالی (جرم – اندازه) می‌باشد.

بُعد فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ Tyler-Wheatcraft (۱۹۹۲) نیز از رابطهٔ زیر محاسبه گردید:

$$M(r<R)/MT=(R/RL)^{3-D} \qquad (۸)$$

که در آن $M(r<R)$ جرم تجمعی خاکدانه‌های با اندازهٔ r (کوچکتر از مقیاس اندازه‌گیری R و با قطر سوراخ الک تعیین می‌شود)، M_T جرم کل، R_L پارامتری که اندازهٔ بزرگترین خاکدانه را تخمین می‌زند و D (بُعد فرکتالی) می‌باشد.

نتایج و بحث

مقادیر کمینه و بیشینهٔ مربوط به مدل‌های فرکتالی و تجربی برای دو حالت الک‌های تر و خشک در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول نشان داده شده، شاخص MWD دارای کمینهٔ ۲/۸۰، بیشینهٔ ۸/۹۰ و میانگین ۵ در الک خشک می‌باشد. همچنین شاخص GMD برای این الک دارای کمینهٔ ۱/۰۳، بیشینهٔ ۱/۹۱ و میانگین ۱/۳۵ می‌باشد. در سری الک‌های تر، شاخص MWD دارای کمینهٔ ۰/۳۰، بیشینهٔ ۱/۸۵ و میانگین ۱/۰۱ می‌باشد. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین شاخص GMD برای الک تر به ترتیب ۰/٤۳، ۱/۰۱ و ۰/٦۷ 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 MWD و GMD در سری الک تر نشان‌دهندهٔ بی‌ثباتی ذرات خاک در اثر غوطه‌وری در آب می‌باشد. مقدار عددی بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها با خرد و ریزتر شدن خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد و مقدار بُعد فرکتالی در سری الک تر نسبت به الک خشک کم خواهد بود. بنابراین، تغییرات شاخص‌های فیزیکی عکس تغییرات شاخص‌های تجربی می‌باشد. بدین گونه که با افزایش میانگین‌های وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها، پایداری ساختمان خاک افزایش یافته، حال آنکه با افزایش بُعد فرکتالی، پایداری ساختمان خاک کاهش می‌یابد.

ارقام مندرج در جدول ۱ برای سری الک‌های خشک همچنین نشان می‌دهند که بُعدهای فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات با کمینهٔ ۲/۷٦، بیشینهٔ ۳/٦۳ و میانگین ۳/۱۷ و در سری الک‌های تر بُعدهای فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت با کمینهٔ ۲/۲٤، بیشینهٔ ۲/۷٦ و میانگین ۲/۵۱ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین می‌باشند. در سری الک‌های خشک بُعدهای فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_f) با میانگین ۳/۰٦ و مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت با میانگین ۲/٦۵ نیز به ترتیب ما بین دو گروه بیشترین و کمترین قرار دارند. به طور متوسط بُعدهای فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) با میانگین ۲/۸۹ در سری الک‌های خشک و بُعدهای فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) با میانگین ۲/۹۵، تعداد – اندازهٔ مندل‌برات با میانگین ۲/۹۵ و ریو – اسپوزیتو(D_f) با میانگین ۲/۹۰ در سری الک تر در یک محدوده قرار دارند. بُعدهای فرکتالی مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_m) با میانگین ۲/۸۹ در سری الک خشک و بُعدهای فرکتالی مدل‌های جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) با میانگین ۲/۹۵، تعداد – اندازهٔ مندل‌برات با میانگین ۲/۹۵ و ریو – اسپوزیتو (D_f) با میانگین ۲/۹۰ در سری الک تر در سطح ۱٪ معنی‌داری، اختلاف زیادی ندارند.

