

انتقال رسوب غیر چسبنده در سازه‌های سنگریزه‌ای با استفاده از مدل

تلفیقی یک بعدی و آنالیز ابعادی^۱

جمال محمد ولی سامانی و رضا فرشاد^۲

۱- چکیده:

در سالهای اخیر، سدهای پاره‌سنگی برای مدیریت حوزه و کنترل سیل مورد توجه قرار گرفته است. مزیت مهم این نوع سازه‌ها علاوه بر بخش هیدرولیکی، در سازگاری کامل آنها با طبیعت و محیط زیست است. جریانهای سیلابی معمولاً بار رسوب بالایی دارند و به علت طبیعت نفوذپذیری سد پاره‌سنگی از درون آن تراوش وجود خواهد داشت. در شرایطی که گرادیان جریان داخلی سد پاره سنگی بیش از مقدار بحرانی باشد رسوبات درون آن حرکت می‌کنند و انتقال خواهند یافت. اگر میزان انتقال رسوبات بیشتر از ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در پایین دست باشد رسوبگذاری و اگر کمتر باشد فرسایش اتفاق می‌افتد. لذا تعیین شرایط انتقال رسوب در این نوع سدها اهمیت دارد. با استفاده از رابطه انتقال رسوب در جریان آرام و مدل یک بعدی جریان، مدلی برای انتقال رسوب در جریانات متلاطم سنگدانه‌ای به دست آمد. در مدل پیشنهادی، ضریب معادله گرادیان بحرانی از راه آنالیز ابعادی به دست آمد. برای تعیین ضرایب مدل، از داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد. روی نمونه‌ای از سد پاره‌سنگی با مقطع مستطیل شکل به طول ۶۰۰ و ارتفاع و عرض ۳۰۰ میلی‌متر در فلوم آزمایشگاهی با استفاده از سنگدانه‌هایی به قطر متوسط ۱۴/۵ و ۲۱ میلی‌متر و رسوباتی به قطر متوسط ۰/۲۵۶، ۰/۳۶۲ و ۰/۵۱۲ میلی‌متر آزمایشهایی اجرا شد. محدوده دبیهای مورد استفاده بین ۵ تا ۱۳ لیتر بر ثانیه است. نتایج مدل، تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

۲- واژه‌های کلیدی:

انتقال رسوب، سدهای پاره‌سنگی، غیر چسبنده، هیدرولیک.

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد.

۲- به ترتیب دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس، تهران. تقاطع بزرگراههای جلال آل احمد و شهید دکتر چمران ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۴-۴۱۹۴۹۱۱ و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تربیت

$$q_c = E h i_c^{0.52}, \quad E = \left[\frac{g(nv)^{-0.77}}{27d^{-1.077}} \right]^{0.52}$$

(۲۱)

بحرانی در جریانات متلاطم در نظر گرفته می‌شود:

$$i_c = k_p (G_s - 1) g d s (\cos \theta \operatorname{tg} \phi - \sin \theta) \quad (۱۷)$$

که h معرف سطح مقطع جریان (برابر میانگین ارتفاع آب در دو طرف سد) و Q_c دبی بحرانی در واحد عرض است. با توجه به روابط انتقال رسوب در مجاری روباز، رابطه‌ی نمایی زیر برای انتقال رسوب در محیط‌های سنگدانه‌ای پیشنهاد می‌شود:

$$q_s = A \rho_s d_s \left[\frac{Q - Q_c}{Q_c} \right]^B \quad (۲۲)$$

که در آن واحد q_s (Kg/m/Sec) بوده و Q دبی در واحد عرض، B و A ضرایب ثابت می‌باشند که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شوند.

