

رسوبشویی تحت فشار با توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن سد

سهیلا توفیقی^۱، جمال محمد ولی سامانی^{۲*}، سید علی ایوب زاده^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

samani_j@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۰

چکیده- در حال حاضر سدهای مخزنی متعددی در دنیا، به دلیل حجم زیاد رسوبات در مخزن آنها و به ویژه در اطراف آبگیرها، با مشکلات بهره‌برداری روبه‌رو است. در این میان رسوبشویی تحت فشار به عنوان یک روش موثر برای خارج کردن رسوبات انباشته شده در پشت سد که محل جانمایی دریچه‌ها و توربین‌ها می‌باشد برای حل این مشکل مطرح شده است. اما در این نوع رسوبشویی رسوب‌های مجاور دریچه‌های تخلیه کننده به شکل موضعی حذف می‌شوند و میزان گسترش حد تأثیر آن محدود است، از طرفی از آنجایی که اتلاف آب در این روش نسبتاً پایین است، بنابراین ارائه یک راهکار مناسب برای افزایش حد تأثیر فرآیند رسوبشویی تحت فشار می‌تواند گامی برای افزایش عمر سد و همچنین نجات آبگیرها با کمترین اتلاف آب باشد. در این پژوهش، به بررسی آزمایشگاهی تأثیر توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن بر روی حجم و ابعاد مخروط رسوبشویی به عنوان یک راهکار پرداخته شده است. آزمایش‌ها با عمق و دبی‌های مختلف جریان در طول‌های مختلف توسعه مجرا، طراحی و انجام شد. نتایج پژوهش‌های اولیه نشان می‌دهد، که توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن تأثیر مثبت و محسوس بر ابعاد مخروط رسوبشویی دارد، به گونه‌ای که توسعه مجرا به میزان نسبی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ برابر ارتفاع رسوب‌ها در مخزن باعث افزایش حجم مخروط رسوبشویی به طور متوسط، به میزان ۵۰، ۷۴ و ۹۶ درصد نسبت به حالت بدون توسعه مجرا می‌شود. همچنین با آنالیز ابعادی پارامترهای موثر روابط بدون بعدی با قدرت تخمین بالا برای تخمین ابعاد مخروط رسوبشویی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: رسوبشویی تحت فشار، مدل فیزیکی، توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی، حد تأثیر رسوبشویی، آنالیز ابعادی.

۱- مقدمه

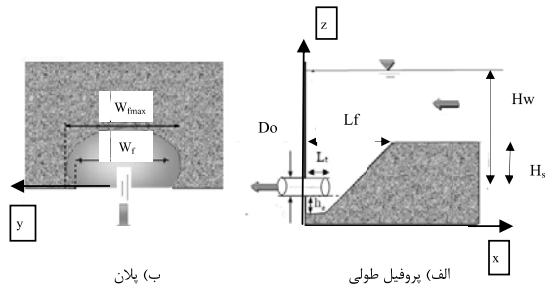
رسوبشویی هیدرولیکی، استفاده از سیستم کنار گذر برای جریان‌های غلیظ، دفع رسوب‌های مخزن بوسیله ادوات مکانیکی مانند لایروبی و سیفون کردن اشاره نمود. انتخاب گزینه نهایی کنترل رسوب‌های مخزن باید بر اساس

برای رفع مشکل رسوب‌گذاری از تکنیک‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود که از جمله می‌توان به عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک، عبوردهی جریان غلیظ،

روش رسوبشویی تحت فشار به عنوان روشی مناسب برای حذف رسوبها انتخاب می‌شود باید در نظر داشت که در این نوع رسوبشویی، رسوبهای مجاور دریچه‌های تخلیه کننده به صورت موضعی حذف می‌شوند و میزان گسترش حد تأثیر آن محدود است. از طرفی از آنجایی که اتلاف آب مخزن در این روش نسبتاً پایین است، پس ارائه یک راهکار مناسب برای افزایش حد تأثیر فرآیند رسوبشویی تحت فشار می‌تواند گامی برای افزایش عمر سد با کمترین اتلاف آب باشد. بنابراین در این پژوهش به ارائه یک راهکار نوین برای افزایش عملکرد فرآیند رسوبشویی تحت فشار پرداخته شده است. مطالعات آزمایشگاهی مختلفی در زمینه رسوبشویی تحت فشار انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات لای و چانگ [۴]، اسپورلین و همکاران [۵]، طالب بیدختی و نقشینه [۶]، صالحی نیشابوری و همکاران [۷]، امامقلی زاده [۸] و دولس و همکاران [۹] اشاره کرد. از مطالعه تحقیقات ذکر شده چنین استنباط می‌شود که جهت گیری آن‌ها بیشتر به سمت شناخت بهتر فرآیند رسوبشویی تحت فشار و شناخت پارامترهای هیدرولیکی موثر و میزان تأثیر آن‌ها بر این فرآیند بوده است و پژوهش‌های معدودی در ارتباط با راهکارهای سازه‌ای افزایش عملکرد فرآیند رسوبشویی تحت فشار صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. مشکلاتی سهمیرزادی و همکاران تأثیر مقاطع عرضی تخلیه کننده‌های تحتانی را روی ابعاد مخروط رسوبشویی به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند [۱۰]. آن‌ها نتیجه گرفتند که حجم و ابعاد مخروط رسوبشویی به شدت به قطر تخلیه کننده تحتانی وابسته است به شکلی که با افزایش قطر تخلیه کننده تحتانی ابعاد مخروط رسوبشویی افزایش می‌یابد و فرسایش رسوب‌های نهشته شده از فاصله دورتری نسبت به آن شکل می‌گیرد. آن‌ها همچنین بر اساس آنالیز ابعادی پارامترهای دخیل در مساله و انجام آنالیز رگرسیون خطی