براساس تخمین پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک با مدل‌های فرکتالی، بُعد فرکتالی نمایندهٔ پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد که هرچه مقدار بُعد فرکتالی کمتر باشد، پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. شاخص‌های تجربی که به طور مستقیم از روی داده‌های آزمایشگاهی محاسبه می‌شوند، برای توصیف این سری داده‌ها مناسب نمی‌باشند زیرا ممکن است چندین سری از داده‌ها دارای میانگین وزنی و یا هندسی یکسانی باشند. استفاده از شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها هنگامی معتبر

خواهد بود که نوع توزیع آماری اندازهٔ خاکدانه‌ها در آن‌ها یکسان باشد، لیکن در اینجا به دلیل متفاوت بودن مبنای مقایسه، این کار صحیح نیست. بنابراین در مدل‌های فرکتالی به دلیل استفاده از پارامترهای فیزیکی (نه تجربی) نوع توزیع آماری اندازهٔ خاکدانه‌ها یکسان می‌باشد. بنابراین هندسهٔ فرکتالی و مدل‌های فرکتالی ابزاری مناسب‌تر نسبت به مدل‌های تجربی در کمّی‌سازی ویژگی‌های ساختمان خاک می‌باشند.

جدول ۱. مقادیر بیشینه و کمینهٔ مدل‌های تجربی (GMD , MWD) و مدل‌های فرکتالی

پارامترها	الک خشک			الک تر		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
MWD	۲/۸۰	۸/۹۰	۵	۰/۳۰	۱/۸۵	۱/۰۱
GMD	۱/۰۳	۱/۹۱	۱/۳۵	۰/٤۳	۱/۰۱	۰/٦۷
D مدل مندل‌برات	۲/۷٦	۳/٦۳	۳/۱۷	۲/۵٤	۳/۵۵	۲/۹۵
D مدل تیلر – ویت‌کرفت	۲/٤٤	۲/۷۸	۲/٦۵	۲/۲٤	۲/۷٦	۲/۵۱
D مدل ریو – اسپوزیتو (D_m)	۲/۸٦	۲/۹۱	۲/۸۹	۲/۹۱	۲/۹۹	۲/۹۵
D مدل ریو – اسپوزیتو(D_f)	۲/٦٦	۳/۵٤	۳/۰٦	۲/۵۱	۳/۵۰	۲/۹۰

خطای استاندارد میانگین و انحراف معیار ضریب تبیین مدل‌های فرکتالی

مقادیر بیشینه، کمینه، خطای استاندارد و انحراف معیار ضریب تبیین مدل‌های فرکتالی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ در سری الک خشک مدل‌های جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) با میانگین ۰/۹۳ و تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_f) با میانگین ۰/۹۹ و در سری الک تر مدل‌های جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) با میانگین ۰/٦۲ و تعداد – اندازهٔ مندل‌برات با میانگین ۰/۹۹ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین خطا و انحراف معیار می‌باشند. مدل‌های تعداد – اندازهٔ مندل‌برات با میانگین ۰/۹۹ و جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت با میانگین ۰/۹٦ در سری الک خشک و مدل‌های تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_f) با میانگین ۰/۹۹ و جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت با میانگین ۰/۸۹ در سری الک تر، کمترین خطا و انحراف معیار را دارا بوده و در هر دو سری الک‌ها مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_m) دارای خطا و انحراف معیار بیشتری می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده، بُعد فرکتالی محاسبه شده به وسیلهٔ برخی مدل‌ها برای بعضی نمونه‌ها بیشتر از ۳ بدست آمده که می‌تواند به دو معنا باشد. نخست اینکه مدل مورد نظر برای توزیع خاصی از خاکدانه‌ها مناسب نمی‌باشد دیگر آنکه حساسیت مدل نسبت به آن توزیع خاص بیشتر بوده و بنابراین نمونه‌های موردنظر باید با مدل‌های دیگری (مدل‌های چند بُعدی) مورد ارزیابی قرار گیرند. بنابراین چون خاک یک جسم شبه فرکتالی است استفاده از روش‌های چند فرکتالی در چنین شرایطی سودمند خواهد بود.