- آزمایشات

در آزمایشگاه هیدرولیک روی یک سد پاره‌سنگی به طول ۶۰۰ و ارتفاع و عرض ۳۰۰ میلیمتر آزمایش‌هایی برای تعیین گرادیان هیدرولیکی بحرانی و برآورد میزان انتقال رسوب اجرا شد. این نمونه داخل یک فلوم به طول ۱۰ متر با شیب کم و دبی قابل تنظیم ساخته شد. در بالادست نمونه، دستگاه تزریق رسوب قرار داده شد. با استفاده از روزنه‌ای که در لوله ورودی به فلوم قرار داشت و با روش حجمی کالیبره شده بود، دبی اندازه‌گیری شد. در آزمایش‌ها، کنترل پایین دست جریان با استفاده از سرریزی صورت می‌گرفت که

که ضریب k_p به نوع جریان، آرام یا متلاطم بودن بستگی دارد. مقدار این ضریب در جریان آرام ثابت و در جریان متلاطم متغیر و تابعی است از $tg(\phi - \theta)$ ، d_s ، v ، n ، d ، V_b که سرعت تراوش داخل محیط سنگریزه‌ای است. با استفاده از آنالیز ابعادی و داده‌های آزمایشگاهی پارامترهای بدون بعد تابع k_p به دست می‌آیند.

$$k_p = f\left(\frac{V_b d}{nv}, \frac{d}{d_s}, \operatorname{tg}(\phi - \theta)\right) \quad (۱۸)$$

با الهام گرفتن از رابطه داری - ویسباخ رابطه i و V در جریان متلاطم محیط پاره‌سنگی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$h_f = f \frac{l V^2}{d 2g} \Rightarrow \frac{h_f}{l} = i = \frac{f V^2}{d 2g} \quad (۱۹)$$

و عدد رینولدز در محیط‌های پاره‌سنگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_e = \frac{V_b d}{nv} \quad (۲۰)$$

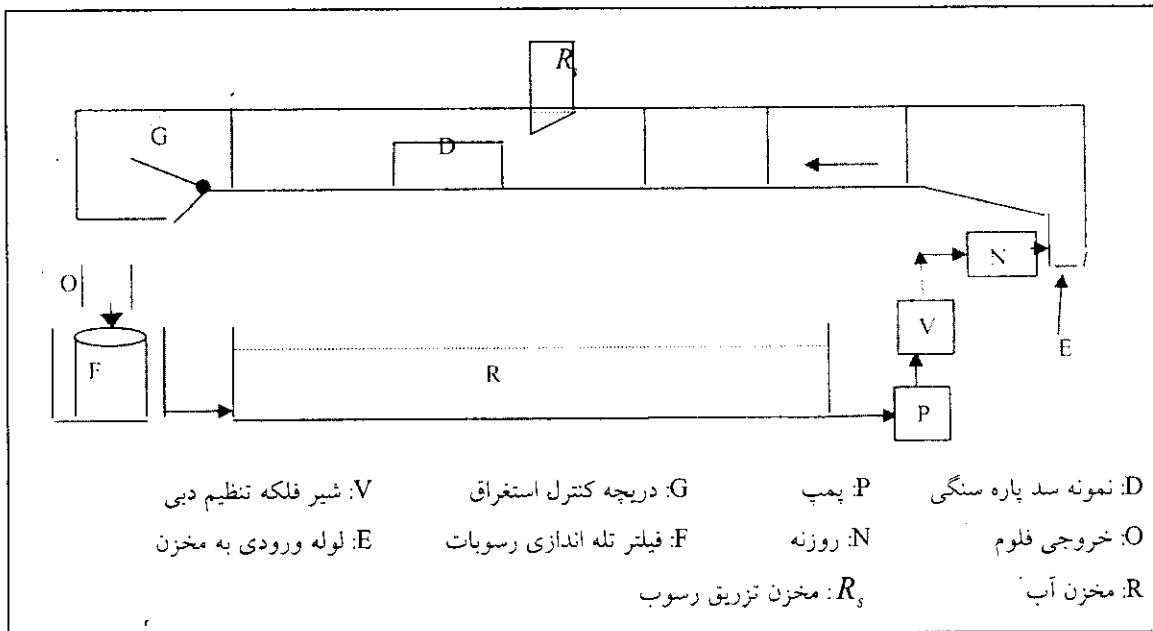
با استفاده از روابط شماره ۹، ۱۹ و ۲۰، رابطه‌ی نمایی بین دبی بحرانی و گرادیان هیدرولیکی بحرانی به صورت زیر به دست می‌آید:

