دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارایی مدل‌های فرکتالی در توزیع اندازه ذرات رسوب (مطالعه موردی: فولاد محلهِ سمنان)

هانیه ببرنژاد زیارت[۱]، علی‌اصغر ذوالفقاری[۲]، محمدرضا یزدانی[۳]، علی اصغر هاشمی[۴] و محمدکیا کیانیان[۵]

۱، ۳ و ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و مربی، گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان
۲- استادیار، گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، (نویسنده مسوول: azolfaghari@semnan.ac.ir)
۴- استادیار، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان سمنان
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۳

چکیده

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی دقت سه تابع فرکتالی تیلر و ویت‌کرافت، بیرد و همکاران و کراوچنکو و ژانگ در توصیف توزیع اندازه ذرات (PSD) رسوبات در ۱۴ بند متوالی در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری است. توزیع اندازه ذرات اولیه رسوبات با روش هیدرومتری در ۲۸ نمونه تعیین گردید. مدل‌های فرکتالی مذکور بر داده‌های PSD رسوبات مورد مطالعه برازش داده شدند. نتایج نشان داد که ارتباط منظمی در بعدهای فرکتال در بندهای متوالی وجود نداشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که انتقال رسوبات بیشتر از خاک‌های اطراف به داخل بندها صورت گرفته است. مدل‌های دو پارامتری بیرد و همکاران و کراوچنکو و ژانگ برازش بهتری نسبت به مدل یک پارامتری تیلر و ویت‌کرافت بر PSD رسوبات مورد مطالعه دارد. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که رابطه سیگموییدی با دقت بیشتری نسبت به روابط خطی قادر به برقراری ارتباط بین بعدهای فرکتال و درصد رس، شن و سیلت می‌باشند. آنالیز رگرسیونی گام به گام نشان داد که ارتباط قویی و معنی‌داری (R^2= ۰/۹۷) بین بعد فرکتال مدل تیلر و ویت کرفت با مقدار رس و شن خاک وجود دارد. لذا تعیین PSD رسوبات با استفاده از اندازه گیری مقادیر رس و شن خاک امکان پذیر می‌باشد.**

واژه‌های کلیدی: ابعاد فرکتال، بندهای رسوب‌گیر، رابطه سیگموییدی

مقدمه

توزیع اندازه ذرات[۱] اولیه (PSD) مبنای ارزیابی بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک محسوب می‌شود و از آن به طور گسترده‌ای در تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی رطوبتی، و هدایت آبی اشباع و غیر اشباع استفاده می‌شود (۸،۱۹،۲۱). توزیع اندازه ذرات خاک را می‌توان با استفاده از معادلات مختلفی نظیر مدل‌های لاگ‌نرمال دو یا چند پارامتری (۷)، مدل دو نمایی شیوازاوا و کمبل (۲۴)، مدل چهار پارامتری فردلاند (۱۲) و یا توابع توانی (نظیر مدل‌های فرکتالی) به صورت ریاضی بیان نمود. تئوری فرکتال یک ابزار سودمند برای توصیف پدیده‌های دارای خصوصیات خود تشابه[۲] از جمله توزیع اندازه ذرات می‌باشد (۳۰). به همین علت در مطالعات زیادی از تئوری فرکتال برای توصیف PSD، توزیع اندازه منافذ و توزیع خاکدانه‌ها استفاده شده است (۱۵). مفهوم فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک متکی بر وجود یک رابطه توانی بین تعداد و قطر ذرات است و معمولا به صورت تعداد تجمعی ذرات بزرگتر از یک اندازه معین در مقابل قطر ذرات نشان داده می‌شود (۳۱). شکل دیگری از نمایش توزیع فرکتالی ذرات نیز به وسیله برخی محققین ارائه شده است که جرم تجمعی ذرات کوچک‌تر از یک اندازه معین در مقابل قطر ذرات ترسیم می‌شود. بر این اساس تیلر و ویت‌کرافت (۲۹) مدل فرکتالی را بر پایه جرم ذرات اولیه خاک توسعه دادند. آنها با فرض ثابت بودن جرم ویژه ذرات، رابطه تعداد- اندازه را به صورت جرم تجمعی ذرات کوچکتر از یک اندازه معین بیان کردند. این محققین محدودیت‌های مدل‌های مبتنی بر تعداد- اندازه را نیز مورد بررسی قرار داده و نشان دادند زمانی که بعد فرکتالی از طریق تخمین تعداد ذرات از مقدار جرم آنها به دست می‌آید، غالبا بیش از مقدار واقعی برآورد می‌شود. آنها رابطه توانی زیر را بر مبنای جرم نرمال شده ذرات کوچکتر از یک اندازه معین به شکل زیر ارائه نمودند:

$$\frac{M_{<X}}{M_T} = \left(\frac{X}{X_{max}}\right)^{3-D_t} \quad (۱)$$

که $M_{<X}$، M_T، X، X_{Max} به ترتیب جرم تجمعی ذرات کوچکتر از x، جرم کل نمونه رسوبات، اندازه ذرات رسوبات، قطر بزرگترین ذرات و Dt بعد فرکتال PSD در نمونه های مورد آزمایش می‌باشد.

بیرد و همکاران (۵) مدل فرکتالی منفذ- ذره[۳] را برای توصیف توزیع منافذ خاک معرفی کردند. محققین مختلف نشان دادند که این مدل نیز قادر به توصیف توزیع اندازه ذرات خاک می‌باشد (۳۱،۳۳). مدل منفذ- ذره به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$M(X \le X_i) = C_b {X_i}^{3-D_b} \quad (۲)$$

$M(X \le Xi)$ جرم تجمعی ذرات کوچکتر از Xi، X_i حد بالایی اندازه ذرات در هر کلاس اندازه، D_b بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک C_b ثابت مقیاس مرکب[۴] می‌باشد.

کراوچنکو و ژانگ (۱۶) با فرض فرکتال بودن توزیع اندازه ذرات خاک یک مدل فرکتال دو پارامتری را برای توصیف توزیع اندازه ذرات خاک ارائه کردند.

$$M(X) = \exp\left\{\ln C_K + \left[\frac{3D^2 - 13D + 14}{D^2 - 5D + 4}1\right]\ln X\right\} \quad (۳)$$

1- Particle Size Distribution (PSD) 2- Self Similar 3- Pore-Solid 4- Composite scaling constant

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

که D بعد فرکتالی توزیع اندازه ذرات خاک و Ck ضریب ثابت می‌باشد. تیرگرسلطانی و همکاران (۲۸) بعد فرکتال تیلر و ویت‌کرافت Dt را برای توصیف توزیع اندازه ذرات خاک مورد استفاده قرار دادند و همبستگی پایینی بین بعد فرکتال و درصد شن، رس و سیلت خاک مشاهده نمودند. زهاو و همکاران (۳۴) مدل منفذ- ذره بیرد و همکاران (۶) را برای توصیف PSD خاک‌های مورد استفاده قرار دادند. این محققین نشان دادند که بعد فرکتال منفذ- ذره شاخص مناسبی برای توصیف توزیع اندازه ذرات خاک است. آنها بیان کردند که D_b به تغییرات کلاس بافتی خاک حساس می‌باشد. ژیا و همکاران (۳۱) نشان دادند که بعد فرکتال PSD در کاربری‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. آنها همچنین گزارش کردند که بعد فرکتال PSD خصوصیت مناسبی برای بیان تاثیر تغییر کاربری اراضی می‌باشد. زهاو و همکاران (۳۳) رابطه سیگموییدی قویی را بین D_b و درصد شن و رس خاک مشاهده کردند. بیات و همکاران (۳) همبستگی بالایی بین بعد فرکتال منفذ- ذره (D_b) و درصد رس و شن گزارش نمودند. این محققین همبستگی ضعیفی بین بعد فرکتال و درصد سیلت خاک بدست آوردند. احمدی و همکاران (۱) نشان دادند که بعد فرکتال بیرد و همکاران (۵) توزیع اندازه ذرات خاک همبستگی مثبت و معنی داری با مقادیر رس و سیلت و تخلخل خاک و همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد شن و میانگین هندسی قطر ذرات داشته و مقادیر بزرگتر بعد فرکتال به خاک‌های ریز بافت و مقادیرکوچکتر آن به خاک‌های درشت بافت تعلق داشته است. در مطالعه‌ی دیگری ژیاو و همکاران (۳۱) نیز رابطه لگاریتمی قویی بین بعد فرکتال و درصد شن (R^2=۰/۸۱) و رس (R^2=۰/۹۹) خاک ملاحظه کردند. این محققین نشان دادند که رابطه‌ی ضعیفی بین بعد فرکتال و درصد سیلت وجود دارد (R^2=۰/۰۶). بیشتر این مطالعات روابط غیرخطی را برای بیان ارتباط بین بعد فرکتال و درصد شن، سیلت و رس خاک ارائه کردند در حالی که میلان و همکاران (۱۸) گزارش کردند که همبستگی خطی معنی‌داری بین بعد فرکتال و درصد رس خاک وجود دارد.