جدول۲. مقادیر بیشینه، کمینه، خطای استاندارد و انحراف معیار ضریب تبیین مدل‌های فرکتالی

مدل	الک خشک				الک تر			
	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار
مندل‌برات	۰/۹٦	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
تیلر – ویت‌کرفت	۰/۹۰	۰/۹۹	۰/۹٦	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰٤٤

ریو – اسپوزیتو(D_m)	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۰۰۸	۰/۰۵۲	۰/۱٤	۰/۹۳	۰/٦۲	۰/۰۳۵	۰/۲۲۷
ریو – اسپوزیتو(D_f)	۰/۹٦	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵

همبستگی شاخص‌های تجربی پایداری خاکدانه‌ها با بُعدهای فرکتالی مدل‌ها در جدول‌های ۳ و ٤ نشان داده شده است. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سری الک‌های خشک با بُعدهای فرکتالی مدل‌های Mandelbrot، Tyler-Wheatcraft و Rieu-Sposito (D_f) در سطح معنی‌داری ۱٪ و در سری الک‌های تر با بُعدهای فرکتالی مدل‌های Mandelbrot، Rieu-Sposito (D_f)، و شاخص GMD تنها با بُعدهای فرکتالی مدل Tyler-Wheatcraft در سطح معنی‌داری ۱٪ دارای همبستگی منفی می‌باشند و با بُعدهای فرکتالی مدل Rieu-Sposito (D_m) در سری الک‌های خشک و تر هیچ‌گونه رابطهٔ معنی‌داری ندارند. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط Perfect و Kay (۱۹۹۱) همخوانی دارند.

جدول ۳. همبستگی شاخص‌های MWD و GMD با بُعدهای فرکتالی مدل‌ها در سری الک‌های خشک

مدل‌های فرکتالی	الک خشک		الک تر	
الک خشک	MWD	GMD	MWD	GMD
D مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات	−۰/۹٤**	−۰/۹۱**	−۰/۱۷	−۰/۱۷
D مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت	−۰/٦٦**	−۰/۹۰**	−۰/۱۰	−۰/۰۸
D مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_m)	−۰/۱۰	۰/۰۵	−۰/۲۵	−۰/۲۳
D مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_f)	−۰/۹٤**	−۰/۹۰**	−۰/۱۸	−۰/۱۹

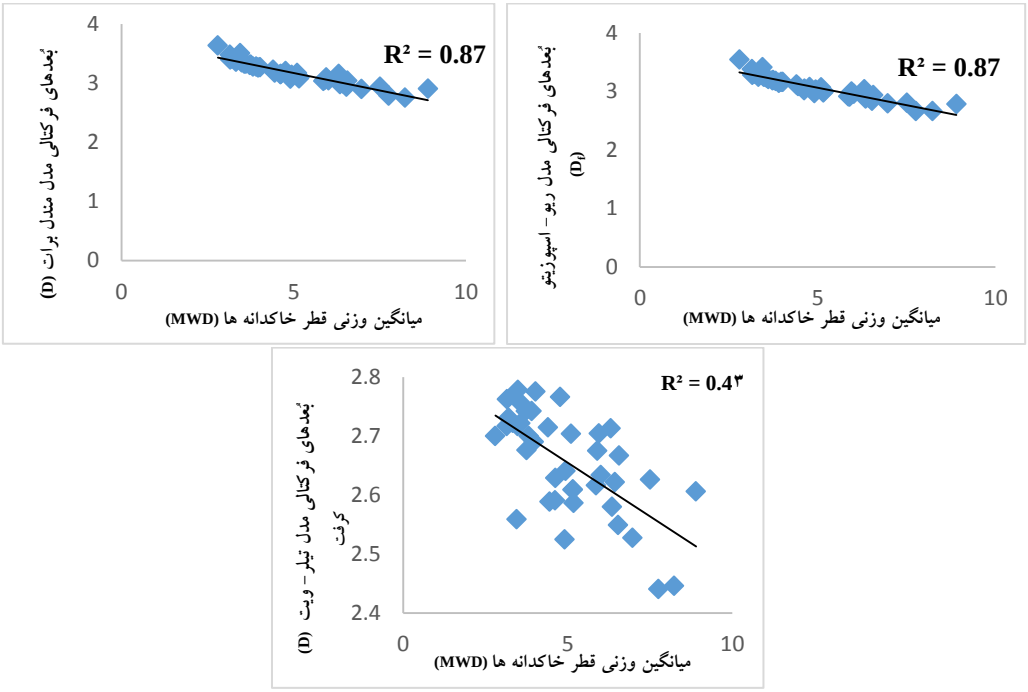
** نمایانگر این است که در سطح ۱٪ همبستگی معنی‌داری وجود دارد و اعدادی که فاقد علامت می‌باشند عدم وجود همبستگی معنی‌دار را نشان می‌دهند، رنگ خاکستری نیز نشانه‌ی این است که در سطح ۱٪ بیشترین همبستگی بین بُعدهای فرکتالی مدل‌ها و شاخص‌های تجربی وجود دارد.