شیب از دو اندازه یکنواخت محیط سنگدانه‌ای ۲۱ میلیمتر و ۱۴/۵ میلیمتر و سه اندازه یکنواخت رسوبی ۰/۲۶۵، ۰/۳۶۲، ۰/۵۱۲ میلیمتر استفاده شد.

در وهله بعد، برای تعیین میزان انتقال رسوب آزمایش‌هایی انجام گرفت. این آزمایش‌ها از گرادیان هیدرولیکی کم شروع شد و پس از اینکه جریان به حالت پایدار درآمد عمق بالادست و پایین‌دست اندازه‌گیری و آن‌گاه رسوب از بالادست تزریق و دقت شد تا مشخص شود آیا رسوب از درون بدنه سد عبور می‌کند یا خیر. با تغییر دبی و سرریز لولایی پایین‌دست گرادیان هیدرولیکی مرتباً افزایش یافت، عمق اندازه‌گیری و رسوب تزریق شد و این کار تا آنجا ادامه یافت که رسوب از بدنه سد عبور کند یعنی به گرادیان هیدرولیکی بیشتر از گرادیان هیدرولیکی بحرانی رسیده باشد. این آزمایش‌ها در سه شیب ۰/۰، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۱ انجام گرفت. در هر شیب از پنج دبی و گرادیان متفاوت استفاده شد.

در انتهای فلوم قرار داشت. برای به دست آوردن میزان انتقال رسوب، همه رسوبات انتقال یافته به پایین دست جمع آوری و پس از خشک شدن توزین شدند.

ابتدا برای تعیین گرادیان هیدرولیکی بحرانی آزمایش‌هایی انجام گرفت. این آزمایش‌ها از گرادیان هیدرولیکی کم شروع شد و پس از اینکه جریان به حالت پایدار درآمد عمق بالادست و پایین‌دست اندازه‌گیری و آن‌گاه رسوب از بالادست تزریق و دقت شد تا مشخص شود آیا رسوب از درون بدنه سد عبور می‌کند یا خیر. با تغییر دبی و سرریز لولایی پایین‌دست گرادیان هیدرولیکی مرتباً افزایش یافت، عمق اندازه‌گیری و رسوب تزریق شد و این کار تا آنجا ادامه یافت که رسوب از بدنه سد عبور کند یعنی به گرادیان هیدرولیکی بیشتر از گرادیان هیدرولیکی بحرانی رسیده باشد. این آزمایش‌ها در سه شیب ۰/۰، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۱ انجام گرفت. در هر



شکل شماره ۱- شمای دستگاه آزمایش

- واسنجی و ارزیابی دقت مدل

با همان ۵۰ درصد داده‌هایی که در استخراج ضرایب k_p استفاده شده بود، واسنجی رابطه شماره ۲۲ با استفاده از بهینه‌سازی غیر خطی انجام شد. شکل رابطه شماره ۲۲ و ضرایب آن در زیر نشان داده شده است:

$$q_s = 43.376 \rho_s d_s \left(\frac{Q - Q_c}{Q_c} \right)^{0.495} \quad (24)$$

نتایج رابطه شماره ۲۴ با مقادیر مشاهده‌ای

مقایسه شد. شکل شماره ۳ دقت مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

با استفاده از رابطه شماره ۲۴، برای ۵۰ درصد

از داده‌هایی که در استخراج ضرایب معادله شماره

۲۴ استفاده نشده بود، دبی رسوب به دست آمد

و نتایج محاسباتی با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد.