اهمیت بررسی توزیع اندازه ذرات رسوبات در بندهای رسوب‌گیر توسط برخی از محققین مورد مطالعه قرار گرفته است به عنوان مثال زها و همکاران (۳۳) تاثیر توزیع اندازه ذرات رسوبات بر رشد محصولات، تنوع زیستی، کنترل سیلاب، کمیت دبی و کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌دانند. با وجود اهمیت توزیع اندازه ذرات رسوبات، ولی مطالعه محدودی در کشور با هدف بررسی توزیع اندازه ذرات رسوبات در پشت بندهای رسوب‌گیر صورت گرفته است. می‌توان گفت که مطالعات مربوط به این موضوع محدود به پژوهش های صورت گرفته توسط حسنلی و همکاران (۱۴)، مهدی‌زاده و همکاران (۱۷) می‌باشد. حسنلی و همکاران (۱۴) توزیع اندازه ذرات رسوبات سه بند رسوب‌گیر در مسیر چهار رودخانه فصلی را مورد بررسی قرار دادند. این محققین نشان دادند که درصد رس و سیلت (ذرات ریز رسوبات) به دام افتاده در بندهای انتهایی افزایش می‌یابد. زها و همکاران (۳۴) چهارده مدل توزیع اندازه ذرات خاک را برای توصیف PSD رسوبات در بندها مورد ارزیابی قرار دادند آنها نشان دادند که مدل چهار پارامتری فردلاند بهترین مدل در توصیف PSD رسوبات است. همچنین نشان دادند که مقدار ضریب تبیین مدل فرکتالی کراوچنکو و ژانگ (R^2=۰/۸۶) می‌باشد.

از آنجا که تاکنون در ایران پژوهش‌های محدودی با هدف بررسی کارایی مدل‌های فرکتالی در توصیف PSD انجام شده است لذا هدف از مطالعه حاضر بررسی کارایی مدل‌های فرکتالی تیلر و ویت‌کرافت (۲۹)، بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) در توصیف PSD رسوبات در بندهای رسوب‌گیر می‌باشد. همچنین تغییرات رس، سیلت، شن و ابعاد فرکتال در بندهای متوالی از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد. و در انتها رابطه ابعاد فرکتال و مقدار نسبی هر یک از ذرات اولیه رسوبات (رس، شن و سیلت) نیز در PSD رسوبات مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد پژوهش

این مطالعه در منطقه پرور درطول ''۱۴ '۳۲ ۵۳ و عرض جغرافیایی ''۱۷ '۵۷ ۳۵ که در قسمت شمالی شهرستان سمنان قرار دارد، انجام شد. میانگین دما و بارندگی سالانه منطقه مورد به ترتیب برابر ۱۰/۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۸۰/۶۴ میلی‌متر می‌باشد. که این منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد (۴).

به منظور جلوگیری از گسترش خندق تعداد ۱۴ بند متوالی بر روی یکی از آبراهه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه احداث شده است. طول تقریبی آبراهه ۲۰۰۰ متر و تعداد ۱۴ بند سنگی ملاتی متوالی به ارتفاع ۳ متر و با فواصل تقریبا مساوی از هم احداث شده‌اند. نمونه‌های رسوبات از پشت ۱۴ بند متوالی و از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری برداشت شد. توزیع اندازه ذرات ۲۸ نمونه رسوب در ۵ کلاس مختلف بافتی به روش گی و بادر تعیین شدند (۱۳). به این منظور رسوبات هوا خشک نرم شده، از غربال دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس ۵۰ گرم از هر یک از این نمونه‌ها با محلول پراکنش (هگزامتافسفات سدیم ۵٪) تیمار شدند. برای به دست آوردن اجزای دانه‌های سیلت و رس از روش هیدرومتری بهره‌گیری شد. قرائت‌های هیدرومتر در زمان‌های ۴۰ ثانیه، ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه و ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۲۴ ساعت انجام شد. داده‌های جرم در قرائت‌های هیدرومتر به صورت درصد تجمعی جرم ذرات کوچکتر از یک اندازه معین به دست آمدند .پس از انجام قرائت‌های هیدرومتر برای جداسازی دانه‌های شن از رس و سیلت آنچه درون سیلندر بود روی الک ۵۳ میکرون ریخته شد. توزیع اندازه ذرات شن جدا شده نیز با استفاده از سری‌های الک‌های ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۲۵، ۰/۷۵ میلی‌متر تعیین شد.

برای بررسی کارایی مدل‌های فرکتالی، ۳ مدل فرکتالی تیلر و ویت‌کرافت (۲۹) (رابطه ۱) بیرد و همکاران (۵) (رابطه ۲) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) (رابطه ۳) بر داده‌های توزیع اندازه ذرات رسوب برازش داده شدند. برازش مدل‌ها از طریق

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

رگرسیون غیر خطی و با بهینه‌سازی مجموع مربعات خطا و با استفاده از برنامه کامپیوتری Matlab انجام شد (۲۷). به منظور بررسی ارتباط بین پارامترهای مدل‌های فرکتالی و درصد شن، سیلت و رس از معادلات رگرسیونی غیر خطی سیگموییدی سه پارامتری (رابطه ۴) و معادلات خطی (رابطه ۵) استفاده شد (۳۲).

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x - x_0}{b}\right)}} \quad (۴)$$

$$y = a_2 x + b_2 \quad (۵)$$

که a، b، a_2، b_2 و x_0 پارامترهای معادلات می‌باشند.

ارزیابی کارایی مدل‌ها

یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی مدل‌ها، انتخاب مدلی است که دارای کمترین اختلاف با داده‌های مشاهده‌ای (میزان خطا) باشد. بنابراین هر مدلی که بزرگترین ضریب تبیین (R^2) و یا کوچک‌ترین خطای برازش را تولید کند، بهترین مدل محسوب می‌شود. در این شرایط اهمیت تعداد پارامتر در بررسی دقت مدل در نظرگرفته نمی‌شود. محققین برای رفع این مشکل آماره‌هایی را ارائه کرده‌اند که براساس آنها تعداد پارامترهای مدل نیز در بررسی کارایی مدل در نظرگرفته می‌شود. بنابراین در این در تحقیق از آماره‌های که تعداد پارامتر مدل را در کارایی مدل‌ها در نظر می‌گیرند، استفاده شد. این آماره‌ها عبارتند از:

ضریب تبیین $(Ra)^2$

ارزش ضریب تبیین Ra^2 معمولا با افزایش تعداد پارامترهای مدل (K) زیاد می‌گردد. بنابراین لازم است مشخص گردد که آیا توانایی یک مدل در برازش بهتر بر داده‌های اندازه‌گیری شده به ذات مدل بستگی دارد و یا آن که فقط ناشی از افزایش تعداد پارامترها است. به این علت از ضریب تبیین Ra^2 برای حذف اثر تعداد پارامترها استفاده می‌شود و برای مقایسه مدل‌های دارای تعداد متفاوت پارامترها، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

$$Ra^2 = 1 - \left(\frac{N-1}{N-K}\right)\frac{SSE}{SST} \quad (۶)$$

که SSE مجموع مربعات خطا، SST مجموع مربعات کل مقادیر اندازه‌گیری شده و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر نمونه رسوب می‌باشد. مجموع مربعات خطا با استفاده از معادله زیر تعیین شد.

$$SSE = \sum_{i=0}^{N}(Y_i - Y_p)^2 \quad (۷)$$

که در این معادله Y_i و Y_p به ترتیب جرم تجمعی ذرات اندازه‌گیری شده و برآورد شده می‌باشند.

