

بررسی اثر شکل دریچه تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار

علی صمدی رحیم^{۱*} و سید علی ایوب‌زاده^۲

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌ها برای حذف رسوبات نهشته شده از مخازن سدها، روش رسوب‌شویی تحت فشار است که به طور موضعی مفید است. در این پژوهش برای بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد رسوب‌شویی تحت فشار، آزمایش‌هایی روی شکل دریچه تخلیه‌کننده انجام شد. آزمایش‌ها با استفاده از سه دبی خروجی، دو ارتفاع آب و سه شکل دریچه تخلیه‌کننده (دایره‌ای، مربعی و مستطیلی) انجام شد. مقایسه نتایج نشان داد که حجم مخروط رسوب‌شویی به دبی خروجی از تخلیه‌کننده، ارتفاع آب مخزن و شکل دریچه تحتانی بستگی دارد. به طوری که به ازای یک دبی ثابت، کاهش ارتفاع آب مخزن سبب افزایش حجم مخروط رسوب‌شویی می‌شود. همچنین برای یک ارتفاع آب مخزن ثابت، افزایش دبی خروجی از دریچه سبب افزایش حجم حفره رسوب‌شویی می‌شود. با افزایش ۱۵۰ درصدی دبی خروجی به ترتیب در دریچه‌های دایره‌ای، مربعی و مستطیلی متوسط تغییرات حجم مخروط رسوب‌شویی ۴۱/۳، ۴۱/۲ و ۱۹/۹ درصد به دست آمد. علاوه بر آن به طور کلی به ازای یک ارتفاع آب و دبی خروجی ثابت، حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب در دریچه مربعی، دایره‌ای و مستطیلی بیشتر است. در نهایت، براساس تجزیه و تحلیل آماری روی داده‌های آزمایشگاهی حاصل، معادله بدون بعدی برای پیش‌بینی ابعاد مخروط رسوب‌شویی ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ابعادی، فلاشینگ رسوبات، مدل فیزیکی، مخروط رسوب‌شویی.

ارجاع: صمدی رحیم ع و ایوب‌زاده س. ع. ۱۳۹۴. بررسی اثر شکل دریچه تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار. مجله پژوهش آب ایران. ۱۹: ۴۹-۵۷.

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: alisamadirahim@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۱

مقدمه

رسوب‌گذاری در مخازن سدها از جمله مسائل مهم و حیاتی است که باید در زمینه بهره‌برداری و تخمین عمر مفید سدها مدنظر قرار گیرد. این مشکل به ویژه در منطقه‌های استوایی و نیمه‌خشک به دلیل بالا بودن دبی جریان رسوبی مشهودتر به نظر می‌رسد (براند، ۲۰۰۰). سالانه بین ۰/۵ تا ۱ درصد از حجم ذخیره مخازن در سرتاسر دنیا در اثر رسوب‌گذاری از بین می‌رود (محمود، ۱۹۸۷ و یون، ۱۹۹۲). علاوه بر کاهش حجم مفید مخازن، رسوب‌گذاری در مخزن پیامدهای دیگری نیز دارد که از آن جمله می‌توان به ورود رسوبات به دریچه‌های نیروگاه و اختلال در کار توربین‌ها و خوردگی آن‌ها، انسداد و گرفتگی آبگیرها، افزایش تراز بستر در بالادست مخزن و به دنبال آن گسترش دامنه و پهنه سیلاب، افزایش بار اضافی روی بدنه سد و موارد دیگر اشاره کرد (موریس و فان، ۲۰۰۹). از این رو لازم است با گرفتن تصمیم‌های لازم در حوضه آبخیز رودخانه از مقدار فرسایش کاسته و نیز با بررسی روند حرکت جریان‌های غلیظ در مخزن سد، بهترین شرایط را برای منحنی فرمان سد در زمان وقوع سیلاب حاصل کرد. در کنار این موارد می‌توان از روش‌هایی مانند رسوب‌شویی هیدرولیکی، سیستم کنارگذر، لایروبی مکانیکی و لایروبی هیدرولیکی برای تخلیه و کنترل رسوبات استفاده کرد. به کار بردن این روش‌ها مستلزم شناخت کامل از جهت توانایی و محدودیت آن‌ها است. به طوری که گاهی وقت‌ها ممکن است به کار بردن این شیوه‌ها در برخی مخازن اقتصادی نباشد (آتکینسون، ۱۹۹۶).