شکل شماره ۴ دقت روش انتخاب شده برای تعیین

مقدار انتقال رسوب را نشان می‌دهد.

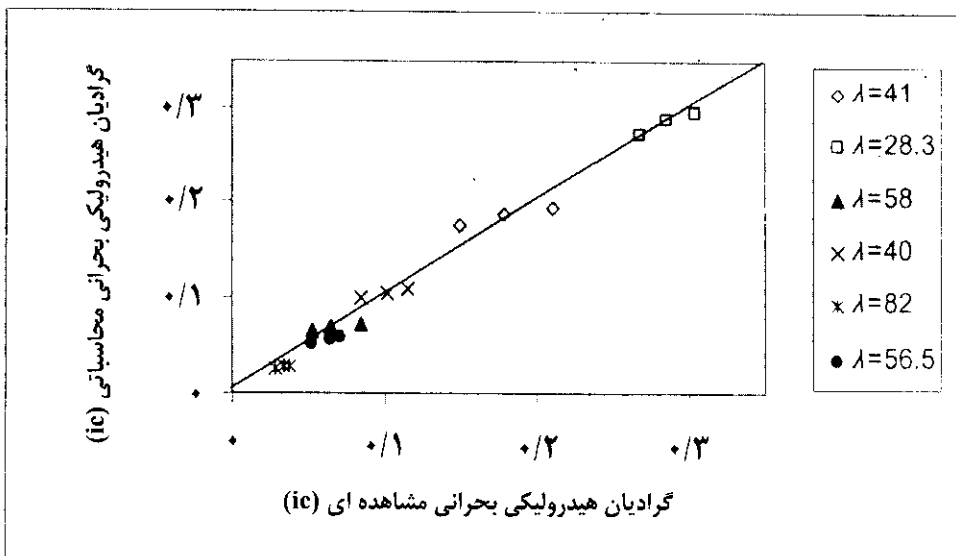
با استفاده از ۵۰ درصد داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های گرادیان هیدرولیکی بحرانی و در نظر گرفتن روابط شماره ۱۷ و ۱۸، واسنجی انجام شد. در واسنجی، تابع k_p انتخاب و از طریق بهینه‌سازی غیرخطی بهترین شکل تابع به دست آمد که حداقل اختلاف بین مدل و داده‌های آزمایشگاهی را می‌دهد. شکل نهایی رابطه شماره ۱۷ این گونه است:

شکل شماره ۲ نتایج آزمایش‌های گرادیان هیدرولیکی بحرانی را به تفکیک نسبت اندازه ذرات نشان می‌دهد.

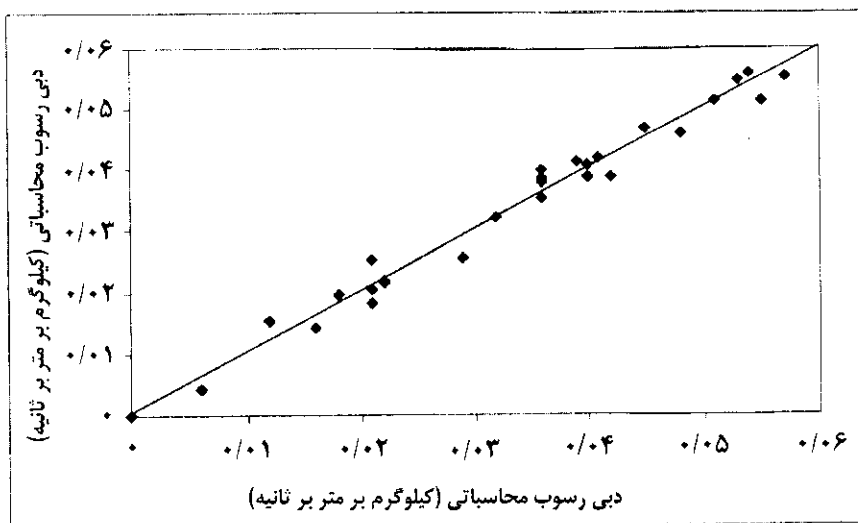
$$i_c = 4 \left(\frac{v_b d}{n v} \right)^{0.1048} \left(\frac{d}{d_s} \right)^{-0.34}$$