ارزیابی‌های هیدرولیکی و اقتصادی صورت پذیرد. از میان این روش‌ها رسوبشویی هیدرولیکی به عنوان روشی موثر در احیای حجم از دست رفته مخزن بدون تحمل هزینه‌های ناشی از اجرای روش‌های مکانیکی حذف رسوب‌ها و کارایی بهتر مطرح است [۱]. رسوبشویی هیدرولیکی به دو دسته اصلی رسوبشویی تحت فشار و آزاد طبقه بندی می‌شود [۲]. از پیامدهای منفی رسوب گذاری در مخازن، علاوه بر کاهش حجم ذخیره آن‌ها می‌توان به انسداد آبگیرها، ایجاد اختلال در کار توربین‌ها و ایجاد فشار اضافی روی بدنه سد اشاره نمود که طبق پژوهش‌های انجام شده، رسوبشویی تحت فشار به عنوان یک روش موثر برای خارج کردن موضعی رسوب‌های انباشته شده در پشت سد که محل جانمایی دریچه‌ها و توربین‌ها است مطرح شده است. در رسوبشویی تحت فشار، سطح آب مخزن در تمام مدت انجام رسوبشویی بالاتر از رقوم ارتفاعی تخلیه‌کننده تحتانی قرار دارد. در هنگام باز کردن دریچه‌های تحتانی، حرکت عمومی جریان آب موجب ایجاد تنش برشی روی رسوب‌ها نهشته شده می‌شود و زمانی که تنش برشی ایجاد شده بیشتر از تنش برشی رسوب‌ها باشد ذرات رسوبی جابه‌جا می‌شوند. در این حالت فرسایش پسرونده اتفاق افتاده و از نزدیکی دریچه شروع شده و به سمت بالا دست مخزن حرکت می‌کند [۳]. در این هنگام توده‌های بزرگی از رسوب‌ها، از نزدیکی دریچه‌ها تخلیه شده و یک حفره مخروطی شکل در نزدیکی تخلیه کننده‌ها تشکیل می‌شود که با گذشت زمان این حفره گسترش یافته و به تعادل می‌رسد به شکلی که شیب بدنه حفره ایجاد شده در تمامی نقاط تقریباً برابر با زاویه ایستایی رسوب‌ها مخزن خواهد بود. با توجه به مشکلات رسوب‌ها در سدهای مخزنی باید با بر طرف نمودن رسوب‌های نهشته شده، آن‌ها را احیاء و ظرفیت ذخیره جدیدی ایجاد نمود. در مخازنی که به هر دلیلی استفاده از

ثقل، ρ_s : چگالی رسوب، ρ_w : چگالی آب، v : لزجت سینماتیکی آب، B : عرض مخزن و Q_0 : دبی خروجی می‌باشند. پارامترهای فوق و همچنین ابعاد مخروط رسوبشویی تشکیل شده (L_f : طول مخروط رسوبشویی، W_f : عرض مخروط رسوبشویی، $W_f \max$: ماکزیمم عرض مخروط رسوبشویی) در شکل (۱) آمده است.



شکل (۱): معرفی پارامترهای بکار برده شده

با آنالیز ابعادی پارامترهای یاد شده با استفاده از روش π باکینگهام پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست آمد:

$$\pi_1 = \frac{V_f}{H_w^3}, \pi_2 = \frac{U_o}{\sqrt{gH_w}}, \pi_3 = \frac{H_s}{H_w}, \pi_4 = \frac{L_t}{H_w}, \pi_5 = \frac{D_o}{H_w},$$

$$\pi_6 = \frac{d_{50}}{H_w}, \pi_7 = \frac{\rho_s}{\rho_w}, \pi_8 = \frac{U_o H_w}{\nu}, \pi_9 = \frac{B}{H_w}$$

از پارامترهای بالا $\pi_8 = \frac{U_o H_w}{\nu}$ بیانگر تاثیر نیروی لزجت است و با توجه به اینکه مقدار کمینه پارامتر بدون بعد بالا در این پژوهش ۱۳۵۷۹ است، پس از تاثیر این پارامتر می‌توان چشم‌پوشی کرد. همچنین با توجه به ثابت در نظر گرفتن مقادیر زیر در تمام آزمایش‌های این پژوهش مقادیر چگالی رسوب و چگالی آب به صورت زیر

$$\rho_s = 1600 \frac{kg}{m^3}, \rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$H_s = 20 \text{ cm}, D_o = 5 \text{ cm}, d_{50} = 1.15 \text{ mm}, g = 9.81 \frac{m}{s^2}, \rho_s =, \rho_w =,$$

$$\nu = 10^{-6} \frac{m^2}{s}, B = 1.4 \text{ m}$$

و با جایگذاری پارامترهای زیر

چندگانه روابطی را برای تخمین ابعاد مخروط رسوبشویی ارائه دادند [۱۰]. احدپور و همکاران، در زمینه رسوبشویی تحت فشار یک ایده جدید را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در مطالعه خود به بررسی استفاده از لرزاننده‌ها^۱ در لایه‌های رسوبی و محل قرارگیری آن‌ها روی حجم و ابعاد مخروط رسوبشویی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که وجود لرزاننده در داخل رسوب‌ها پشت مخزن تاثیر مثبت بر ابعاد حفره رسوبشویی دارد و موقعیت لرزاننده نسبت به محور سد و همچنین میزان فرکانس آن‌ها، پارامترهای اصلی موثر روی ابعاد مخروط رسوبشویی است [۱۱]. در این پژوهش به بررسی رسوبشویی تحت فشار با توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در سدهای مخزنی پرداخته شده و نتایج آن با نتایج حالت بدون توسعه آن مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- مبانی و روش‌ها