معیار اطلاعات اکایک (AICc) اصلاح شده

در معیار اطلاعات اکایک، مدلی که دارای کوچک‌ترین ارزش AICc باشد بهترین مدل انتخاب خواهد شد. رابطه (۸) نحوه محاسبه آماره اکایک را نشان می‌دهد (۸).

$$AIC_c = N \times \ln(MSE) + 2 \times K + \frac{2K(K+1)}{N-K-1} \quad (۸)$$

که در آن AICc، معیار اطلاعات آکایک اصلاح شده، MSE میانگین مربعات، و K تعداد پارامترها مدل PSD است. میانگین مربعات با استفاده از معادله زیر تعیین شد:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Y_i - Y_p)^2}{N} \quad (۹)$$

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[1]

این آماره با استفاده از معادله زیر تعیین می‌شود. هر مدلی که دارای کمترین RMSE در مقایسه با دیگر مدل‌ها باشد از دقت بیشتری برخوردار است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N}(Y_i - Y_p)^2}{N}} \quad (۱۰)$$

نتایج و بحث

تغییرات شن و ابعاد فرکتال در بندهای متوالی

جدول ۱ درصد نسبی ذرات اولیه نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. کمترین مقادیر ذرات شن، سیلت و رس به ترتیب ۳/۶۱، ۲۱/۷۸ و ۱۰/۷۶ درصد، و بیشترین آن به ترتیب ۶۷/۴۶، ۷۲/۹۴ و ۲۹/۲۶ درصد بود که محدوده نسبتا وسیع اندازه ذرات را در رسوبات مورد مطالعه نشان می‌دهد. نمونه‌های مورد مطالعه شامل ۵ کلاس بافتی، از قبیل بافت رسی سیلتی، لوم رسی، لوم سیلتی، لومی و لوم شنی بودند. به نظر می‌رسد محدوده اندازه‌ای ذرات و تنوع PSDها در کلاس‌های بافتی نمونه‌های مورد آزمایش می‌تواند نتایج این تحقیق در خصوص بررسی ارتباط بین بعد فرکتال توزیع اندازه ذرات و خصوصیات رسوبات را عمومیت بیشتری بخشد.

شکل‌های ۱ تا ۳ تغییرات همزمان بعدهای فرکتال (D_b، Dt و D) و درصد شن رسوبات را در ۱۴ بند متوالی و در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تغییرات درصد شن در۱۴ بند متوالی در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نامنظم بوده و ارتباط منطقی بین توالی بندهای رسوب‌گیر و درصد شن وجود ندارد. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهند که در بندهای ۳، ۴ و ۵ ذرات درشت رسوب توسط بندهای بالا دست گرفته شده و به تدریج با حرکت به سمت پایین دست از درصد ذرات درشت رسوب کاسته می‌شود. وقوع فرآیند ترسیب انتخابی در آبراهه توسط نادو و همکاران (۲۰) و مهدی زاده و همکاران (۱۷) نیز مشاهده شده است. در صورتی که رسوبات از بندی به بند دیگر منتقل شوند انتظار می‌رود که با حرکت به سمت پایین دست از درصد ذرات درشت کاسته شود. بر اساس قانون استوکس ذرات درشت رسوبات در زمان کوتاه‌تری ترسیب می‌یابند (گی و بادر (۱۳))، بنابراین با جدا شدن ذرات از ماتریکس خاک، ابتدا ذرات درشت در بندهای بالادست ترسیب می‌یابند. ارزیابی توزیع اندازه رسوب بندهای ۸ الی ۱۲ نشان می‌دهد که در بندهای ابتدایی رسوبات ریزتر از بندهای انتهایی می‌باشد. بندهای ابتدایی به دلیل وجود پوشش گیاهی سبب نگهداشت و انباشته شدن رسوبات ریزتر شده‌اند اما با حرکت به سمت پایین دست از کارایی بندها کاسته شده و رسوبات در آنها درشت‌تر می‌شوند. نتایج مشابه‌ای برای تغییرات ابعاد فرکتال در بندهای متوالی نیز مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که

1- Root Mean Square Error

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

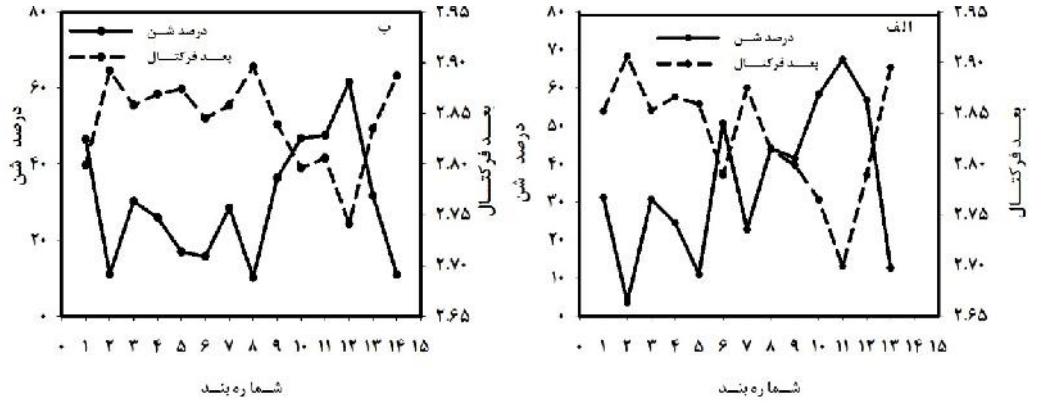
روند تغییرات ابعاد فرکتال و درصد شن مخالف هم می‌باشند یعنی با افزایش بعد فرکتال درصد شن کاهش می‌یابد. حسنلی و همکاران (۱۴) توزیع اندازه ذرات رسوب را در ۳ بند متوالی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در بندهای پایین دست درصد شن کاهش می‌یابد مهدی‌زاده و همکاران (۱۸) در بندهای رسوب‌گیر نیمه پر نشان دادند که توزیع اندازه رسوبات در بندهای پایین دست، ریزتر از خاک اصلی می‌باشد. درحالی که در بندهای پر، توزیع اندازه ذرات رسوبات در بندهای پایینی درشت تر از بندهای ابتدایی می‌باشد. به عبارت دیگر این محققین نیز ارتباط مشخصی بین توزیع اندازه ذرات رسوبات و توالی بندها مشاهده نکردند.

جدول ۱- درصد نسبی ذرات اولیه رسوبات مورد مطالعه

Table 1. Percentage of particle sediment in study area

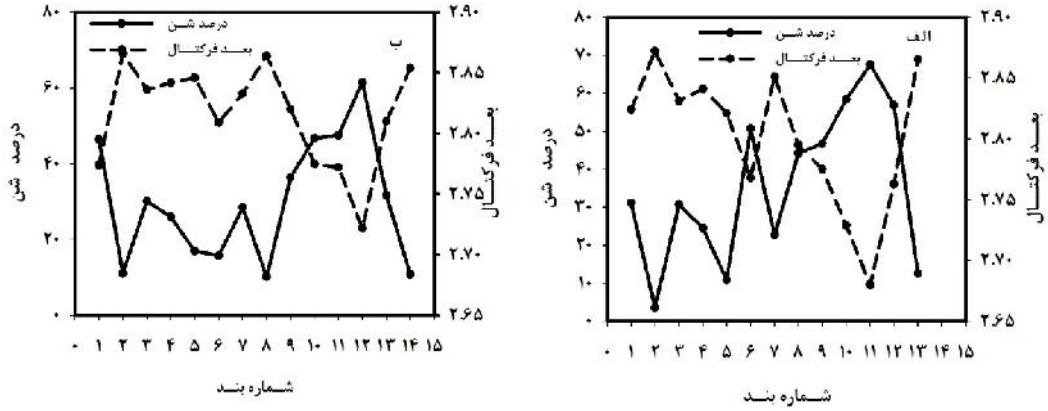
خصوصیت	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت	Db	D	Dt
حداقل	۳/۶۱	۱۰/۷۶	۲۱/۷۸	۲/۶۸	۲/۸۷	۲/۹۰
حداکثر	۶۷/۴۶	۲۹/۲۶	۷۲/۹۴	۲/۸۷	۲/۹۵	۲/۶۹
متوسط	۳۲/۳۹	۲۲/۱۹	۴۵/۴۱	۲/۸۰	۲/۹۳	۲/۸۳

Db، D و Dt: به ترتیب بعدهای فرکتال بدست آمده از مدل‌های بیرد و همکاران (۲۰۰۰)، کراوچنکو و ژانگ(۱۹۹۸)و تیلروویت‌کرافت (۱۹۹۲) می‌باشند.