جدول ٤. همبستگی شاخص‌های MWD و GMD با بُعدهای فرکتالی مدل‌ها در سری الک‌های تر

مدل‌های فرکتالی	الک خشک		الک تر	
الک تر	MWD	GMD	MWD	GMD
D مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات	−۰/۱۹	−۰/۱۲	−۰/۸۰**	−۰/۹٤**
D مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت	−۰/۲۱	−۰/۱۱	−۰/۲۵	−۰/٦۱**
D مدل جرم – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_m)	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۱۱
D مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_f)	−۰/۱۷	−۰/۰۹	−۰/۸۰**	−۰/۹٤**

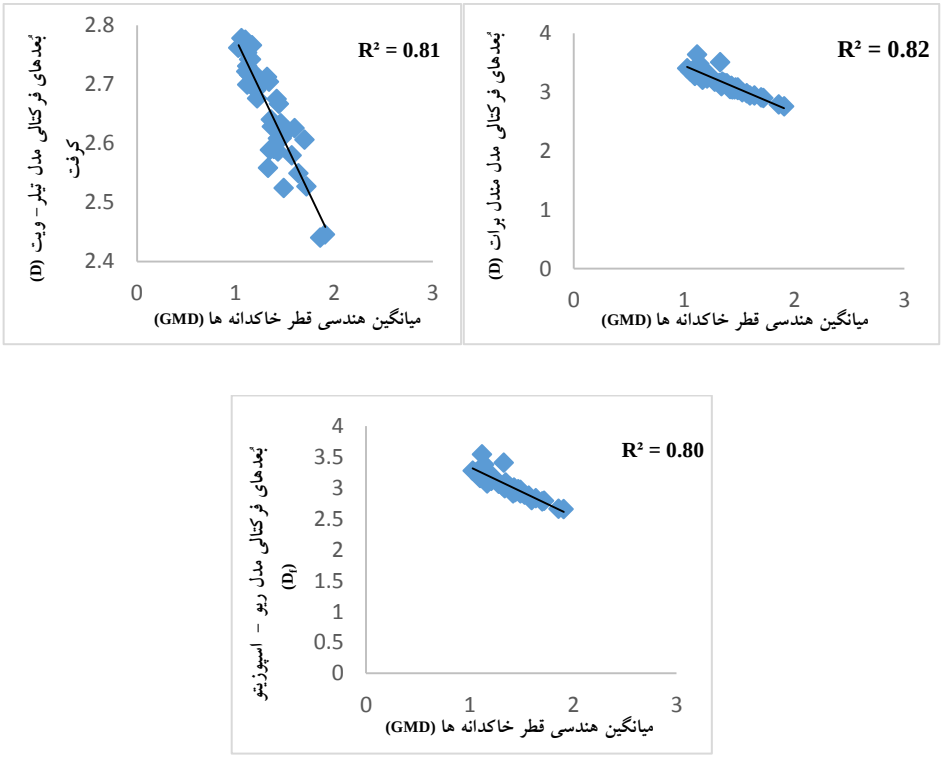
** نمایانگر این است که در سطح ۱٪ همبستگی معنی‌داری وجود دارد و اعدادی که فاقد علامت می‌باشند عدم وجود همبستگی معنی‌دار را نشان می‌دهند، رنگ خاکستری نیز نشانه‌ی این است که در سطح ۱٪ بیشترین همبستگی بین بُعدهای فرکتالی مدل‌ها و شاخص‌های تجربی وجود دارد.

شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ٤ روابط بین دو مدل تجربی (میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها) با بُعدهای فرکتالی مدل‌های فیزیکی (مدل‌های فرکتالی) و ضرایب تبیین دو مدل برازش داده شده را نشان می‌دهند. در شکل ۱ رابطهٔ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با بُعد فرکتالی مدل‌های مورد بررسی، در سری الک‌های خشک نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این شاخص با بُعد هر سه مدل رابطهٔ خطی و کاهشی دارد. به عبارتی هرچه میانگین قطر خاکدانه‌ها بیشتر باشد، به علت افزایش مقاومت در برابر فروپاشی، پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش می‌یابد.



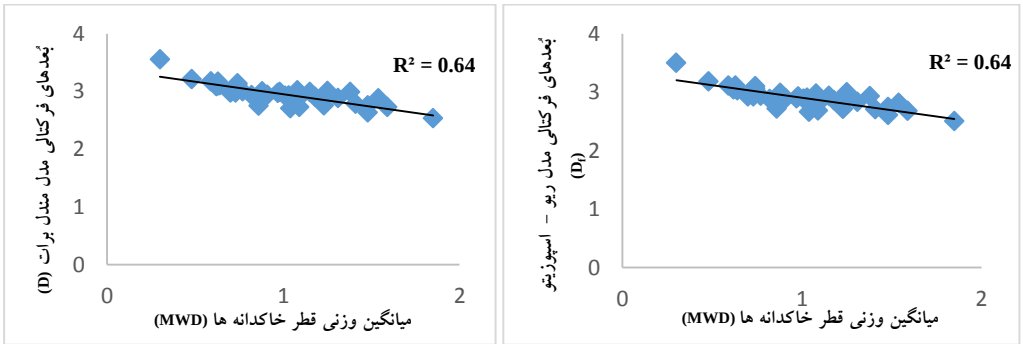
شکل ۱. رابطهٔ بُعد فرکتالی مدل‌ها در حالت الک خشک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

در مواردی که توزیع قطر خاکدانه‌ها نیمه لگاریتمی باشد، از میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به جای میانگین وزنی استفاده می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه به علت قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه خشک، در معرض فرسایش زیاد است. بنابراین دستیابی به بهترین مدل و به دنبال آن یافتن راهی برای افزایش پایداری خاکدانه‌ها امری ضروری است. بدین منظور رابطهٔ میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و بُعد مدل‌ها نیز در سری الک‌های خشک بررسی و در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، این شاخص نیز با بُعدهای فرکتالی سه مدل رابطهٔ عکس داشته که این رابطه، تأکیدی بر کاهش پایداری خاکدانه‌ها با افزایش بُعد فرکتالی می‌باشد.



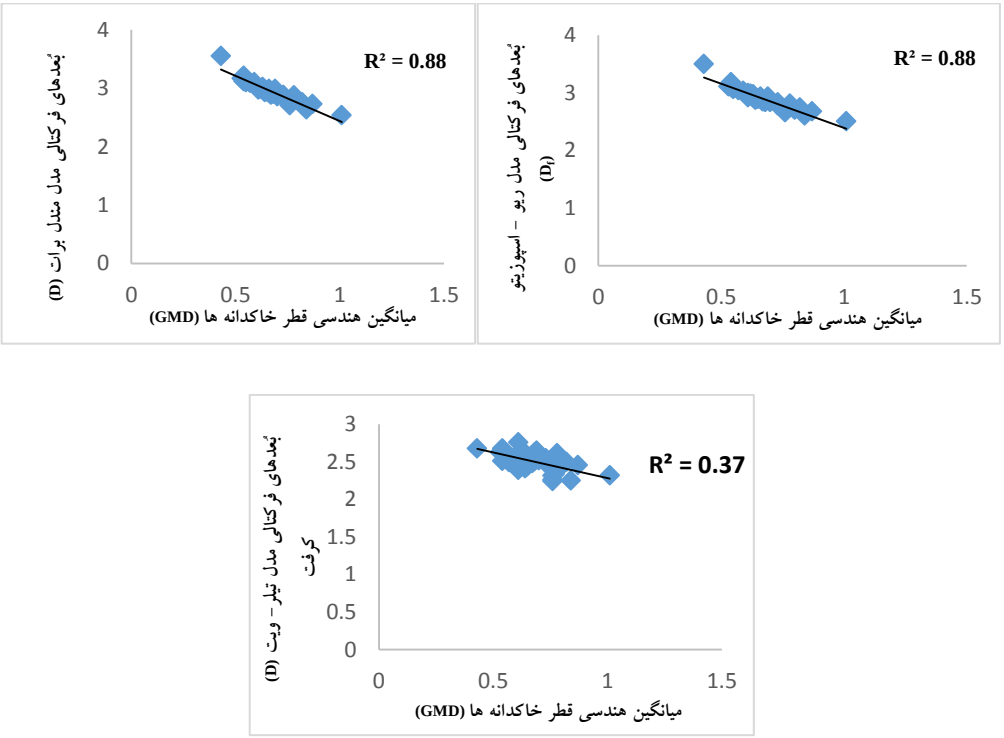
شکل ۲. رابطهٔ بُعد فرکتالی مدل‌ها در حالت الک خشک و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در حالت الک تر نشان داد که با افزایش ناگهانی رطوبت اولیه، مقاومت خاکدانه‌ها در برابر تخریب و فروپاشی کاهش می‌یابد. به عبارتی مرطوب کردن تدریجی خاکدانه‌ها امکان خروج هوای درون خاکدانه‌ها را فراهم کرده و در نتیجه پراکنش به حداقل رسیده و پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. شکل ۳ رابطهٔ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با بُعد مدل‌های مورد بررسی را در سری الک‌های تر نشان می‌دهد. در این شکل نیز همانطور که مشاهده می‌شود بُعدهای بدست آمده با میانگین وزنی قطر رابطهٔ خطی و کاهشی داشته، بنابراین رطوبت باعث افزایش شیب خط این رابطهٔ کاهشی شده است.