۲-۱- آنالیز ابعادی

حجم مخروط رسوبشویی به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که انتخاب پارامترهای موثر با توجه به اصول اولیه مهندسی رسوب و بررسی مطالعات گذشته به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$V_f = f(U_o, H_w, H_s, L_t, D_o, d_{50}, g, \rho_s, \rho_w, \nu, B) \quad (۱)$$

که در آن، V_f : حجم مخروط رسوبشویی، U_o : سرعت جریان در ورودی دهانه مجرای تخلیه کننده تحتانی، H_w : ارتفاع آب داخل مخزن، بالای مرکز مجرای تخلیه کننده تحتانی، H_s : ارتفاع رسوب‌ها تجمع یافته در پشت مخزن، بالای مرکز مجرای تخلیه کننده تحتانی، L_t : طول مجرای توسعه داده شده در مخزن، D_o : قطر مجرای تخلیه کننده تحتانی، d_{50} : اندازه متوسط ذره رسوب، g : شتاب

1- Vibrator

رسوبی مورد استفاده در آزمایش‌ها از رسوب‌ها غیرچسبنده از نوع سیلیس با دانه‌بندی یکنواخت و با d_{50} ، $1/15$ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی (σ_g)، $1/37$ در نظر گرفته شد. به منظور انجام رسوبشویی، یک مجرای تخلیه کننده با مقطع دایره‌ای شکل با قطر ۵ سانتی‌متر که در خط مرکزی فلوم قرار داشت، استفاده شد. دیواره‌های مخزن اصلی، مجرای تخلیه کننده تحتانی و دریچه‌های نصب شده روی آن از جنس پلکسی گلاس است. به منظور جمع آوری رسوب خارج شده از مجرای تخلیه کننده تحتانی، از مخزن مکعب مستطیل شکلی به عنوان حوضچه ته نشینی رسوب‌ها که در پایین دست مدل قرار گرفته بود، استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری و کنترل جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی، یک سرریز ۶۰ میلی درجه در این قسمت مدل، مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها

به منظور بررسی تاثیر توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در داخل مخزن بر ابعاد مخروط رسوبشویی، آزمایش‌ها با استفاده از سه طول مجرای تخلیه کننده‌ی تحتانی در سه ارتفاع آب مخزن، سه دبی مختلف و در تراز رسوب ثابت ۲۰ سانتی‌متر نسبت به مرکز مجرا انجام گرفت. جدول (۱) و (۲) محدوده تغییرات پارامترها را به صورت با بعد و بدون بعد نشان می‌دهد.

جدول (۱) - تغییرات پارامترهای مورد بررسی

پارامتر	مقادیر
H_w (cm)	۴۷/۵، ۵۵، ۶۴/۵
Q_0 (L/sec)	۱، ۲، ۳
L_t (cm)	۳۰، ۲۰، ۱۰

$$V_f^* = \frac{V_f}{H_w^3}, U_o^* = \frac{U_o}{\sqrt{gH_w}}, H_s^* = \frac{H_s}{H_w}, L_t^* = \frac{L_t}{H_s}$$

می‌توان پارامترهای بی‌بعد باقی مانده را به صورت رابطه (۳) خلاصه کرد:

$$V_f^* = \psi(U_o^*, H_s^*, L_t^*) \quad (3)$$

به صورت مشابه برای ابعاد مخروط رسوبشویی روابط زیر به دست آمدند:

$$L_f^* = \psi(U_o^*, H_s^*, L_t^*) \quad (4)$$

$$W_f^* = \psi(U_o^*, H_s^*, L_t^*) \quad (5)$$

$$W_{f \max}^* = \psi(U_o^*, H_s^*, L_t^*) \quad (6)$$

که در آن‌ها $L_f^* = \frac{L_f}{H_w}$ ، $W_f^* = \frac{W_f}{H_w}$ ، $W_{f \max}^* = \frac{W_{f \max}}{H_w}$ است.

۲-۲- مدل آزمایشگاهی مورد استفاده

برای نیل به اهداف این پژوهش از مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد. مدل فیزیکی مورد استفاده به شکل مکعب مستطیل و دارای طول کلی ۷ متر، عرض $1/4$ متر و ارتفاع $1/5$ متر است. که از ۳ قسمت، ۱- ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان)، ۲- مخزن اصلی، ۳- حوضچه ته نشینی رسوب‌ها تشکیل شده است. در قسمت ورودی مدل تلاطم جریان ورودی به مدل گرفته شده و جریان به صورت آرام وارد قسمت اصلی مدل (مخزن) می‌شود. در رسوبشویی تحت فشار لازم است که تراز سطح آب در مخزن ثابت نگه داشته شود بدین منظور در این قسمت به منظور کنترل و تنظیم ارتفاع آب در داخل مخزن از یک سرریز مستطیلی استفاده شد. مخزن اصلی مدل دارای طول ۵ متر، ارتفاع $1/5$ متر و عرض $1/4$ متر است که رسوب‌ها در این قسمت از مدل قرار می‌گیرند و به عنوان مدل مخزن سد در نظر گرفته می‌شود. ذرات