شکل ۱- ارتباط بعد فرکتال (Dt) با درصد شن دربندهای متوالی در دو عمق ۱۵-۰ (الف) و ۳۰-۱۵ (ب) سانتی‌متری

Figure 1. The relationship between fractal dimension (Dt) and sand content in successive check dams in depths of 0-15 and 15-30 cm

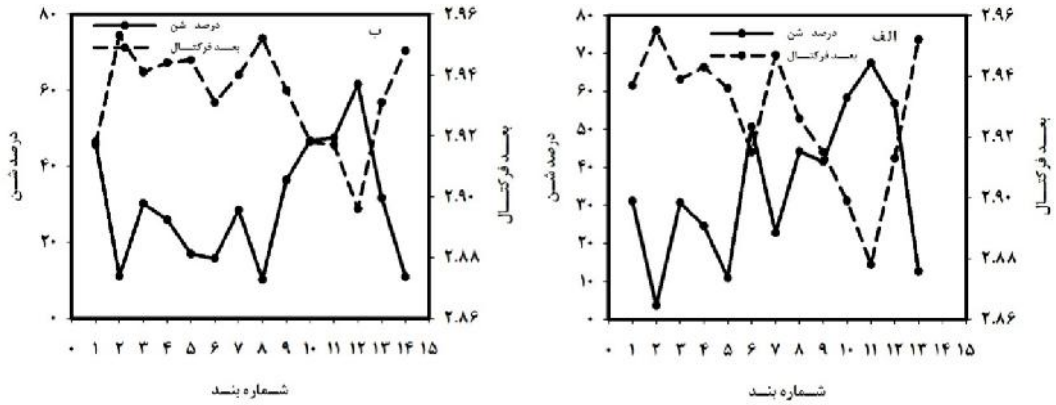


شکل ۲- ارتباط بعد فرکتال (D_b) با درصد شن در بندهای متوالی در دو عمق ۱۵-۰ (الف) و ۳۰-۱۵ (ب) سانتی‌متری

Figure 2. The relationship between fractal dimension (D_b) and sand content in successive check dams in depths of 0-15 and 15-30 cm

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]



شکل ۳- ارتباط بعد فرکتال (D) با درصد شن دربندهای متوالی در دو عمق۱۵-۰ (الف) و ۳۰-۱۵ (ب) سانتی‌متری
Figure 3. The relationship between fractal dimension (D) and sand content in successive check dams in depths of 0-15 and 15-30 cm

بررسی کارایی مدل‌های فرکتالی

مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط آماره‌های Ra^2، AICc و RMSE حاصل از برازش مدل‌های فرکتالی بر داده‌های PSD رسوبات مورد مطالعه درجدول (۲) نشان داده شده است. کمترین مقدار آماره AICc مربوط به مدل‌های بیرد و همکاران (۵) و کراچنکو و همکاران (۱۶) و بیشترین آن متعلق به مدل فرکتال تیلر و ویت‌کرفت (۲۹) است. هرچه مقدار آماره AICc در مدلی کوچکتر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل مذکور می‌باشد. بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) نسبت به مدل تیلر و ویت کرفت با دقت بالاتری می‌تواند توزیع اندازه رسوبات را توصیف نمایند. نتایج بدست آمده برای آماره Ra^2 نشان می‌دهد که کمترین متوسط آماره Ra^2 مربوط به مدل فرکتال Dt و بیشترین متوسط آن برای مدل‌های بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) است. نتایج مشابه‌ای برای آماره RMSE نیز بدست آمد. به‌طور کلی تحلیل آماره‌ها نشان داد که مدل‌های فرکتالی بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) دارای دقت بیشتری برای برازش بر داده‌های PSD رسوبات دارند. مدل‌های فرکتالی بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) مدل‌های دو پارامتری می‌باشند در حالی که مدل تیلر و ویت کرفت (۲۹) یک مدل تک پارامتری است. افزایش تعداد پارامتر مدل‌های توزیع اندازه ذرات خاک معمولا سبب افزایش کارایی مدل‌ها می‌شود هوانگ و همکاران (۱۵). لذا نتایج این مطالعه هم نشان داد که مدل‌های دو پارامتری به نسبت مدل‌های تک پارامتری دارای دقت بالاتری هستند. این نتایج تاییدکننده نتایج هوانگ و همکاران (۱۵) می‌باشد. مهدی‌زاده و همکاران (۱۷) نیز کارایی مدل‌های مختلف از جمله مدل فرکتالی را در توصیف توزیع اندازه ذرات رسوبات مورد بررسی قرار دادند. آنها میانگین ضریب تبیین مدل فرکتالی را برابر با ۰/۹۱۹ بدست آورند، نتایج این مطالعه مشابه نتایج مهدی‌زاده و همکاران (۱۷) می‌باشد.

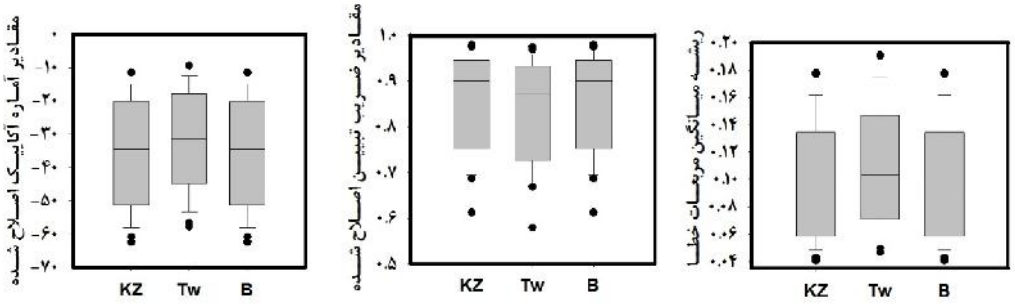
جدول ۲- خصوصیات آماره‌های AICc، Ra^2 و RMSE مدل‌های فرکتال
Table 2. Statistics criteria of AICc،$Ra^2$and RMSE in fractal models

فرکتال ها	حداقل AICc	حداکثر AICc	متوسط AICc	حداقل Ra^2	حداکثر Ra^2	متوسط Ra^2	حداقل RMSE	حداکثر RMSE	متوسط RMSE
تیلروویت کرفت	-۵۷/۶۹	-۹/۲۶	-۳۲/۲۱	۰/۵۷	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۰
بیردوهمکاران	-۶۲/۴۳	-۱۱/۴۱	-۳۵/۹۷	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۰۹
کراوچنکوو ژانگ	-۶۲/۴۳	-۱۱/۴۱	-۳۵/۹۷	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۰۹

شکل (۴) تغییرات آماره‌های Ra^2، RMSE و AICc مدل‌های مورد مطالعه را در قالب نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد. این نمودارها صدک‌های ۹۵ام، ۹۰ام، ۷۵ام، ۵۰ام، ۲۵ام، ۱۰ام و ۵ام مقادیر Ra^2، RMSE و AICc مدل‌ها در PSD رسوبات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هر چه طول جعبه (فاصله بین صدک‌های ۹۵ام و ۵ام) کوتاه‌تر باشد، پراکندگی آماره‌ها کمتر است. لذا مدلی که دارای پراکندگی کمتری در آماره‌ها باشد با دقت تقریبا یکسانی قادر به توصیف PSD تمامی کلاس‌های بافتی رسوبات می‌باشد. نتایج این نمودارها نشان می‌دهد که مدل‌های بیرد و همکاران (۶) و کراوچنکو و ژانگ (۱۷) بادقت مشابه‌ای قادر به توصیف PSD تمامی رسوبات مورد مطالعه هستند. اما مدل تیلر و ویتکرفت (۲۹) به نسبت دو مدل دیگر دارای پراکندگی بیشتری بوده در نتیجه دارای دقت کمتری در در توصیف PSD رسوبات می‌باشد. مدل‌های بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) هرکدام دارای دو پارامتر هستند، معمولا تعداد پارامتر بیشتر در مدل‌های پارامتریک می‌تواند سبب افزایش انعطاف‌پذیری بیشتر و دقت بالاتر مدل‌ها شود (۳۵،۶). بنابراین می‌توان انتظار داشت که دقت مدل‌های فرکتالی بیرد و همکاران (۶) و کراوچنکو و ژانگ (۱۷) دارای دقت بیشتری نسبت به مدل تیلر و ویت‌کرفت باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

زها و همکاران (۳۳) مدل بیرد و همکاران (۵) را برای توصیف PSD رسوبات مورد استفاده قرار دادند. آنها نشان داند که با افزایش اندازه ذرات دقت مدل بیرد و همکاران (۵) در توصیف PSD رسوبات افزایش می‌یابد. این محققین میانگین ضریب تبیین حاصل از برازش مدل بیرد و همکاران (۶) را برابر با ۰/۸۷ بدست آوردند. که نتایج این مطالعه مشابه نتایج زها و همکاران (۳۳) می باشد. تیرگر سلطانی و همکاران (۲۶) نیز کارایی مدل های فرکتالی را برای توصیف توزیع اندازه ذرات خاک مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که تابع فرکتالی در خاک‌های درشت بافت بهتر از خاک‌های ریز بافت قادر به توصیف PSD می‌باشد.

