

انتقال رسوب غیر چسبنده در سازه‌های سنگریزه ای 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 جریان 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 دیبهای مورد استفاده بین ۵ تا ۱۳ لیتر بر ثانیه است. نتایج مدل، تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

۲- واژگان 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: ۴-۱۹۴۹۱۱ و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس



۳- پیشگفتار:

است. به هنگام سیل، حمل مواد رسوبی افزایش پیدا می‌کند و به علت طبیعت نفوذپذیر سد پاره‌سنگی، از درون آن تراوش قابل توجهی وجود خواهد داشت. اگر گرادیان هیدرولیکی بیشتر از گرادیان هیدرولیکی بحرانی باشد، رسوبات از سد خارج می‌شود و در غیر این صورت آب حاوی رسوب کم از سد خارج شده که به علت افزایش ظرفیت انتقال رسوب جریان، در پایین دست فرسایش دیده می‌شود. برای جلوگیری از خطرهای یا به حداقل رساندن خسارات ناشی از فرسایش یا رسوبگذاری، باید میزان رسوب انتقالی را مطالعه کرد. بسیاری از محققان در جستجوی رابطه‌ای بین مشخصات محیط متخلخل و روابط جریان - بار برای محیط بوده‌اند. برای جریان ورقه‌ای از محیط متخلخل، داریسی معادله زیر را پیشنهاد کرد:

$$V=Ki \quad (1)$$

که در آن K کمیت ثابت بعد دار وابسته به واحدهای به کار رفته برای محیط است و ضریب نفوذپذیری نام دارد. i نیز از رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود.

$$i = \frac{CvW}{gd_s^2 n} \quad (2)$$

که در آن d_s بعد دانه معرف، C ثابت بدون بعد و V سرعت ظاهری $\left(\frac{Q}{A}\right)$ ، لزوجت سینماتیکی مایع، g شتاب ثقل، n تخلخل، A سطح مقطع و Q دبی جریان است.

در چند سال اخیر، سدهای پاره‌سنگی برای تسکین و تأخیر سیل در حوزه‌های آبریز مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. در شرایطی که سدهای نفوذپذیر می‌تواند جایگزین سدهای نفوذناپذیر باشد جریان طبیعی رودخانه قطع نمی‌شود و به علت اثر تصفیه خودکار آب رودخانه، اکوسیستم محیط حفظ خواهد شد.

نگارندگان مقاله اعتقاد راسخ دارند که مزیت با ارزش این نوع سازه‌ها علاوه بر بخش هیدرولیکی، سازگاری کامل آنها با طبیعت و محیط زیست است. این سدها به علت بدنه نفوذپذیرشان مواد فیزیکی و شیمیایی را عبور می‌دهند و بدین ترتیب روی ساختار محیطی رودخانه و اکوسیستم آبریزان کمترین اثر منفی را دارند. با توجه به موارد ذکر شده، دانشمندان در حال حاضر روی خصوصیات سازه و روابط هیدرولیکی و تعامل آن با محیط زیست مطالعه می‌کنند که از آن جمله می‌توان به کارهای (Maeno, 2003) و (Michioku, 2003) اشاره کرد.

از علل دیگر استفاده از سدهای پاره‌سنگی، فراوانی و قابلیت دسترسی سنگ و دوام آن است. برای کنترل سیلاب، از سد پاره‌سنگی به عنوان سد تأخیری نیز استفاده می‌شود. سد پاره‌سنگی طبق تعریف سد از نوع خاکریز است که بیش از ۵۰ درصد حجمی آن را پاره‌سنگهای حاصل از معدن سنگ یا حفاری یا قلوه‌سنگهای حاصل از خردشدگیهای طبیعی تشکیل می‌دهد. یکی از خصوصیات سد پاره‌سنگی به عنوان سد تأخیری، کاهش نقطه اوج سیل به همراه تأخیر در بعد زمانی