شکل۳. رابطهٔ بُعد فرکتالی مدل‌ها در حالت الک تر و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

شکل ٤ رابطهٔ میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها را با بُعد مدل‌ها در سری الک‌های تر نشان می‌دهد. در این شکل نیز همانطور که مشاهده می‌شود بُعدهای بدست آمده با میانگین هندسی قطر رابطهٔ عکس داشته، بنابراین رطوبت باعث افزایش شیب خط این رابطهٔ کاهشی شده است. با افزایش بُعد فرکتالی مقادیر شاخص‌های تجربی کاهش می‌یابد و به عبارتی دیگر این دو شاخص تجربی و فیزیکی دارای رابطهٔ عکس با یکدیگر می‌باشند.



شکل ٤. رابطهٔ بُعد فرکتالی مدل‌ها در حالت الک تر و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

برآورد بُعدهای فرکتالی با در اختیار داشتن دو شاخص تجربی (میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها) در جدول‌های ٥ و ٦ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ٥ مشاهده می‌شود، شیب خط بدست آمده در حالت خشک و تر، برای مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات و ریو – اسپوزیتو به طور تقریبی یکسان است. بنابراین تأثیر کاهش میانگین وزنی بر افزایش بُعد این دو مدل به یک میزان می‌باشد. با توجه به ضریب تبیین بدست آمده، بیشترین همبستگی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با بُعد فرکتالی این دو مدل بوده است. بنابراین می‌توان با داشتن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بُعد فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو و مندل‌برات را در حالت خشک و تر بدست آورد.

جدول ۵. برآورد بُعد فرکتالی با داشتن شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مدل	بُعد فرکتالی الک خشک	R^2	بُعد فرکتالی الک تر	R^2
مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات	$-۰/۱۲MWD +۳/۷٦$	۰/۸۷	$-۰/٤۳ MWD +۳/۳۸$	۰/٦٤
مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو(D_f)	$-۰/۱۲MWD +۳/٦٦$	۰/۸۷	$-۰/٤۳ MWD +۳/۳۳$	۰/٦٤
مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت	$-۰/۰٤MWD +۲/۸٤$	۰/٤۳		

با توجه به جدول ٦، شیب خط بدست آمده در حالت خشک و تر، برای مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات و ریو – اسپوزیتو به طور تقریبی یکسان است. بنابراین میزان تأثیر کاهش میانگین هندسی بر افزایش بُعد و کاهش پایداری خاکدانه‌ها در این دو مدل یکسان می‌باشد. با توجه به ضرایب تبیین بدست آمده، بیشترین همبستگی بین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با مدل‌های تعداد – اندازهٔ مندل‌برات و ریو – اسپوزیتو و نیز مدل‌های جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت بوده است. بنابراین می‌توان با در دست داشتن میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها بُعد فرکتالی مدل‌های تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو و مندل‌برات و جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت را نیز در حالت خشک و تر بدست آورد.