جدول (۲) - دامنه تغییرات پارامترهای بدون بعد

پارامترهای بی بعد	دامنه تغییرات
V_f^*	۰/۰۵-۰/۲۴۳
L_f^*	۰/۵۳۵-۱/۳۴۷
W_f^*	۰/۵۴۳-۱/۳۰۵
W_{fmax}^*	۰/۸۲۹-۱/۳۴۷
U_0^*	۰/۷۵۹-۱/۱۰۱
L_1^*	۰/۵-۱/۵
H_s^*	۰/۳۱-۰/۴۲۱

پس از تخلیه آرام و کامل آب داخل مخروط رسوبشویی تشکیل شده، با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر، برداشت توپوگرافی بستر مخروط رسوبشویی به صورت شبکه ای انجام گرفت. همچنین فاصله طولی و عرضی مخروط رسوبشویی (W_f , L_f , W_{fmax}) در پایان آزمایش‌ها اندازه گیری شد. با استفاده از اطلاعات بدست آمده، به منظور بدست آوردن حجم مخروط رسوبشویی در گزینه های مختلف، از نرم افزار Surfer 10 استفاده شد. با استفاده از این نرم افزار و معرفی مقاطع عرضی برداشت شده حجم رسوبات تخلیه شده از مخزن به دست آمد.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- الگوی فرسایش با توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن

با الگوگیری از نتایج مطالعه هافمن و وریج [۱۲]، در زمینه تکامل تدریجی حفره آبستنگی، در این پژوهش می‌توان الگوی فرسایش رسوب‌ها در رسوبشویی تحت فشار با توسعه مجرا در مخزن را در ۳ مرحله زیر خلاصه کرد:

۱- مرحله شروع: در ابتدای آزمایش بلافاصله بعد از باز کردن دریچه‌ها، حفره‌ای در مقابل دریچه تخلیه کننده‌ی تحتانی تشکیل می‌شود که امتداد انتهای نوک تیز آن درست از مرکز دریچه عبور می‌کند. در این مرحله، مجرای قبل از دریچه‌ی تحتانی، از رسوب‌ها پر شده و رسوب‌ها به آرامی از دریچه عبور می‌کنند و سرعت گسترش حفره بسیار کم است.

۲- مرحله توسعه: سرعت گسترش حفره به شدت افزایش می‌یابد. گسترش حفره در این مرحله را می‌توان به سه زیر مرحله تقسیم بندی کرد.

الف- انتهای مخروط به دهانه ورودی مجرای تخلیه کننده تحتانی می‌رسد در این مرحله تخلیه ناگهانی رسوب‌ها اتفاق می‌افتد و رسوب‌ها از جهت‌های مختلف وارد مجرای

۲-۴- نحوه انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا لوله پلکسی در محل خود چسبانده می‌شد. رسوب‌ها در قسمت اصلی مدل به صورت لایه لایه تا رسیدن به ارتفاع مورد نظر ریخته شد، سطح رسوبات به وسیله‌ی یک صاف کننده متحرک صاف شد تا سطحی یکنواختی داشته باشیم.

آزمایش‌ها با روشن شدن پمپ و رسیدن ارتفاع آب داخل مدل به ارتفاع مورد نظر شروع شدند. دریچه تخلیه کننده تحتانی باز و دبی مورد نظر برقرار شد. در شروع آزمایش‌ها، زمانی که تخلیه کننده تحتانی باز شد، بعد از مدتی رسوبات، تحت فشار آب همراه جریان آب با غلظت خیلی بالا از دریچه‌ها خارج شده (تخلیه ناگهانی) و یک حفره مخروطی شکل جلوی دریچه تشکیل شد. مدت زمان لازم برای شکل گیری مخروط رسوبشویی و به تعادل رسیدن آن بستگی به عواملی مانند دبی جریان خروجی، ارتفاع آب داخل مخزن و نوع رسوبات دارد که در این پژوهش تقریباً ۹۰٪ رسوبات در ۲۰ دقیقه اول از زمان تخلیه ناگهانی مخروط رسوبشویی، از تخلیه کننده تحتانی خارج شد. با این حال تمامی آزمایش‌ها به مدت یک ساعت بعد از زمان تخلیه ناگهانی ادامه یافت تا زمانی که حفره رسوبشویی به تعادل رسیده و غلظت رسوبات خروجی از تخلیه کننده به حد صفر برسد.

تخلیه کننده می شوند.

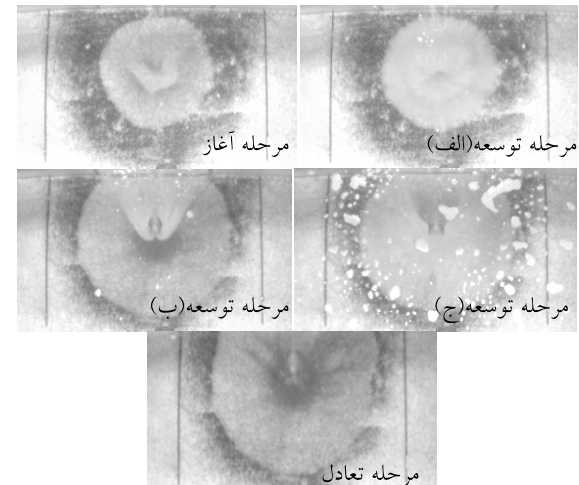
ب- بعد از مرحله الف، گسترش حفره، بیشتر از قسمت جلویی دهانه ورودی تخلیه کننده اتفاق می افتد.