$$f = \frac{800}{R_e} + k_f \quad (5)$$

که در آن f ضریب اصطکاک و در حقیقت تابعی از عدد رینولدز، R_e عدد رینولدز، و k_f ضریب اصطکاک جریان متلاطم است که برای جریان مغشوش ($K \cong k_f$) و برای جریان آرام صفر است. جریان آرام در محیط ریز دانه صورت می‌گیرد و عدد رینولدز در آن بسیار پایین است (در حدود $10 \leq R_e$)؛ بالای آن در محدوده جریان متلاطم قرار می‌گیرد و دیگر معادله داری حاکم نخواهد بود. جوی (۱۹۹۱) با مرتبط دانستن گرادیان هیدرولیکی با d_{10} مواد محیط سنگدانه‌ای رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$i = 11d_{10}^{-1.12}V + 256d_{10}^{-1.34}v^2 \quad (6)$$

در این معادله، d_{10} قطری از ذرات است که ده درصد ذرات از آن کوچکترند. لی و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی هانسن که روی سنگدانه‌هایی با قطر ۱/۶ تا ۴ سانتیمتر انجام شده بود رابطه زیر را پیشنهاد کردند:

$$f = \frac{98}{R_e} + 3 \quad (7)$$

که فرم نمایی آن به شکل زیر است:

$$f = 8.75R_e^{-0.017} \quad (8)$$

سامانی و همکاران (۲۰۰۳) رابطه زیر را برای حالت یک بعدی ارائه دادند:

اما به علت وجود جریان متلاطم در بدنه سد پاره سنگی، امکان استفاده از قانون داری و وجود ندارد و باید از هیدرولیک جریان متلاطم استفاده کرد. بنابراین، محققان روابطی را برای هیدرولیک جریان متلاطم ارائه دادند که به برخی از آنها در زیر اشاره می‌شود.

ارگان (۱۹۵۲) رابطه دو جمله‌ای زیر را برای جریان در محیطهای سنگدانه‌ای پیشنهاد کرد:

$$i = 150 \frac{(1-n)^2 v}{gn^3 d^2} V + 1.75 \frac{(1-n)}{gdn^3} V^2 \quad (3)$$

که در آن i گرادیان هیدرولیکی، n تخلخل محیط سنگدانه‌ای، V سرعت جریان، g شتاب ثقل، d قطر ذرات تشکیل دهنده محیط سنگدانه‌ای، و v لزوجت سینماتیک سیال است.

وارد (۱۹۶۴) نیز رابطه‌ای مشابه رابطه ارگان برای گرادیان هیدرولیکی پیشنهاد کرد و مک کورکودال و همکاران (۱۹۷۸) رابطه دو جمله‌ای زیر را ارائه دادند:

$$i = \frac{70v}{gnR_h^2} V + \frac{0.81}{gn^{0.5}R_h} V^2 \quad (4)$$

در این رابطه، R_h شعاع هیدرولیکی محیط سنگدانه‌ای است که از رابطه $ed/6$ به دست می‌آید و e نسبت پوکی محیط متخلخل است. استفانسن (۱۹۷۶) رابطه بین ضریب افت اصطکاک (ضریب داری - ویسباخ) و عدد رینولدز را به صورت رابطه کسری زیر بیان کرد:

$$f = 54R_e^{-0.077} \quad (9)$$

متخلخل در حالت جریان آرام ارائه داد:

$$q_s = k'_{sak} d_s \rho_s \left(\frac{i}{i_c} \right) \left(\frac{i - i_c}{i_c} \right) \quad (11)$$

که در آن، q_s میزان انتقال رسوب، ρ_s چگالی ذرات رسوب، و k'_{sak} ضریب ثابت است. جوی و همکاران با استفاده از اصول آنالیز ابعادی، چهار پارامتر بدون بعد را برای انتقال ذرات رسوبی غیرچسبنده در حالت متلاطم استخراج کردند و با آزمایش‌هایی ضرایب این پارامترها را به دست آوردند.

$$q_* = 26.2(R_e)^{-1.23} (\lambda_d)^{0.54} (S_p)^{-1.39} \quad (12)$$

محدوده این آزمایش‌ها در $180 < R_e < 940$ ، $0.09 < S_p < 0.6$ و $13.9 < \lambda < 91.7$ بوده است.