$$(tg(\phi - \theta))^3 (G_s - 1) \\ gd(\cos \theta tg \phi - \sin \theta)$$

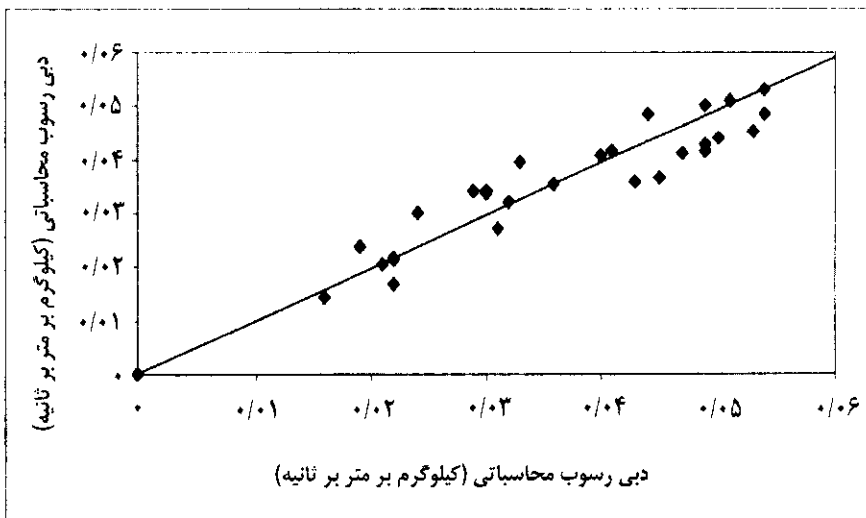
(۲۳)



شکل شماره ۲- مقایسه نتایج آزمایش‌های گرادیان هیدرولیکی بحرانی مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه شده



شکل شماره ۳- مقایسه دبی رسوب محاسباتی با مشاهده‌ای برای واسنجی



شکل شماره ۴- مقایسه دبی رسوب محاسباتی با مشاهده‌ای برای ارزیابی دقت مدل

۴- نتیجه‌گیری:

توان رابطه جریان ورقه‌ای، مدل جدیدی ارائه شد. در آنالیز ابعادی، ضریب معادله گرادیان بحرانی (تابع k_p) به عنوان تابعی از پارامترهای بی بعد تعیین و با استفاده از بهینه‌سازی غیر خطی، بهترین تابع با حداقل اختلاف با داده‌های آزمایشگاهی برای آن مشخص شد. با استفاده از رابطه شماره ۲۱، دبی بحرانی محاسبه و در پایان از معادله شماره ۲۴ برای تعیین مقدار رسوب در محیط متخلخل استفاده شد.

مدل مشابه جریان ورقه‌ای که توسط ساکتیوادپول انتخاب گردید. با توجه به اینکه جریان متلاطم در شکل حرکت سیال و انتقال ذرات رسوب در محیط متخلخل با خلل و فرج بزرگ تفاوتی با جریان ورقه‌ای دارد، لذا لازم است عوامل مؤثر در حرکت ذرات رسوبی داخل محیط متخلخل لحاظ شود. با آنالیز ابعادی، عوامل مؤثر تعریف و با تغییر

ضرایب معادله مذکور با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و بهینه سازی مشخص شد. نتایج مدل خوبی را نشان داد.