ج- پس از تخلیه رسوب‌های مقابل دهانه ورودی تخلیه کننده، در این مرحله رسوب‌های پشت مجرای توسعه داده شده در مخزن تخلیه می شود.

۳- مرحله تعادل: در این مرحله غلظت رسوب‌های خروجی نسبت به مرحله توسعه کاهش یافته و تا رسیدن غلظت رسوب‌ها به یک مقدار اندک و تعادل مخروط رسوبشویی که تقریباً هیچ رسوبی خارج نمی شود ادامه دارد. این مراحل در شکل (۲)، آمده است.

شده است (شکل ۳). همان گونه که این شکل، نشان می دهد، بین طول بی بعد مجرای تخلیه کننده تحتانی و پارامترهای بی بعد حجم، طول و عرض ماکزیمم مخروط رسوبشویی ارتباط مستقیم و با عرض بی بعد مخروط رابطه معکوس وجود دارد. به عبارت دیگر به ازای یک سرعت ثابت جریان، با افزایش طول بی بعد مجرای تخلیه کننده تحتانی، پارامتر بی بعد حجم، طول و عرض ماکزیمم مخروط رسوبشویی افزایش و پارامتر بی بعد عرض مخروط کاهش می یابد. اما نرخ افزایش ابعاد مخروط رسوبشویی در طول‌های مورد آزمایش متفاوت است به گونه ای که از طول بی بعد مجرا (L_1^*)، از ۰/۵ به ۱ این نرخ زیاد و از ۱ به ۱/۵ کم می شود. همان گونه که در جدول (۳) آمده است با افزایش طول بی بعد مجرا از ۰/۵ به ۱، به طور متوسط ۲۰٪ افزایش حجم داشتیم در حالی که با افزایش طول بی بعد مجرا از ۱ به ۱/۵ این افزایش ۱۲/۵٪ به دست آمده است. در واقع با افزایش طول مجرای تخلیه کننده تحتانی از تاثیر طول آن بر ابعاد مخروط رسوبشویی کاسته می شود.

نکته دیگر اینکه با توجه به نمودارها در مقادیر کمتر سرعت بی بعد، نمودارهای مربوط به حجم فشرده تر است. به عبارت دیگر میزان تاثیر طول مجرای تخلیه کننده تحتانی روی حجم مخروط رسوبشویی در دبی‌های بالاتر جریان بیشتر می شود.



شکل (۲): گسترش مخروط رسوبشویی در ۳ مرحله

۳-۳- ارائه روابط بدون بعد برای پیش بینی ابعاد

مخروط رسوبشویی

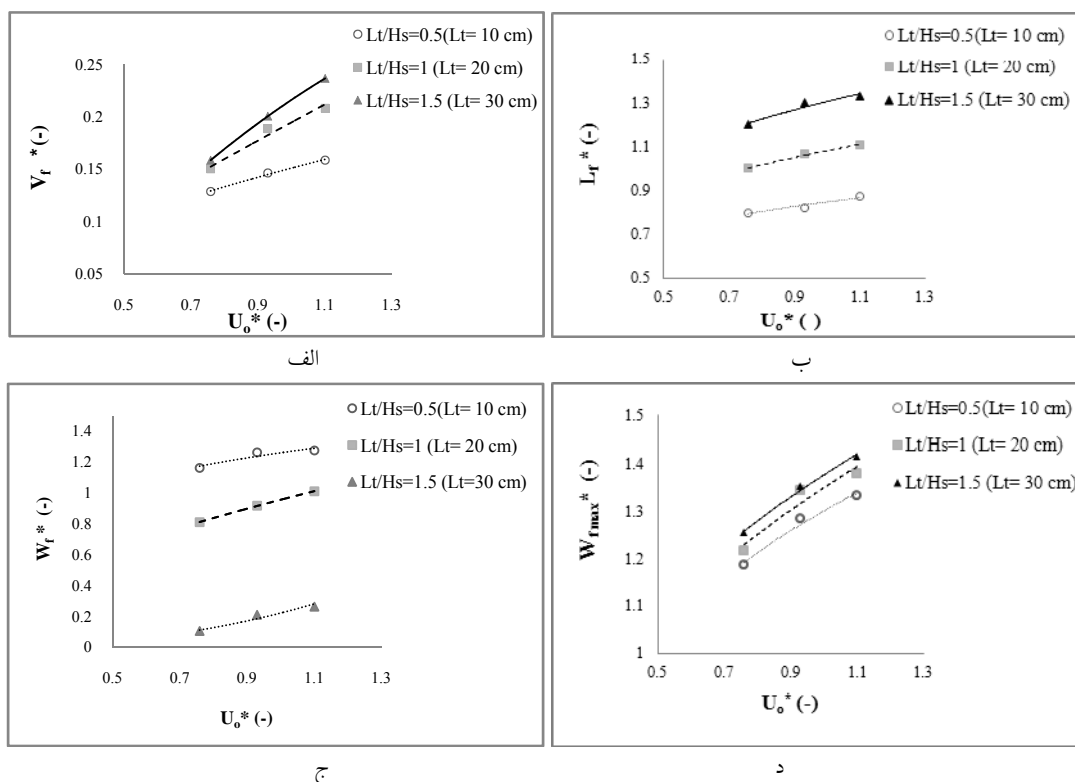
بدین منظور داده‌های هر گروه، به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول، ۸۰٪ داده‌ها است که تحت عنوان داده‌های آموزش^۱ و دسته دوم، ۲۰٪ داده‌ها که به عنوان داده‌های آزمون^۲ نام گذاری شدند.