جدول ٦. برآورد بُعد فرکتالی با داشتن شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

مدل	بُعد فرکتالی الک خشک	R^2	بُعد فرکتالی الک تر	R^2
مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات	$-۰/۸۰GMD +٤/۲٥$	۰/۸۲	$-۱/٥٥ GMD +۳/۹۸$	۰/۸۸
مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو (D_f)	$-۰/۸۰GMD +٤/۱٤$	۰/۸۰	$-۱/٥۳ GMD +۳/۹۳$	۰/۸۸
مدل جرم – اندازهٔ تیلر – ویت‌کرفت	$-۰/۳٥GMD +۳/۱۳$	۰/۸۱	$-۰/٦۸ GMD +۲/۹۷$	۰/۳۷

با توجه به محاسبهٔ همبستگی بین دو شاخص تجربی و فیزیکی، در الک خشک ابعاد فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ مندل‌برات و در الک تر ابعاد فرکتالی مدل تعداد – اندازهٔ ریو – اسپوزیتو با دو شاخص تجربی قطر خاکدانه‌ها بیشترین همبستگی را دارند. بنابراین با در نظر گرفتن این همبستگی، با داشتن شاخص‌های تجربی می‌توان ابعاد فرکتالی را با دقتی قابل قبول برآورد کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین شاخص‌های تجربی و مدل‌های فرکتالی رابطه‌ای قابل قبول وجود دارد بنابراین می‌توان با در اختیار داشتن شاخص‌های تجربی، بی‌آنکه نیازی به تعیین دیگر پارامترهای مدل‌های فرکتالی باشد، ابعاد فرکتالی خاکدانه‌ها را بدست آورد. مدل‌های تجربی گرچه به عنوان ابزاری ساده در بیان پایداری خاکدانه‌ها به شمار می‌آیند، لیکن به دلیل ماهیت تجربی که دارند، دقت نتایج حاصل از آنها منوط به تشخیص نوع توزیع آماری خاکدانه‌ها می‌باشد. بنابراین بهتر است مدل‌های فیزیکی فرکتالی برای بیان کمّی ساختمان خاک مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش نیز بررسی‌های آماری نشان داد که مدل‌های تعداد – اندازهٔ مندل‌برات و ریو – اسپوزیتو، برای توصیف و کمّی کردن ساختمان خاک مناسب‌ترین مدل‌ها از میان مدل‌های مورد ارزیابی می‌باشند. نتایج بدست آمده در این پژوهش، همچنین نشان داد که برخی خاکدانه‌ها دارای بُعدی بزرگتر از ۳ می‌باشند. این موضوع بیانگر آن است که چنین خاکدانه‌هایی باید با مدل‌های چند فرکتالی مورد ارزیابی قرار

گیرند. بنابراین تحقیقات بیشتری برای ارزیابی و کمّی‌سازی چنین خاکدانه‌هایی باید در آینده توسط پژوهشگران مدنظر قرار گیرد.

فهرست منابع

Dathe, A., Eins, S., Niemeyer, J., Gerold, G. 2001. The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis. Geoderma. 103: 203-229.

Ding, Q., Ding, W. 2007. Comparing stress wavelets with fragment fractals for soil structure quantification. Soil Till. Res., 93: 316–323.

Duhour, A., Costa, C., Momoa, F., Falco, L., 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.

Eghbal, B., Mielke, L.N., Calvo, G.A., Wilhelm, W.W. 1993. Fractal description of soil fragmentation for various tillage methods. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 1337-1341.

Filgueira, R.R., Fournier, L.L., Cerisola, C.I., Gelati, p., Garcia, M.G. 2006. Particle–size distribution in soils: a critical study of the fractal model validation. Geoderma. J. 134: 327–334.