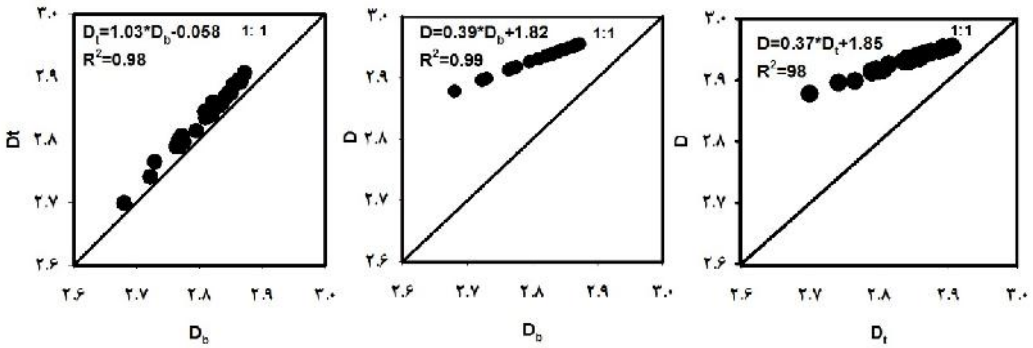


شکل ۴- نمودار جعبه‌ای تغییرات مقادیر آماره اکاییک، ضریب تبیین و RMSE در مدل‌های فرکتال (KZ، Tw و B به ترتیب معرف مدل‌های کراوچنکو و ژانگ، تیلر و ویت‌کرفت و بیرد و همکاران می‌باشند).

Figure 4. The box plot of distribution of AICc ،Ra^2 and RMSE criteria in different fractal models. (KZ, Tw and B refer to Kravchenko and Zhang, Tyler and Wheatcraft and Bird fractal models, respectively)

بررسی ارتباط بین ابعاد فرکتال

نتایج نشان داد که مقادیر عددی پارامترهای D و Db برای PSD رسوبات مورد آزمایش متفاوت، و اما همبستگی بالایی (R^2=۰/۹۹) بین آنها وجود دارد (شکل ۵). مقایسه آماری شیب و عرض از مبدا معادلات رگرسیونی بین ابعاد فرکتال Dt و D_b با بعد فرکتال D نشان داد که شیب (۰/۳۹ و ۰/۳۷) و عرض از مبداء (۱/۸۵ و ۱/۸۲) این خطوط اختلاف آماری معنی‌داری را با خط ۱:۱ نشان می‌دهند. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ابعاد فرکتال D_b و Dt اختلاف معنی‌داری را با بعد فرکتال D دارند. در حالی که شیب خط (۱/۰۳) و عرض از مبداء (۰/۰۵۸) معادله‌ی رگرسیونی بین D_b و Dt اختلاف معنی داری با خط ۱:۱ ندارند. این نتایج نشان می‌دهد که اختلاف آماری معنی‌داری بین Db و Dt وجود ندارد.



شکل ۵- ارتباط بین ابعاد فرکتال تیلر و ویت کرفت (D_t) ، بیرد و همکاران (D_b) و کراوچنکو و ژانگ(D) در رسوبات مورد مطالعه

Figure 5. The relation between Tyler and Wheatcraft (D_t), Bird et al (D_b) and Kravchenko and Zhang (D) in sediment in study area

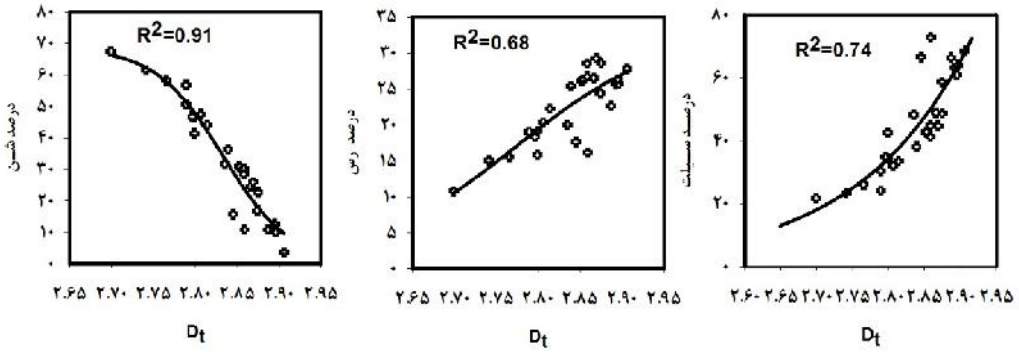
بررسی ارتباط بین ابعاد فرکتال و پارامترهای توزیع اندازه ذرات رسوبات

نتایج نشان داد که با درشت شدن اندازه ذرات رسوب تمامی بعدهای فرکتال کاهش می‌یابند. فیلگوئرا و همکاران (۱۱) رابطه خطی و مثبتی را بین مقادیر رس و بعد فرکتالی ذرات در محدوده اندازه‌ای ۵۰-۱ میکرون مشاهده نمودند، این محققین به میزان همبستگی این رابطه و معنی‌داری آن اشاره‌ای نکردند. ارساهین و همکاران (۱۰)، و سو و همکاران (۲۵) نیز گزارش کردند که بعد فرکتالی ذرات اولیه با افزایش رس افزایش و با افزایش درصد شن کاهش می‌یابد. تیرگر سلطانی و همکاران (۲۶) نیز همبستگی منفی (۰/۶۱-) و معنی‌داری را بین درصد سیلت موجود در نمونه و اندازه بعد فرکتالی مشاهده کردند. که نتایج این مطالعه تایید نتایج محققان قبلی می‌باشد. با توجه به همبستگی بالای بعدهای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

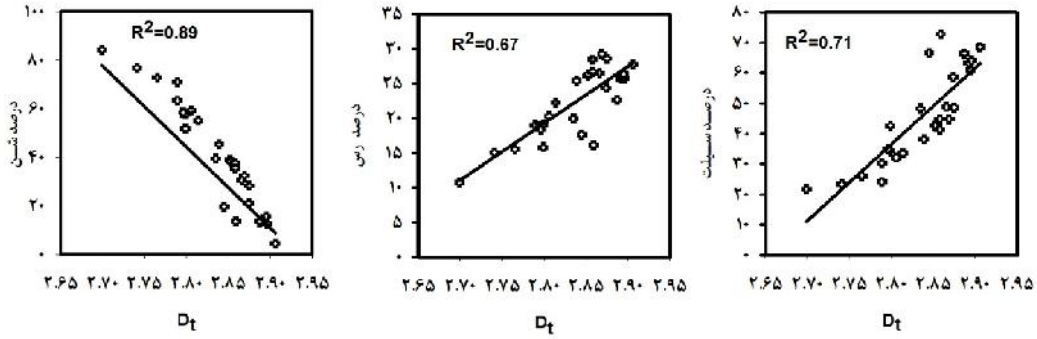
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