در این روابط، q_* پارامتر بدون بعد انتقال رسوبات، R_e عدد رینولدز محیط متخلخل، V_b سرعت درون محیط متخلخل (به دست آمده از تقسیم دبی بر میانگین سطح مقطع ورودی و خروجی محیط متخلخل)، λ_d نسبت اندازه ذرات محیط متخلخل به ذرات رسوبی، و S_p پارامتر بدون بعد شیب است.

چنان‌که رابطه‌ای را برای میزان تغییرات هدایت هیدرولیکی با رسوبگذاری رسوبات غیرچسبنده به صورت زیر ارائه داد:

که در آن، f ضریب افت اصطکاکی (ضریب دارسی - ویسباخ) است.

ساکنیوادیول (۱۹۷۲) اولین کسی بود که حرکت رسوبات را از درون محیط متخلخل در حالت جریان آرام با در نظر گرفتن تأثیرات وزن ذره بررسی کرد. وی رابطه شماره ۱۰ را برای گرادیان هیدرولیکی بحرانی ارائه داد. گرادیان هیدرولیکی بحرانی آستانه انتقال رسوب را نشان می‌دهد به طوری که اگر مقدار گرادیان کمتر از آن باشد رسوبگذاری و اگر بیش از آن باشد فرسایش اتفاق می‌افتد.

$$i_c = 2k'_c (G_s - 1) g d_s (\cos \theta \sin \phi - \sin \theta) \quad (10)$$

در این معادله، i_c گرادیان هیدرولیکی بحرانی (بدون بعد)، k'_c ضریب ثابت که از آزمایش‌ها به دست می‌آید، G_s چگالی نسبی ذرات رسوب (بدون بعد)، d_s قطر ذرات رسوبی، θ زاویه کف نسبت به افق (بر حسب درجه)، ϕ زاویه ایستایی رسوبات داخل محیط متخلخل (بر حسب درجه) است. این محقق با در نظر گرفتن $N-1$ لایه رسوبی متحرک و با فرض خطی بودن توزیع سرعت و با استفاده از معادله نیروهای وارد بر یک ذره رسوبی، معادله زیر را برای انتقال رسوبات غیر چسبنده در محیط‌های

بدون بعد سرعت نشت (برابر با $\frac{q}{K_0}$)، و q دبی در واحد سطح است.

با توجه به تحقیقات نتیجه‌گیری می‌شود که انتقال رسوب از درون محیط متخلخل در شرایط جریان متلاطم فقط به کاهش نفوذپذیری ناشی از رسوبگذاری رسوبات غیرچسبنده اشاره دارد و از شرایط بحرانی رسوبگذاری بحثی به میان نیامده است. در میان این تحقیقات، تحقیقات جوی و همکاران بیشترین شباهت را به شرایط سدهای پاره‌سنگی دارد. در تحقیقات گذشته در زمینه شرایط بحرانی رسوبگذاری بحثی نشده است. شرایط بحرانی رسوبگذاری شرایط هیدرولیکی داخل محیط پاره‌سنگی است که موجب انتقال ذرات و پایین تر از آن باعث رسوبگذاری می‌شود. از طرف دیگر، اعداد رینولدز به دست آمده در تحقیقات گذشته فقط شرایط بحرانی را تأمین می‌کند یعنی تا حدی هستند که جریان متلاطم است ولی محدوده آن خیلی کمتر از محدوده عدد رینولدز در سدهای پاره‌سنگی است. بنابراین، برای به دست آوردن روابطی که در سدهای پاره‌سنگی معتبر باشد، روابطی ارائه خواهد شد و با استفاده از نتایج آزمایش‌های اجرا شده در این تحقیق ضرایب معادلات استخراج می‌شود.