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

Halley, J.M., Hartley, S., Kallimanis, A.S., Kunin, W.E., Lennon, J.J., Sgardelis, S.P. 2004. Uses and abuses of fractal methodology in ecology. Ecology Letters, 7: 254–271.

Harris, R. F., Chesers, G., Allen, O. N. 1965. Dynamics of soil aggregation.Advance in Agr. 18: 107-160.

Lal, R., Pierce, F.J. 1991. The vanishing resource. PP. 1-5. In Lal, R., Pierce, F. J.

Leao, T.P., Perfect, E. 2010. Modeling water movement in horizontal columns using fractal theory. R. Bras. Ci. Solo, 34: 1463-1468.

Mandelbrot, B.B. 1977. Fractals-form, chance and dimension. Freeman and company, San Francisco, California.

Mandelbrot, B.B. 1982. The fractal geometry of nature. W. H. Freeman, san francisco, CA.

Miao, C.Y., Wang, Y.F., Wei, X. 2007. Fractal characteristics of soil particles in surface layer of black soil. Chin. Appl. Ecol. J. 1(9): 1987–1993. In Chinese with English abstract .

Montero, E.R. 2005. Dimensions analysis of soil particle–size distributions. Ecol. Model. 182: 305–315.

Perfect, E., Blevins, R.L. 1997. Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage trearment. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 896-900.

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

Perfect, E., Kenst, A.B., Diaz-Zorita, M., Grove, J.H. 2004. Fractal Analysis of Soil Water Desorption Data Collected on Disturbed Samples with Water Activity Meters. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:1177–1184.

Pirmoradian, N., Sepaskhah, A.R., Hajabbasi, M.A. 2005. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosystems Engin., 90(2): 227-234.

Rieu, M., Sposito, G. 1991a. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: I. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1231-1238.

Rieu, M., Sposito, G. 1991b. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: II. Applications. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1239-1238.

Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhao, W.Z., Zhang, T.H. 2004. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. Geoderma. 122: 43-49.

Tyler, S.W., Wheatcraft, S.W. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distribution: Analysis and limitations.. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 362-369.

Zhao, S.W., Su, J., Yang, Y.h., Liu, N., Wu, J., Shangguan, Z. 2006. A fractal method of estimating soil structure changes under different vegetations on Ziwuling mountains of the Loess plateau, China. Chin. Agric. Sci. J. 5(7): 530-538.

Zhou, X., Persaud, N., Wang, H. 2004. Periodicities and scaling parameters of daily rainfall over semi-arid Botswana. Ecological Modeling, 182:371–378.

ISSN 2251-7480

Evaluating soil aggregate stability using classical methods and fractal models

Shiva Mohammadian Khorasani[1], Mehdi Homaee[2*] and Ebrahim Pazira[3]

1) PhD. Student, Department of Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2*) Professor, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Corresponding author email: mhomaee@modares.ac.ir
3) Professor, Department of Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 14-11-2014 Accepted: 31-05-2015

Abstract

Soil structure is an important indicator for optimal management of soil and water resources. Because it directly influencing several physical characteristics of soils such as soil water status, hydraulic conductivity, heat and air contents, soil porosity and bulk density. However, due to complexity of soil structure, its quantitative description is rather difficult. One of the relatively new methods proposed to explain soil structure in a quantitative manner is the so-called fractal geometry concept. In this concept, by determining the fractal dimension of bulk soil, the stability of aggregates can be quantitatively analyzed at different scales. The objective of this study was to quantify soil structure stability using some classic indicators and fractal approach in a large scale. Consequently, 41 intact soil samples were taken from an agricultural area and their particle size distribution, soil bulk density and aggregate bulk density, were measured. The weighted mean diameter and geometric mean diameter of both dry and wet aggregates were measured using dry and wet sieving method. The fractal dimensions of all dry and wet aggregates were obtained using fractal models of Mandelbrot, Tyler-Wheatcraft and Rieu-Sposito. The results indicated that fractal dimensions of the number-size model of Mandelbrot for dry sieve series and the number-size model of Rieu-Sposito in the wet sieve series perform quite well. These two models could also provide reasonable agreement with classical geometric mean and weighted mean diameters of aggregates.

Keywords: fractal geometry; fractal models; soil aggregate stability; soil structure