فرکتال با درصد شن، سیلت و رس می‌توان از بعدهای فرکتال به عنوان شاخص مناسبی برای بررسی اندازه PSD رسوبات استفاده کرد. شکل‌های ۶، ۸ و ۱۰ رابطه سیگموئیدی بین Dt، Db و D و درصد شن، رس و سیلت رسوبات را نشان می‌دهد. ضرایب تبیین تابع سیگموییدی بین Dt و درصد رس، شن و سیلت به ترتیب برابر با ۰/۶۸، ۰/۹۱ و ۰/۷۴ بدست آمد. شکل‌های ۷، ۹ و ۱۱ ارتباط Dt، Db و D را با درصد شن، رس و سیلت خاک به صورت خطی ارائه می‌کنند. آنالیز رگرسیونی نشان داد که به طور کلی ارتباط ضعیف‌تری بین بعدهای فرکتال (D_b، D، D_t) و درصد رس خاک وجود دارد. نتایج نشان داد که تابع سیگموییدی به خوبی قادر به برقراری ارتباط بین بعدهای فرکتال و درصد شن رسوبات می‌باشد. میلان و همکاران (۱۸) نشان دادند که ارتباط خطی بین بعد فرکتال و درصد رس خاک برقرار است. سو و همکاران (۲۵) نیز بیان کردند که ارتباط بین بعد فرکتال و درصد رس، سیلت و شن خطی می‌باشد. زهاو و همکاران (۳۳) نشان دادند که هر دو تابع خطی و سیگموییدی می‌تواند برای توصیف ارتباط بین بعد فرکتال و درصد شن، رس و سیلت مناسب باشند. اما آنها بیان کردند که توابع سیگموییدی با دقت بالاتری رابطه بین ابعاد فرکتال و خصوصیات بافت خاک را نشان می‌دهند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که رابطه خطی به خوبی قادر به توصیف ارتباط بین بعدهای فرکتال و درصد شن در رسوبات می‌باشد اما ارتباط سیگموییدی بادقت بیشتری رابطه بین ابعاد فرکتال و خصوصیات بافت خاک را نشان می‌دهد. این نتایج تاییدی بر یافته های زهاو و همکاران (۳۳) می‌باشد. بیات و همکاران (۲) همبستگی بالایی بین بعد فرکتال منفذ- ذره (D_b) و درصد رس و شن گزارش نمودند. این محققین همبستگی ضعیفی بین بعد فرکتال و درصد سیلت خاک بدست آوردند. در مطالعه‌ی دیگری ژیاو و همکاران (۳۱) رابطه لگاریتمی قویی بین بعد فرکتال و درصد شن (R^2=۰/۸۱) و رس (R^2=۰/۹۹) خاک ملاحظه کردند. این محققین نشان دادند که رابطه‌ی ضعیفی بین بعد فرکتال و درصد سیلت وجود دارد (R^2=۰/۰۶). در حالی که نتایج این مطالعه نشان داد که ارتباط قویی بین سیلت و ابعاد فرکتال وجود دارد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که ارتباط قویی‌تری بین بعد فرکتال D_t و درصد شن، نسبت به بعدهای فرکتال D_b و D با درصد شن خاک وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که برآورد D_t با استفاده از مقادیر شن به خوبی امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۶- رابطه بین Dt و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان‌دهنده ضریب تبیین برازش معادله سیگموییدی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد).

Figure 6. The relation between sand, silt and clay and D_t (R^2 is coefficient of determination of sigmoid equation that fitting on measurement data)

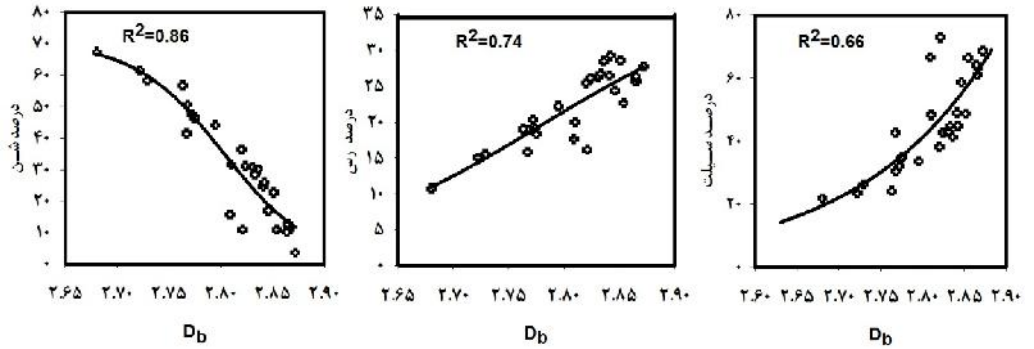


شکل ۷- رابطه بین Dt و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان‌دهنده ضریب تبیین برازش معادله خطی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد).

Figure 7. The relation between sand, silt and clay and D_t (R^2 is coefficient of determination of linear equation that fitting on measurement data)

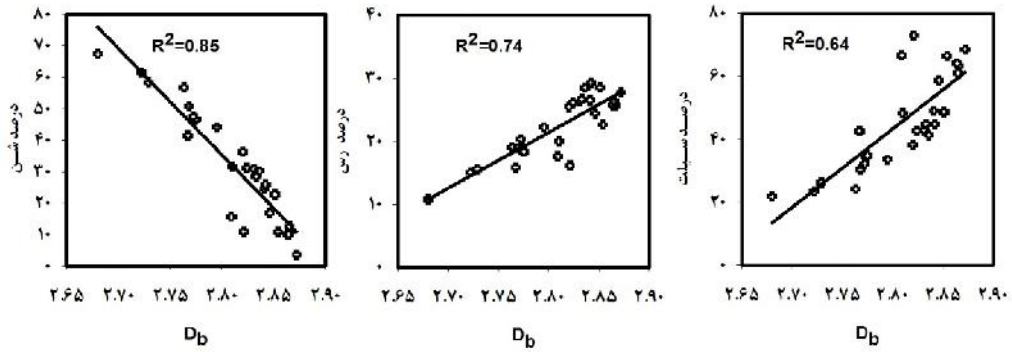
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]



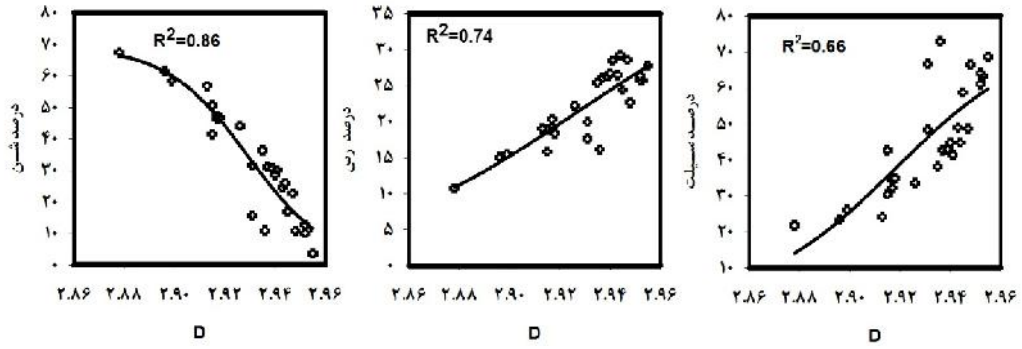
شکل ۸- رابطه بین D_b و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان‌دهنده ضریب تبیین برازش معادله سیگموییدی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد).

Figure 8. The relation between sand, silt and clay and D_b (R^2 is coefficient of determination of sigmoid equation that fitting on measurement data)



شکل ۹- رابطه بین D_b و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان‌دهنده ضریب تبیین برازش معادله خطی بر داده‌های اندازه گیری شده می‌باشد).

Figure 9. The relation between sand, silt and clay and D_b (R^2 is coefficient of determination of linear equation that fitting on measurement data)

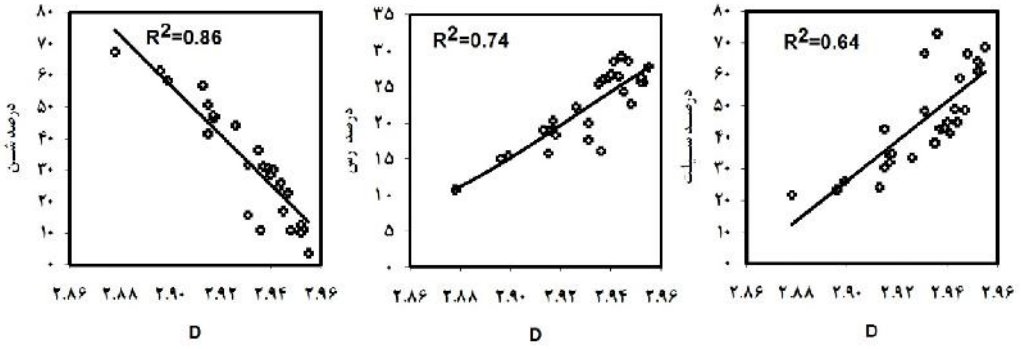


شکل ۱۰- رابطه بین D و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان دهنده ضریب تبیین برازش معادله سیگموییدی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد).