در روش رسوب‌شویی هیدرولیکی، رسوباتی که از قبل در مخزن گذاشته شده‌اند با کاهش تراز سطح آب و رهاسازی جریان آب از طریق دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی سد خارج می‌شوند. روش رسوب‌شویی بیشتر در مخازن باریک و طولانی مؤثر است. در مخازنی که دشت‌های سیلابی وسیعی دارند فقط رسوباتی که در بستر رودخانه اصلی گذاشته شده‌اند می‌توانند تخلیه شوند (امامقلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۶). کیان (۱۹۸۲) بیان می‌کند که روش رسوب‌شویی فقط راه حل مناسب برای مخازنی است که دارای مقدار آب ورودی اضافی به مخزن هستند (به نقل از آتکینسون، ۱۹۹۶). به طور کلی بسته به اینکه زمان انجام رسوب‌شویی ارتفاع آب مخزن نسبت به تخلیه‌کننده

تحتانی چگونه باشد می‌توان رسوب‌شویی هیدرولیکی را به دو صورت آزاد و تحت فشار تقسیم‌بندی کرد (موریس و فان، ۲۰۰۹). اگر در هنگام انجام رسوب‌شویی رقوم سطح آب مخزن پایین آورده شود، به طوری که پس از مدتی آب مخزن با تخلیه‌کننده‌های تحتانی تخلیه شود و شرایط جریان رودخانه‌ای در مخزن ایجاد شود به آن رسوب‌شویی آزاد می‌گویند؛ به عبارتی دیگر جریان ورودی به مخزن به طور مستقیم از آن خارج می‌شود. در رسوب‌شویی تحت فشار سطح آب مخزن در تمام مدت انجام رسوب‌شویی به گونه‌ای است که سطح آب مخزن بالاتر از رقوم ارتفاعی تخلیه‌کننده تحتانی است. برای افزایش میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار تلاش می‌شود سطح آب مخزن تا ارتفاع حداقل بهره‌برداری پایین آورده شود. در این روش پس از اینکه دریچه تخلیه‌کننده تحتانی باز می‌شود، بعد از مدتی حفره یا چاله‌ای به شکل مخروط یا قیف در جلوی دریچه به وجود آمده و توسعه می‌یابد.

در زمینه رسوب‌شویی تحت فشار بررسی‌های مختلفی توسط پژوهش‌گران انجام شده است که برای مثال می‌توان به بررسی‌های وایت و بتس (۱۹۸۴)، دی سیلویو (۱۹۹۰)، لای و شن (۱۹۹۶) و اسپورلین و همکاران (۲۰۰۴) اشاره کرد. امامقلی‌زاده (۱۳۸۷) با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی اثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده، ارتفاع آب داخل مخزن و اندازه ذرات رسوبی بر پدیده رسوب‌شویی تحت فشار پرداخت. نتایج نشان می‌دهد، افزایش دبی خروجی از تخلیه‌کننده و کاهش ارتفاع آب مخزن به طور مستقیم بر حجم مخروط رسوب‌شویی تأثیر دارد. همچنین اشاره می‌کند به ازای یک دبی خروجی و ارتفاع آب ثابت میزان تخلیه ذرات رسوبی ریزدانه نسبت به ذرات درشت‌دانه بیشتر است. مشکلاتی شه‌میرزادی و دهقانی (۲۰۱۰) روی تأثیر مقاطع عرضی (قطر) تخلیه‌کننده تحتانی بر روی ابعاد مخروط رسوب‌شویی بررسی‌های را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش قطر دریچه تخلیه‌کننده سازوکار جدیدی بر فرایند رسوب‌شویی حاکم می‌شود و حجم مخروط رسوب‌شویی افزایش می‌یابد. مشکلاتی شه‌میرزادی و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی آزمایشگاهی توسعه زمانی مخروط رسوب‌شویی پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که با افزایش سرعت جریان، رشد ناگهانی در مقدار رسوبات تخلیه شده و ابعاد مخروط رسوب‌شویی به وجود می‌آید. وایت و بتس

بدون بعد به دست آمده از روش باکینگهام، عبارت ریاضی برای حجم مخروط رسوب‌شویی به شکل زیر درمی‌آید:

$$\frac{V_f}{H_w^3} = k_1 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{\delta_1} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{\epsilon_1} \left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{\gamma_1} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{\omega_1} \quad (3)$$

همچنین با استفاده از قضیه باکینگهام، برای طول و عرض مخروط رسوب‌شویی نیز عبارت‌های ریاضی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{L_f}{H_w} = k_2 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{\delta_2} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{\epsilon_2} \left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{\gamma_2} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{\omega_2} \quad (4)$$

$$\frac{W_f}{H_w} = k_3 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{\delta_3} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{\epsilon_3} \left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{\gamma_3} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{\omega_3} \quad (5)$$

با توجه به معادلات بالا هدف آن است که با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها مختلف، معادلات بدون بعد جهت برآورد ابعاد مخروط رسوب‌شویی برای شکل‌های مختلف دریچه تخلیه‌کننده تحتانی ارائه شود.