– مبانی تئوری

با توجه به رابطه شماره ۱۰ و با فرض حاکم بودن رابطه نمایی بر گرادیان هیدرولیکی بحرانی در جریان‌ات متلاطم، رابطه زیر برای گرادبان هیدرولیکی

$$\frac{K(\sigma)}{K_0} = f(\sigma) = (5.625) \quad (13)$$

$$\frac{[0.4 - (5\sigma/3)]^3}{[0.6 + (5\sigma/3)]^2} + (R_{15})^2 \left(\frac{\sigma}{0.24} \right)$$

که در آن، σ رسوب ویژه (نسبت حجم رسوبات انباشته شده در قسمتی از محیط متخلخل به کل حجم آن قسمت)، $K(\sigma)$ هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل پس از رسوبگذاری، R_{15} نسبت d_{15} رسوبات به مصالح تشکیل دهنده محیط متخلخل، و K_0 هدایت هیدرولیکی اولیه است. چنان‌که رابطه زیر را برای تغییرات هدایت هیدرولیکی در اثر توزیع ناگهانی رسوب ارائه داد:

$$K(\sigma_s) = \frac{gL}{v \sqrt{\beta^2 + \frac{2g\Delta H}{v} r' \sigma_s}} \quad (14)$$

که در آن، $K(\sigma_s)$ هدایت هیدرولیکی نهایی بعد از توزیع رسوب و $r' \sigma_s$ با ابعاد $[TL^{-2}]$ است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r' \sigma_s = \exp(0.13X^3 - 2.26X^2 + 4.49X + 22.41) \quad (15)$$

$$X = R_s^{-1.89} I^{0.13} V_s^{-1.71} \quad (16)$$

در دو رابطه بالا، R_s نسبت d_{15} مواد تشکیل دهنده محیط متخلخل به d_{85} مواد رسوبی و I پارامتر بدون بعد غلظت (برابر با C_i/ρ_s)، C_i غلظت رسوبات، ρ_s چگالی ذرات رسوبی، و V_s پارامتر

$$q_c = E h i_c^{0.52} \quad , \quad E = \left[\frac{g(nv)^{-0.77}}{27d^{-1.077}} \right]^{0.52} \quad \text{بحرانی در جریانات متلاطم در نظر گرفته می شود:}$$

$$(21) \quad i_c = k_p (G_s - 1) g d_s (\cos \theta \operatorname{tg} \varphi - \sin \theta) \quad (17)$$

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:

$$q_s = A \rho_s d_s \left[\frac{Q - Q_c}{Q_c} \right]^B \quad (22)$$

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 روزه‌ای 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 $tg(\varphi - \theta), d_s, v, n, d, V_b$ که سرعت تراوش داخل محیط سنگریزه‌ای است. با استفاده از آنالیز ابعادی و داده‌های آزمایشگاهی پارامترهای بدون بعد تابع k_p به دست می‌آیند.

$$k_p = f\left(\frac{V_b d}{nv}, \frac{d}{d_s}, \operatorname{tg}(\varphi - \theta)\right) \quad (18)$$

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

$$h_f = f \frac{l V^2}{d 2g} \Rightarrow \frac{h_f}{l} = i = \frac{f V^2}{d 2g} \quad (19)$$