Figure 10. The relation between sand, silt and clay and D (R^2 is coefficient of determination of sigmoid equation that fitting on measurement data)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]



شکل ۱۱- رابطه بین D و درصد شن، رس و سیلت خاک (R^2 نشان‌دهنده ضریب تبیین برازش معادله خطی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد).

Figure 11. The relation between sand, silt and clay and D (R^2 is coefficient of determination of linear equation that fitting on measurement data)

همبستگی بین خطای برازش (RMSE) حاصل از برازش معادلات (۱، ۲ و ۳) بر داده‌های توزیع اندازه ذرات رسوبات، با درصد شن، رس و سیلت در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت (۰/۸۸ و ۰/۸۹ = r) و معنی‌داری (P<۰/۰۱) بین درصد شن و خطای برازش ۳ مدل وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد شن کارایی و دقت برازش مدل‌های فرکتالی بر PSD رسوبات افزایش می‌یابد. در حالی که همبستگی بین RMSE و درصد سیلت منفی (r =-۰/۹۳) و معنی‌دار (P<۰/۰۱) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سیلت دقت برازش مدل‌های فرکتالی کاهش می‌یابد. ارتباط بین دقت برازش مدل‌های فرکتالی و درصد رس منفی بود اگرچه افزایش رس تاثیر معنی‌داری بر کاهش کارایی مدل‌های فرکتالی در توصیف PSD رسوبات نداشتند. ذوالفقاری و همکاران (۳۵) نشان دادند که توزیع اندازه ذرات خاک با ریزتر شدن اندازه ذرات پیچیده‌تر می‌شود. بنابراین مدل‌های پیچیده‌تری از جمله مدل فردلاند و مدل‌های لوگ نرمال برای توصیف توزیع اندازه ذرات لازم است. در این شرایط از دقت مدل‌های ساده‌تری از قبیل مدل فرکتال کاسته می‌شود.

جدول ۳- همبستگی (r) بین دقت برازش (RMSE)مدل‌های فرکتالی و درصدشن، رس و سیلت رسوبات

Table 3. Correlation coefficient (r) of between accuracy of fitting (RMSE) in fractal models and sand, silt and clay content in sediment

مدل‌های فرکتال	شن (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)
مدل تیلر و ویت کرفت	۰/۸۹**	-۰/۳۵ns	-۰/۹۳**
مدل بیرد و همکاران	۰/۸۹**	-۰/۳۴ns	-۰/۹۳**
کراوچنکو و ژانگ	۰/۸۸**	-۰/۳۴ns	-۰/۹۳**

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشند. ns: نشان‌دهنده این است که ارتباط معنی‌داری بین متغیرهای مورد مطالعه وجود ندارد.

به منظور تعیین و توصیف ارتباط بین بعدهای فرکتال و پارامترهای C_b، C_k مدل‌های فرکتالی، با درصد شن، رس و سیلت از روش رگرسیون گام به گام استفاده شد. جدول (۴) رابطه رگرسیونی بین ابعاد فرکتال و پارامترهای C_b، C_k با درصد شن و رس را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تاثیر سیلت در برآورد بعدهای فرکتال و پارامترهای C_b، C_k معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین متغیر سیلت در معادلات رگرسیونی گام به گام حذف شد. مقادیر بالای ضرایب تبیین شده (۰/۹۷ و ۰/۹۸) و RMSE کوچک معادلات رگرسیونی نشان می‌دهد، که با اندازه‌گیری رس و شن رسوبات می‌توان ابعاد فرکتال PSD رسوبات را تعیین کرد. این نتایج اهمیت مدل تک پارامتری فرکتالی تیلرو ویت کرفت (۲۹) را نمایان می‌کند. زیرا این نتایج نشان می‌دهد که با اندازه گیری درصد شن و رس در رسوبات بندها می‌توان پارامتر D_t را با دقت مناسب برآورد کرد و در صورت در اختیار بودن این پارامتر توزیع اندازه ذرات رسوبات به راحتی تعیین خواهد شد. در حالی که برای برآورد PSD رسوبات با استفاده از مدل‌های فرکتالی بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) لازم است که بعدهای فرکتال و پارامترهای C_b و C_k با یکدیگر برآورد شوند. لذا با توجه به پایین بودن دقت برآورد پارامترهای C_b و C_k انتظار می‌رود که دقت برآورد PSD رسوبات با استفاده از این مدل‌ها نسبت به مدل تیلر و ویت‌کرفت کمتر باشد. نتایج این تحقیق مخالف یافته‌های یافته‌های تیرگرسلطانی و همکاران (۲۶) بود. آنها رابطه رگرسیونی قویی را بین ابعاد فرکتال و درصد شن و رس خاک ملاحظه نکردند. در حالی که نتایج این تحقیق با نتایج زهاو و همکاران (۳۳) مطابق داشت. این محققین بیان کردند که ارتباط قویی بین ابعاد فرکتال در درصد رس، و شن رسوبات وجود دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

جدول ۴- روابط رگرسیونی بین ابعاد فرکتال و نسبت شن، رس در PSD رسوبات
Table 4. The multiple linear regression between fractal dimension and sand and clay content in sediment

$D_t = -۲/۸۱۸ \times Sand + ۰/۳۷۳ \times clay + ۲/۸۱۸$	$R^۲$ =۰/۹۷	RMSE= ۰/۰۰۶۸
$Db = -۰/۱۷۳۹ \times Sand + ۰/۴۴۷ \times clay + ۲/۷۶۶$	$R^۲$=۰/۹۸	RMSE= ۰/۰۰۷۴
$D = -۰/۰۶۸۳ \times Sand + ۰/۱۷۵ \times clay + ۲/۹۱۳$	$R^۲$=۰/۹۷	RMSE=۰/۰۰۳۳
$Cb = -۰/۳۰۵۱ \times Sand + ۰/۰۴۰ \times clay + ۱/۱۰$	$R^۲$=۰/۹۰	RMSE=۰/۰۱۸
$Ck = -۰/۲۹۸ \times Sand - ۰/۰۴۰۳ \times clay + ۱/۰۹$	$R^۲$= ۰/۹۰	RMSE=۰/۰۱۷

برازش مدل‌های تیلر و ویت‌کرافت (۲۹)، بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) بر داده‌های PSD ،۲۸ نمونه رسوب با ۵ کلاس مختلف بافتی نشان داد که مدل دو پارامتری بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) برازش یکسان و بهتری بر داده‌ها نشان می‌دهند. آماره‌های اکاییک، Ra^2 و RMSE برای مدل‌های فرکتال بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) برازش بهتری نسبت به بعد فرکتال Dt نشان دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل‌های دو پارامتری بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) دارای دقت نزدیک و تقریبا یکسانی در توصیف توزیع اندازه رسوبات دارند. اگرچه بعدهای فرکتال این مدل‌ها از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که توابع غیر خطی (سیگموئیدی) می‌تواند به ترتیب ۹۱٪ ، ۸۶٪ و ۸۶٪ از تغیرات شن را با بعدهای فرکتال تیلر و ویت‌کرافت (۲۹)، بیرد و همکاران (۵) و کراوچنکو و ژانگ (۱۶) را توصیف نمایند. نتایج این مطالعه نشان داد که روابط غیرخطی توانایی بیشتری برای توصیف ارتباط بین بعدهای فرکتالی و درصد شن، رس و سیلت رسوبات دارند. اگرچه نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه خطی نیز قادر به بیان ارتباط بین بعد فرکتال و درصد شن، رس و سیلت هستند. بعد فرکتال مدل تیلر و ویت کرفت ارتباط قویی را با مقدار شن و رس (R^2= ۰/۹۷**) نشان داد. بنابراین می‌توان با اندازه‌گیری درصد شن و رس خاک بعد فرکتال تیلر و ویت کرفت را برآورد کرد. با توجه به تک پارامتری بودن مدل مذکور برآورد PSD در صورت در اختیار بودن Dt امکان پذیر می‌باشد. ارتباط خطی قوی بین پارامترهای مدل‌ها و درصد شن و رس در رسوبات نشان دادکه می‌توان از این بعدها به عنوان شاخصی از اندازه ذرات در مباحث فرسایش و حفاظت خاک استفاده برد.