۳-۲- بررسی تاثیر توسعه مجرای تخلیه کننده ی

تحتانی بر ابعاد مخروط رسوبشویی

به منظور بررسی تاثیر توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی بر ابعاد مخروط رسوبشویی، ابعاد مخروط رسوبشویی به دست آمده، در مقابل سرعت جریان به ازای ارتفاع ثابت آب به صورت بی بعد ترسیم شده است که به دلیل مشابهت روند این نمودارها در سه ارتفاع آب مورد آزمایش فقط نمودارهای مربوط به ارتفاع آب ۴۷/۵ سانتی متری آورده

1- Training set
2- Test set



شکل (۳): تغییرات حجم (الف)، طول (ب)، عرض (ج) و عرض ماکزیمم (د) مخروط رسوبشویی برحسب سرعت جریان به صورت بی بعد در شرایط ارتفاع آب ۴۷/۵ سانتی متر

جدول (۳): تاثیر افزایش طول بی بعد مجرای تخلیه کننده تحتانی در افزایش حجم مخروط رسوبشویی

Hw (cm)	U _o *	درصد افزایش حجم مخروط رسوبشویی		
		افزایش طول نسبی مجرا از	افزایش طول مجرا نسبی از	افزایش طول نسبی مجرا از
		۰/۵ به ۱/۵	۱/۵ به ۱	۱/۵ به ۰/۵
۴۷/۵	۰/۷۵۹	۱۸/۲	۷/۲	۳۶/۷
	۰/۹۳	۲۲/۱	۱۲/۸	۳۲/۷
	۱/۱	۲۳	۱۷/۸	۴۴/۹
۵۵	۰/۷۵۹	۱۴/۶	۹	۲۵
	۰/۹۳	۲۲/۲	۱۲	۳۶/۹
	۱/۱	۲۰/۶	۱۶/۲	۴۰/۱
۶۴/۵	۰/۷۵۹	۱۳/۷	۹/۹	۲۵/۲
	۰/۹۳	۲۰/۳	۱۲/۱	۳۴/۸
	۱/۱	۲۰/۲	۱۴/۸	۳۸
متوسط		۲۰/۱	۱۲/۵	۳۵/۲

$$W_{f\max}^* = 3.56(U_o^*)^{0.31}(H_w^*)^{1.18}(L_t^*)^{0.029} \quad (10)$$

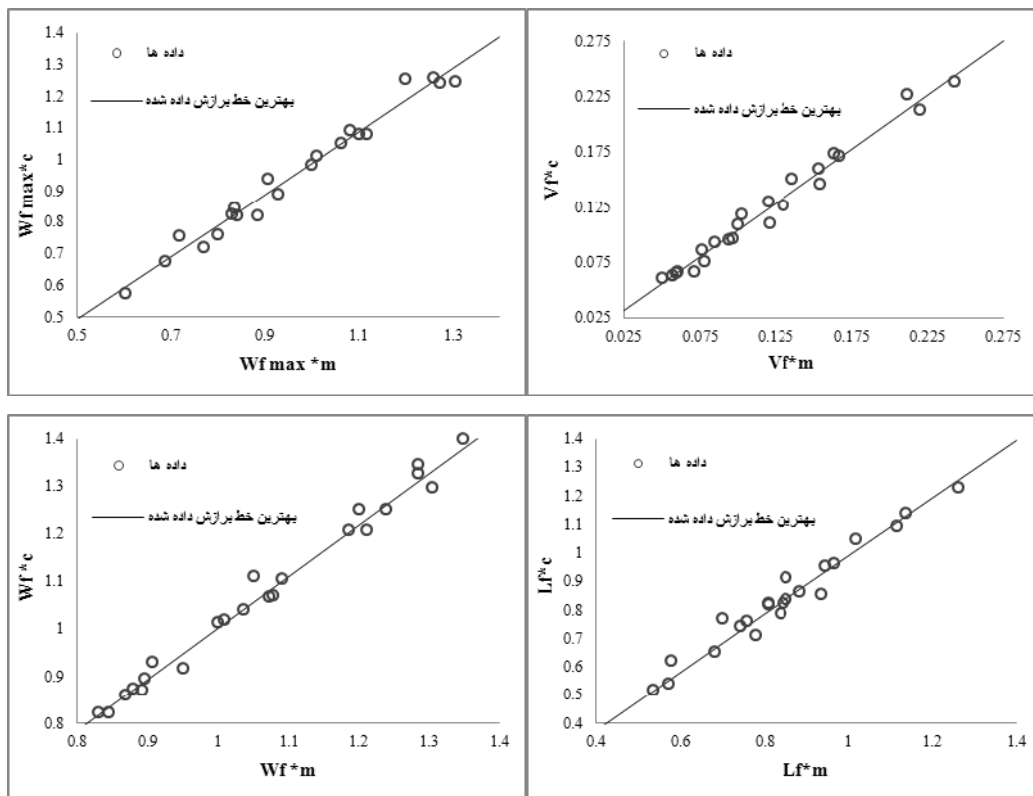
مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای داده‌های آموزش و آزمون به دست آمدند. نتایج به دست آمده در جدول (۴)، نشان دهنده عملکرد مناسب روابط ارائه شده برای پیش‌بینی ابعاد مخروط رسوبشویی تشکیل شده در رسوبشویی تحت فشار است. شکل (۴)، نیز مقایسه‌ای بین مقادیر محاسبه شده ابعاد مخروط رسوبشویی و مقادیر اندازه‌گیری شده را برای داده‌های آموزش نشان می‌دهد. با توجه به این شکل نیز، ملاحظه می‌شود که بهترین خط برازش داده شده از میان داده‌ها دارای زاویه‌ای نزدیک به ۴۵ درجه (شیب ۱ به ۱) است که نشان دهنده دقت بالای برآورد به وسیله روابط ارائه شده است.