شرح مدل فیزیکی

با توجه به اینکه در پدیده رسوب‌شویی تحت فشار الگوی جریان در مجاورت تخلیه‌کننده‌های تحتانی سه بعدی است و به دلیل دخیل بودن پارامترهای زیاد در این پدیده، بررسی رفتار ریاضی آن مشکل و پیچیده است (اسچورلین و همکاران، ۲۰۰۴). پس برای شناخت بهتر این پدیده، از یک مدل فیزیکی استفاده شد. مدل مذکور در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس ساخته شد. مدل به شکل مکعب مستطیل و دارای طول کلی ۷/۱ متر، عرض ۱/۴ متر و ارتفاع ۱/۵ متر است. مدل دارای چهار قسمت اصلی است که عبارتند از: ۱- ناحیه برگشت جریان اضافی، ۲- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان)، ۳- مخزن مدل و ۴- ناحیه اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات) (شکل ۱).

ناحیه تخلیه جریان‌های اضافی در ابتدای مدل طراحی شده است. وظیفه این قسمت از مدل، تخلیه جریان‌های مازاد عبوری از روی سرریز طراحی شده در مدل در هنگام آزمایش و همچنین تخلیه جریان باقیمانده در مخزن مدل پس از تمام شدن آزمایش است. قسمت ورودی مدل از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول برای کاهش تلاطم جریان ورودی به مدل و آرام کردن جریان وارد شونده به قسمت اصلی مخزن، در فاصله ۱/۳ متری از ابتدای مدل از یک شبکه مشبک فلزی استفاده شد. بخش دوم بلافاصله

بررسی‌هایی را برای به دست آوردن اندازه تأثیر رسوب‌شویی در مدت زمان انجام رسوب‌شویی تحت فشار انجام دادند. آن‌ها اشاره کردند که گسترش طولی مخروط رسوب‌شویی به عمق آب داخل مخزن و دبی خروجی از دریچه‌ها بستگی دارد. فانگ و کائو (۱۹۹۶)، براساس بررسی‌های آزمایشگاهی، به این نتیجه رسیدند که شیب حفره رسوب‌شویی به طور تقریبی برابر با شیب پایدار رسوبات در شرایط مستغرق است. با توجه به موارد بالا، بررسی روی شکل دریچه تخلیه‌کننده تحتانی به‌عنوان عاملی مؤثر در ابعاد و عملکرد مخروط رسوب‌شویی لازم و ضروری است، چرا که در پژوهش‌های گذشته به آن پرداخته نشده است. پس در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی اثر شکل دریچه تحتانی بر ابعاد حفره رسوب‌شویی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

ابعاد مخروط رسوب‌شویی به پارامترهای مختلفی وابسته است، که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: سرعت جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی (u_f)، ارتفاع آب در مخزن (H_w)، ارتفاع رسوبات تجمع یافته در پشت مخزن (H_s)، قطر متوسط ذرات رسوبی (d_{50})، مساحت دریچه تخلیه‌کننده تحتانی (A_f)، شتاب ثقل (g)، چگالی آب (ρ_w)، چگالی رسوبات (ρ_s)، عرض سد در محل بدنه (B) و قطر دریچه در مورد تخلیه‌کننده با شکل دایره و عرض دریچه در مورد تخلیه‌کننده با شکل مربع و مستطیل (B_G). بنابراین معادله ابعادی حجم مخروط رسوب‌شویی (V_f) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V_f = f_1(u_f, H_w, H_s, d_{50}, A_f, g, \rho_w, \rho_s, B, B_G) \quad (1)$$

با استفاده از روش π باکینگهام و تحلیل ابعادی پارامترهای مؤثر در حجم مخروط رسوب‌شویی خواهیم داشت:

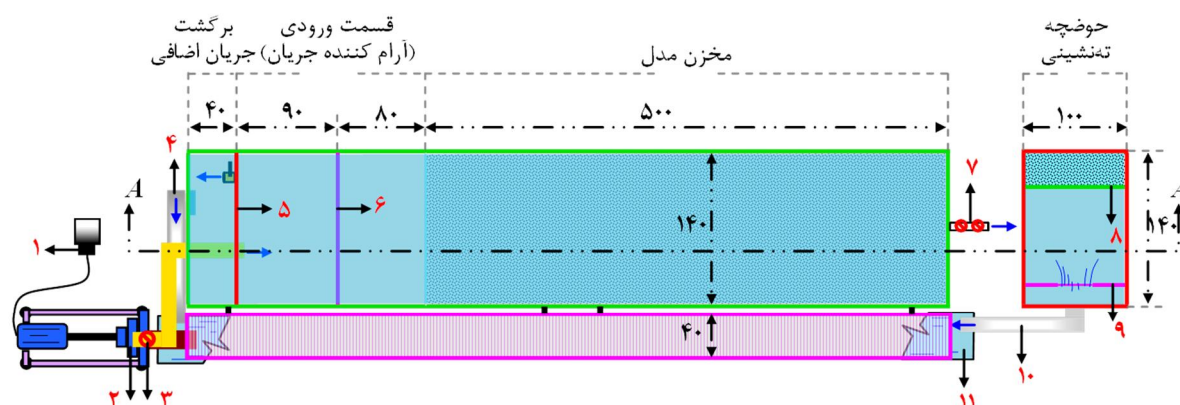
$$\frac{V_f}{H_w^3} = f_2 \left(\frac{g H_w}{u_f^2}, \frac{H_s}{H_w}, \frac{d_{50}}{H_w}, \frac{A_f}{H_w^2}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{B}{H_w}, \frac{B_G}{H_w} \right) \quad (2)$$