پیشنهادی، در مقایسه با داده‌های واقعی، تطابق

۵- منابع:

- 1- Eurgun, S. 1952. Fluid flow through packed columns. Chem. Eng. Progress. 48 (2), 90-98.
- 2- Joy, D. M., Lennox, W. C. and Kouwen, N. 1991. Particulate transport in porous media under non-linear flow condition. J. of Hydraulic Res. 29 (3), 373-385.
- 3- Li, B., Garga, V. K. and Davis, M. H. 1998. Relationship for non-darcy flow in rockfill. J. of Hydraulic Eng. 124 (2), 206-212.
- 4- Maeno, S., Michioku, K., Morinaga, S. and Ohnishi, T. 2003. Hydraulic characteristics of a rubble mound weir and its failure process. Annual J. of Hydraulic Eng. JSCE. 57, 302-308.
- 5- McCorquodal, J. A., Hannoura, A. A. and Nasser, M. S. 1978. Hydraulic conductivity of rockfill. J. of Hydraulic Res. 16 (2), 123-137.
- 6- Meyer, L. D., Foster, G. R. and Nikolov, S. 1975. Effect of flow and canopy on rill erosion. Trans. of the ASCE. 18(5), 905-911.
- 7- Michioku, K., Maeno, S., Furusawa, T. and Haneda, M. 2003. Discharge through a permeable rubble mound weir. Annual J. of Hydraulic Eng. JSCE. 55, 391-396.
- 8- Sakthivadivel, R. 1972. Sediment transport through a porous column, In: Shen, H. W., (Ed.) Sedimentation.
- 9- Samani, H. M. V., Samani, J. M. V. and Shaiannejad, M. 2003. Reservoir routing using steady and unsteady flow through rockfill dams. J. of Hydraulic Eng. 129 (6), 448-454.
- 10- Schachli, U. 1995. Basic equation for siltation of riverbed. J. of Hydraulic Eng. 121 (3), 274-287.
- 11- Stephansen, D. 1976. Rockfill in hydraulic engineering. Elsevier Science Publisher, New York, USA.
- 12- Ward, J. C. 1964. Turbulent flow in porous media. J. of Hydraulic Eng. 92 (4), 1-12.

- 13- Wu, P. C. 1993. Stochastic modeling of sediment intrusion into gravel bed. PhD thesis, University of California. Berkeley. California.
- 14- Wu, F. C. and Huang, H. T. 2000. Hydraulic resistance induced by deposition of sedimentation in porous medium. J. of Hydraulic Eng. 126 (7), 547-551.

Non-Cohesive Sediment Transport Capacity in Detention Rockfill Using a Combined 1D Model and Dimensional Analysis

J. M. V. Samani and R. Farshad

Pure rockfill dams have been found specific attention in watershed management and flood control, recently. In addition to hydraulic specific features, one of the important advantages of these structures is their consistency with nature and environment. Normally, floods are accompanied with high sediment loads which may enter the body of dam. When flow through dam body governed by hydraulic gradient higher than the critical one, sediment will pass through and be transported downstream the dam. If sediment load transported through rockfill dam is more than sediment transport capacity of downstream channel, then erosion may occur downstream and if less, excess sediment load will be settled down. Therefore, it is important to determine sediment transport capacity of flow through rockfill dams before building them. For this purpose a 1-D model for flow through rockfill dam accompanied with sediment transport relationship in coarse porous media (rockfill) has been developed. The rockfill dam used in the experiments was consisted of a rectangular block of 600 mm long, 300 mm wide and 300 mm high. The experiments were conducted for two d_{50} rockfill (14.5 and 21mm) three d_{50} sediment sizes (0.256, 0.362 and 0.512 mm) d_{50} , and five flow rates (5 to 13 l/sec). The referred relationship includes some coefficients related to the rockfill media and its flow turbulence which need to be identified. In this regard, experiments have been conducted. The results of the model compared to the observed experimental data have been shown to be reliable.

Keywords: Hydraulic, Non-Cohesive, Rockfill Dams, Sediment Transport.