منابع

1. Ahmadi, A., M. Neyshabouri and H. Asadi. 2010. Relationship between fractal dimension of particle size distribution. Journal of water and soil, 20/1(4): 73-81 (In Persian).
2. Bayat, H., N. Davatgar and M. Jalali. 2014. Prediction of CEC using fractalparameters by artificial neural networks. Intenationa Agrophys, 28: 143-152(In Persian)
3. Bayat, H. 2008. Create transfer functions to predict retention curve through artificial neural networks using fractal parameters and principal component analysis. Ph.D. Thesis, University of Tabriz Tabriz Iran, 180 pp (In Persian).
4. Bazoubandi, M. 2012. Evaluation of land use patterns and its optimization (Case of study: Goleroudbar Watershed). M.Sc. Thesis Faculty of Desert study University of Semnan. Semnan, Iran. 110 pp (In Persian).
5. Bird, N.R.A., E. Perrier and M. Rieu. 2000. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions. European Journal of Soil Science, 51: 55-63.
6. Buchan, G.D. 1989. Applicability of the simple lognormal model to particle-size distribution in soils Soil Science, 147: 155-161.
7. Buchan, G.D., K.S.Grewal and A.B. Robson. 1993. Improvedmodelsof particle-size distribution: An illustration of model comparisontechniques. Soil Science Society ofAmerica Journal, 57: 901-908.
8. Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 2002. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. Springer, 206 pp.
9. Campbell, G.S. 1985. Soil physics with BASIC: Transport models for soil-plant Systems vol (14). Elsevier, Amsterdam, 167 pp.
10. Ersahin, S., H. Gunal, T. Kutlu, B. Yetgin and S. Coban. 2006. Estimating specific surface area and cation exchange capacity in soils using fractal dimension of particle-size distribution Geoderma, 136: 588-597.
11. Filgueira, R.R., L.L. Fournier, I.C. Cecilia, P. Crlati and M.G. Carcia. 2006.Particle-size distribution in soils: A critical study of the fractal model validation. Geoderma, 134: 327-334.
12. Fredlund, M.D., D.G. Fredlund and G.W. Wilson. 2000. An equationto represent grainsize distribution. Canadian Geotechnical Journal, 37: 817-827.
13. Gee, G.W., J. W. Bauder and A. Klute. 1986. Particle-size analysis Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical methods, 383-411.
14. Hassanli, A.M., A. Esmaeli Nameghi and S. Beecham. 2009. Evaluation of the effect of porous check dam location on fine sediment retention (a case study). Environ Monit Assess, 152: 319-32.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

15. Hwang, S.I., KP. Lee, D.S. Lee and S.E. Powers. 2002. Models for estimating soil particle-size distributions. Soil Science Society of America Journal, 66: 1143-1150.
16. Kravchenko, A. and R. Zhang. 1998. Estimating the soil water retention from particle-size distributions: A fractal approach, Soil Science, 163: 171-179.
17. Mehdizadeh, L., F. Asadzadeh and A. Samadi. 2015. Application of mathematical models to describe the particle size distribution of sediments behind successive check dams. Journal of Watershed Engineering and Management, 4: 323-336 (In Persion).
18. Milla´n, H., M. Gonza´lez-Posada and M.J. Aguilar. 2003. On the fractal scaling of soil data Particle-size distributions. Geoderma, 117: 117-128.
19. Mohammadi, M.H., M. Khatar and M. Vanclooster. 2014. Combining a single hydraulic conductivity measurement with particle size distribution data for estimating the full range partially saturated hydraulic conductivity curve. Soil Science Society of America Journal, 78: 1594-1605.
20. Nadeu, E., A.A. Berhe, J.de Vente and C. Boix-Fayos. 2012. Erosion, deposition and replacement of soil organic carbon in Mediterranean catchments: a geomorphological, isotopic and land use change approach. Bio Geosciences, 9: 1099-1111.
21. Lee, T.K. and H.M. Ro. 2014. Estimating soil water retention function from its particle-size distribution Geosciences Journal, 18: 219-230.
22. Rousseva, S.S. 1997. Data transformations between soil textureschemes European Journal of Soil Science, 48: 749-758.
23. SAS Institute. 2004. User's guide version 9.1: Statistics SAS Institute, Cary, NC.
24. Shiozawa, S. and G.S. Campbell. 1991. On the calculation of mean particle diameter and standard deviation from sand, silt, and clay fractions. Soil science, 152: 427-431.
25. Su, Y.Z., H.L. Zhao, W.Z. Zhao and T.H. Zhang. 2004. Fractal features of soilparticle size distribution and the implication for indicating desertification. Geoderma, 122: 43-49.
26. Tirgarsoltani, M.T., A.A. Zolfaghari, M. Gorji and M. Shorafa. 2012. Investigatepractical constraints functions ofdescribing soil particle size distribution.Journal of Soil andWater, 26: 67-76 (In Persian).
27. The Math Works, Inc. 2007. MATLAB: the language of technical computing. version 7.5.
28. Tirgarsoltani, M.T., M. Gorji, M.H. Mohammadi and H. Millan. 2014. Evaluation of models for description of wet aggregate size distribution from soils of different land uses. Soil Science Plant Nutrition, 60: 123-133.
29. Tyler, SW. and S.W. Wheatcraft. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Science Society of America Journal, 56: 362-369.
30. Tyler, SW. and S.W. Wheatcraft. 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation .Soil Science Society of America Journal, 53: 987-996.
31. Xiao, L., X. Sha, L. GuoBin and Z. Chao. 2014. Fractal features of soil profiles under different land use patterns on the Loess Plateau, China. Journal of Arid Land, 6: 550-560.
32. Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis Pearson Education, London, UK 663 pp.
33. Zhao, P., M. Shao and J. Zhuang. 2009. Fractal features of particle size redistributions of deposited soils on the dam farmlands. Soil Science, 174: 403-407.
34. Zhao, P. M. Shao and R. Horton. 2011. Performance of soil particle-size distribution Models for Describing Deposited Soils Adjacent to Constructed Dams in the China Loess Plateau Acta Geophysica, 59: 124-138.
35. Zolfaghari, A.A., M.T. Tirgarsoltani, M.R. Yazdani and E. Solimamni. 2014. Evaluation of efficiency models to describing soil particle size distribution Journal of Water and Soil, 45: 199-209 (In Persian).

.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]

Evaluation of Fractal Models in Describing Particle Size Distribution of Sediment (Case of study: Fooladmahale of Semnan)

Haniye Babrnejad Ziarat[1], Ali Asghar Zolfaghari[2], Mohammd Reza Yazdani[3], Ali Asghar Hashemi[4] and Mohamad Kia Kiyaniyan[5]

1, 3 and 5- M.Sc. Student, Associate Professor and Instructor, of Faculty of Desert science, Semnan University
2- Assistance Professor, of Faculty of Desert science, Semnan University, Semnan, Iran
4- Assistance professor, Natural Resources Research Center of Semnan
(Corresponding Author: azolfaghari@semnan.ac.ir)
Received: March 9, 2015 Accepted: April 11, 2016

Abstract

The objective of current study was to invstigate the accuracy of Tyler and Wheatcraft, Bird et al. and Kravchenko and Zhang fractal models in describing particle size distribution (PSD) of sediment in 14 successive check dams for two depths of 0-15 and 15-30 cm. Sediment PSD were determined in 28 samples using hydrometer method . The referred fractal models were fitted on sediments PSD data. Results indicated that there was no regular relationamong fractal dimensions insuccessive check dams. In addition, sediments transport from surroundingsoils was more observable in check dams. Two-parameter models of Bird et al. and Kravchenko and Zhang presented a better fit compared to one-parameter model of Tyler and Wheatcraft. The results of statistical analysis proved that the sigmoid function was able to describe the relation between fractal dimensions and clay, sand and silt percentage with a greater accuracy compared to the linear sigmoid function. Stepwise regressionanalysisdetermined astrong and significant correlation (R^2= 0.97**) between fractal dimensionobtained from Tyler and Wheatcraft modelwithclay and sandcontents. According the result of this study, the determination of sediment PSD is possible bymeasurement of clayandsand amount.

Keywords: Check Dams, Fractal Dimensions, Sigmoid Function

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.61]