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

$$R_e = \frac{V_b d}{nv} \quad (20)$$

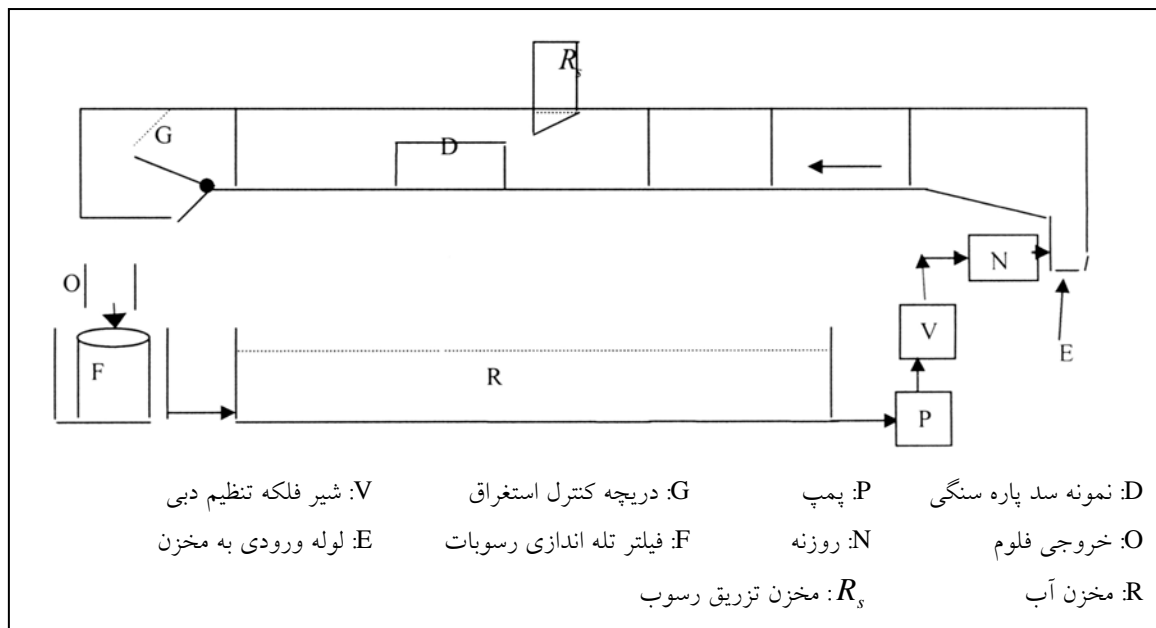
با استفاده از روابط شماره ۹، ۱۹ و ۲۰، رابطه‌ی نمایی بین دبی بحرانی و گرادیان هیدرولیکی بحرانی به صورت زیر به دست می‌آید:

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 اجرا شد. در این آزمایش‌ها پس از رسیدن جریان به حالت پایدار، عمق آب بالادست و پایین‌دست اندازه‌گیری و سپس از بالادست رسوب تزریق شد و همزمان با شروع تزریق زمان‌سنج نیز به کار انداخته شد. پس از اینکه جریان رسوب از درون سد پاره‌سنگی به حالت پایدار رسید، زمان سنج و تزریق رسوب متوقف شد. پس از تخلیه آب درون فلوم رسوبات عبوری از نمونه جمع‌آوری و پس از خشک شدن توزین شدند. این آزمایش‌ها در سه شیب ۰/۰، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۱ انجام گرفت که 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 پایین‌دست جمع‌آوری 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:

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

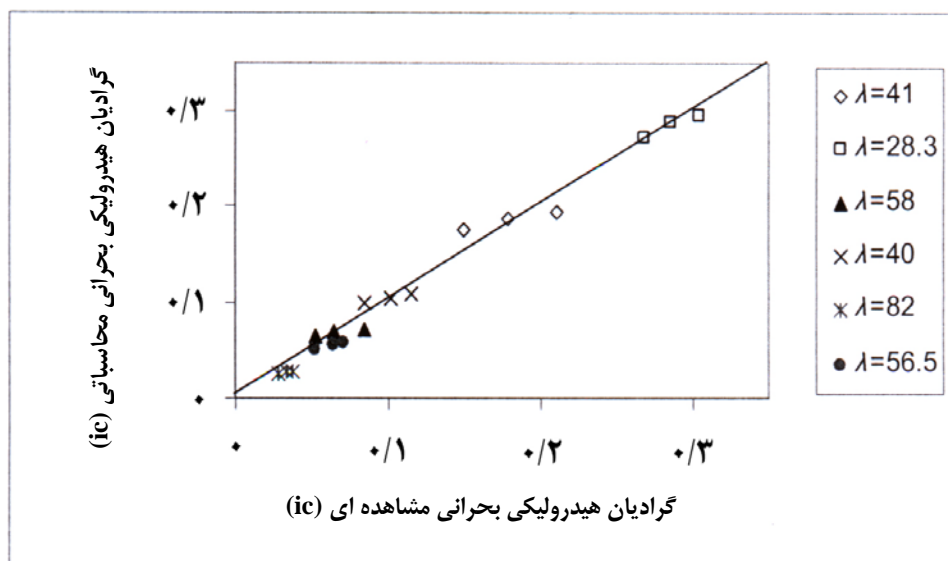
نتایج رابطه شماره ۲۴ با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد. شکل شماره ۳ دقت مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

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.