انتخاب داده‌های مراحل آزمون به صورت تصادفی بوده است. از دسته اول برای به دست آوردن ضرایب روابط غیر خطی و از دسته دوم داده‌ها برای صحت‌سنجی این روابط استفاده شده است. برای تعیین ضرایب روابط موجود، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین منظور فرض‌های اولیه مختلف برای تخمین ضرایب، مورد آزمون قرار گرفت و نتیجه به دست آمده نشان داد که تغییر فرض اولیه تاثیری در تخمین مقدار ضرایب ندارد. شکل نهایی روابط مدل پیش‌بینی حجم، طول، عرض و عرض ماکزیمم مخروط رسوبشویی به شرح زیر، به دست آمد:

$$V_f^* = 3.52(U_o^*)^{1.17}(H_s^*)^{3.1}(L_t^*)^{0.29} \quad (7)$$

$$L_f^* = 2.94(U_o^*)^{0.35}(H_s^*)^{1.18}(L_t^*)^{0.36} \quad (8)$$

$$W_f^* = 2.73(U_o^*)^{0.26}(H_s^*)^{1.15}(L_t^*)^{-0.33} \quad (9)$$



شکل (۴): مقایسه بین مقادیر محاسبه شده پارامترهای بی‌بعد حجم، طول، عرض و عرض ماکزیمم مخروط رسوبشویی با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها

جدول (۴): درستی آزمایشی آماری روابط ارائه شده

	V_f^*		L_f^*		W_f^*		W_{fmax}^*	
	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
R^2	۰/۹۷۹	۰/۹۶۵	۰/۹۶۸	۰/۹۶۳	۰/۹۶۱	۰/۹۶۰	۰/۹۸۳	۰/۹۷۱
RMSE	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳

۵- نتیجه گیری

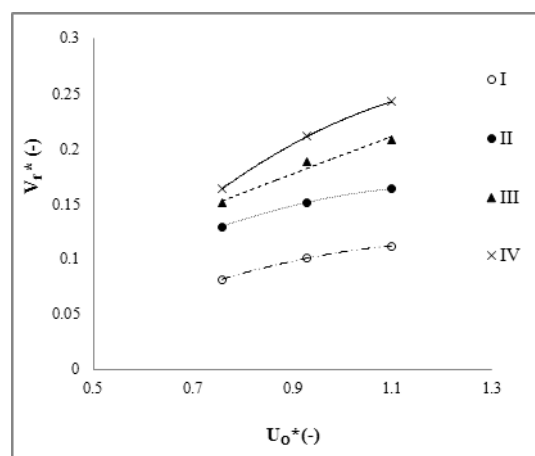
نتایج پژوهش‌های اولیه نشان داد که توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن سد تاثیر مثبت و محسوس در افزایش حد تاثیر رسوبشویی دارد و میزان طول این مجرا، پارامتر اصلی موثر بر روی ابعاد مخروط رسوبشویی است، به گونه‌ای که شرایط هیدرولیکی جدیدی با توسعه آن در مخزن ایجاد می‌شود که مکانیزم فلاشینگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با افزایش طول، ابعاد مخروط رسوبشویی (حجم، طول و عرض ماکزیمم)، افزایش می‌یابد. اما نرخ افزایش ابعاد آن متفاوت است بدین صورت که با افزایش طول نسبی مجرای تخلیه کننده از تاثیر طول مجرا بر ابعاد مخروط رسوبشویی کاسته می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که میزان تاثیر طول مجرای تخلیه کننده تحتانی روی ابعاد مخروط رسوبشویی در دبی‌های بالاتر جریان، بیشتر است.

۶- مراجع

- [1] Olsen; N.R.B., "Two-dimensional numerical modeling of flushing processes in water reservoirs"; IAHR Journal of Hydraulic Research; 37(1), 1999, Pp:3-16.
- [2] Fan; J., "Methods Of Preserving Reservoir Capacity. Methods Of Computing Sedimentation In Lakes And Reservoirs"; A Contribution To The International Hydrological Program, Ihp-Ii Project A. 2.6.1 Panel, S. Bruk, Ed., Unesco, Paris, 1985, Pp:70-164.
- [3] Morris; G. L., Fan; J., "Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use"; New York, McGraw-Hill, Electronic Version, 2009, Pp: 784.

۳-۴- مقایسه حجم مخروط رسوبشویی حالت توسعه مجرا با حالت بدون توسعه آن در مخزن

نمودارهای شکل (۵)، حجم مخروط رسوبشویی در حالت توسعه مجرا در مخزن و حالت بدون توسعه آن را نشان می‌دهند. در این نمودارها I, II, III, IV به ترتیب حالت بدون توسعه مجرا و توسعه به میزان نسبی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ برابر ارتفاع رسوب‌ها در مخزن است. همان‌گونه که در این شکل آمده، توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی به این میزان در مخزن باعث افزایش حجم مخروط رسوبشویی به طور متوسط، به میزان ۵۰، ۷۴ و ۹۶ درصد نسبت به حالت بدون توسعه مجرا شده است. نتایج به دست آمده از این نمودارها حاکی از آن است که توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در داخل مخزن تاثیر مثبت و محسوس بر ابعاد مخروط رسوبشویی دارد.