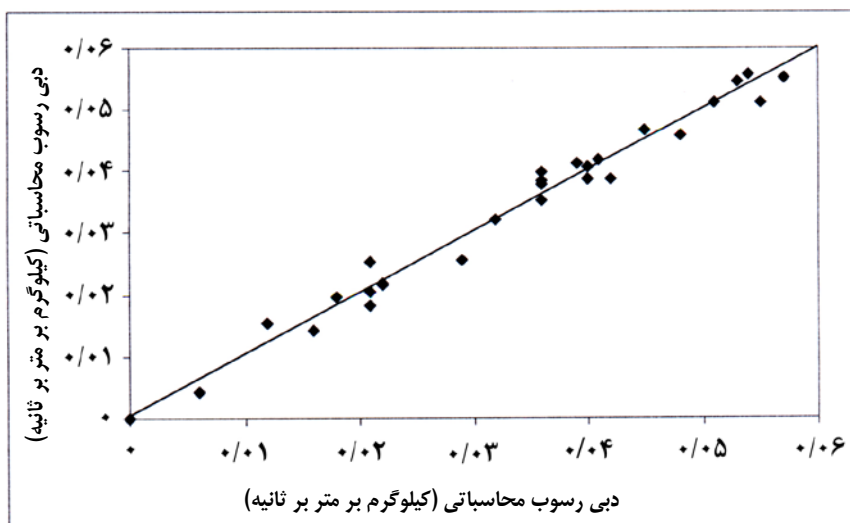
با استفاده از ۵۰ درصد داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های گرادیان هیدرولیکی بحرانی و در نظر گرفتن روابط شماره ۱۷ و ۱۸، واسنجی انجام شد. در واسنجی، تابع k_p انتخاب و از طریق بهینه‌سازی غیرخطی بهترین شکل تابع به دست آمد که حداقل اختلاف بین مدل و داده‌های آزمایشگاهی را می‌دهد. شکل نهایی رابطه شماره ۱۷ این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

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

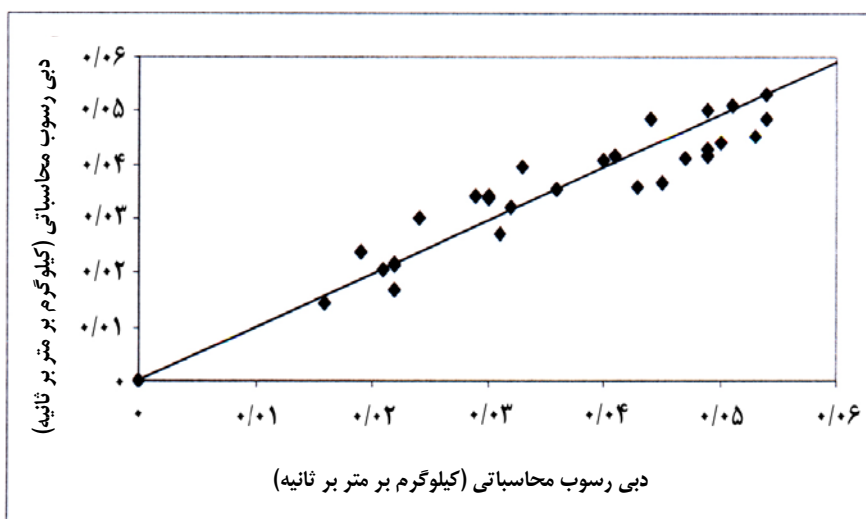
$$i_c = 4 \left(\frac{v_b d}{n v} \right)^{0.1048} \left(\frac{d}{d_s} \right)^{-0.34} (tg(\phi - \theta))^3 (G_s - 1) gd(\cos \theta tg \phi - \sin \theta) \quad (23)$$



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 پیشنهادی، در مقایسه با داده‌های واقعی، تطابق آزمایشگاهی و بهینه سازی مشخص شد. نتایج مدل خوبی را نشان داد.

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, F. 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.