شکل (۵): تغییرات حجم در مقابل سرعت در حالت توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی و حالت بدون توسعه آن در مخزن به صورت بی بعد

- [4] Lai; J. S., Chang ; F., "Physical Modeling of Hydraulic Desiltation in Tapu Reservoir"; International Journal of Sediment Research; 16(3), 2001, Pp: 363-379.
- [5] Scheuerlein; H., Tritthart; M., Nunez Gonzalez; F., "Numerical and Physical Modeling Concerning the Removal of Sediment Deposits from Reservoirs"; Conference proceeding of Hydraulic of Dams and River Structures; Tehran, Iran, 2004, Pp: 245-254.
- [6] Talebbeydokhti; N., Naghshineh; A., "Flushing Sediment Through Reservoirs"; Iranian Journal Of Science and Technology; Transaction B, 28(B1), 2004, Pp: 119-136.
- [۷] صالحی نیشابوری؛ ع.ا.، غلامی علم؛ ا.، دائمی؛ ع.، "مطالعه تأثیر برخی پارامترهای مؤثر بر طراحی و عملکرد مجرای رسوب‌شویی"؛ مجله فنی و مهندسی تربیت مدرس؛ شماره ۲۱، ۱۳۸۴، صفحات: ۲۳-۳۵.
- [۸] امامقلی زاده؛ ص.، "بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر میزان تخلیه رسوب‌ها در رسوبشویی تحت فشار"؛ مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی؛ ۱۵(۴)، ۱۳۸۷، صفحات: ۲۱۹-۲۳۴.
- [9] Dewals ; B. J., Brasseur ; N., Erpicum ; S., Archambeau ; P., Piroton ; M., "Flushing Operations With Limited Sediment Availability"; 33rd Iahr Congress: Water Engineering For A Sustainable Environment, International Association Of Hydraulic Engineering & Research (Iahr); 2009, Pp: 4289-4296.
- [10] Meshkati Shahmirzadi; M. E., Deghani; A. A., Sumi; T., Mosaedi; A., Meftah; H., "Experimental Investigation Of Pressure Flushing Technique In Reservoir Storages" Journal of Water And Geoscience; 1(1), 2010, Pp: 132-137.
- [11] Ahadpour Dodaran; A., Park; S., Mardashti; A., Noshadi; M., "Investigation Of Dimension Changes In The Under Pressure Hydraulic Sediment Flushing Cavity In Storage Dams Under The Effect Of Localized Vibrations In The Sediment Layers"; International Journal Of Ocean System Engineering; 2(2), 2012, Pp: 71-82
- [12] Hoffmans; G.J.C.M., Verheij; H. J., "Scour Manual"; Rotterdam, Netherlands, A. A Balkema, 1997.

((Research Note))

Pressure Flushing with Expanding Bottom Outlet Channel within Dam Reservoir

S. Tofighi¹, J. M. V. Samani^{2*}, S. A. Ayyoubzadeh³

1- M.Sc Graduated Student, Water Structures Eng. Department, Tarbiat Modares University

2- Professor, Water Structures Eng. Department, Tarbiat Modares University

3- Associate Professor, Water Structures Eng. Department, Tarbiat Modares University

samani_j@modares.ac.ir

Abstract:

Currently, large dams in the world, due to high amount of sediments in the reservoir, especially around the intake, have operational problems. One of the solutions for this problem is pressure flushing which is an efficient method for extracting the accumulated sediments behind the dams, where, the valves and turbines are placed over there. In this type of flushing, previously deposited sediments are removed by opening the bottom outlets. Sediment is scoured and a funnel shaped crater is created in the vicinity of the bottom outlet opening. Amount of the flushed sediments depend on many parameters such as water depth on the bottom outlets, discharge released through bottom outlets, size of the outlets, geometry of the reservoir, size and kind of the deposited sediments in the reservoir. But the extent of flushing impact range is limited. On the other hand, since in this method, the waste of water in the reservoir is relatively low; therefore, an appropriate solution for increasing the efficiency of the pressure flushing process, would be able to increase the dam's lifetime with minimal amount of water waste. In laboratory experiments carried out in this study, the effect of expansion of bottom outlet channel within the reservoir is investigated on the volume and dimensions of the flushing cone. In order to achieve the objective of this study, experiments done by means of a physical model with length 7.1 m, wide 1.4 m and height of 1.5 m. Experiments performed with three bottom outlet channel lengths 10, 20 and 30 cm, three water heights 47.5, 55 and 64.5 cm over center of outlet and three discharge flows equal to 1, 2 and 3 (l/s) for each height. Preliminary results showed that, expansion of bottom outlet channel within the reservoir has positive and tangible effects on the size of the flushing cone. As, with the expansion of bottom outlet channel within the reservoir, new hydraulic conditions are introduced, which affects the mechanism of flushing and by increase in the length of outlet channel, dimension of flushing cone increases. But the rate of increase in dimensions decreases with increment in expansion amount. So the relative amount of bottom outlet channel expansion for 0.5, 1 and 1.5 times height of the sediment in the reservoir, leads to increase in flushing cone volume for average amount of 50, 74 and 96% compared to the case with the no developed bottom outlet channel. according to the experimental data, non-dimensional equations are derived for estimation of the flushing cone size. These equations show high regression coefficients and provide good estimations. Also the results indicate that, In the higher discharges of flow, effect of the expansion size of bottom outlet channel on the amount of the sediment discharged is high.

Keywords: Pressure flushing, Physical model, Expansion of bottom outlet channel, Flushing impact range, Dimensional analysis