با توجه به اینکه مقادیر H_s ، d_{50} ، ρ_w ، ρ_s و B در این پژوهش ثابت هستند، و با ترکیب مناسب گروه‌های

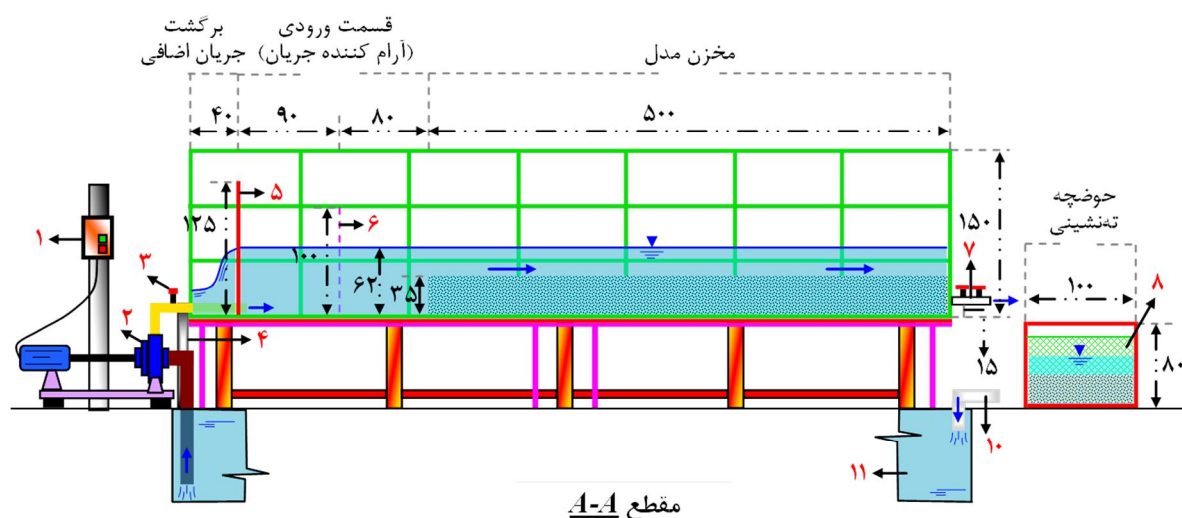
مربعی $4/5 \times 4/5$ سانتی متر و برای دریچه مستطیلی $3/2 \times 6/4$ سانتی متر به دست آمد. برای بررسی اثر شکل دریچه تحتانی، مساحت هر سه دریچه به طور یکسان انتخاب شدند. با توجه به اینکه جریان های چرخشی در زیر دریچه تخلیه کننده تحتانی سبب می شود مقداری از رسوبات پایین تر از رقوم کف دریچه نیز شسته شوند، پس رقوم ارتفاعی تخلیه کننده تحتانی ۱۵ سانتی متر بالاتر از رقوم کف مدل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که تمام دریچه ها در خط مرکزی فلوم قرار داده شدند.

پس از صفحه مشبک شروع شده و هدف از طراحی آن کاهش میزان تلاطم در سطح جریان ورودی است. مخزن مدل به عنوان مهم ترین بخش از مدل شناخته می شود که دارای طول ۵ متر، ارتفاع $1/5$ متر و عرض $1/4$ متر است، رسوبات مورد نیاز در آزمایش ها در این ناحیه از مدل قرار می گیرند.

برای انجام آزمایش ها سه شکل دریچه دایره ای، مربعی و مستطیلی به کار گرفته شد. برای شکل دریچه دایره ای از یک شیر با قطر $5/1$ سانتی متر استفاده شد و ابعاد دریچه



پلان مدل



مقطع 1-1

- ۱- تابلوی برق، ۲- پمپ، ۳- شیر کنترل جریان ورودی، ۴- لوله برگشت جریان اضافی، ۵- سرریز کنترل کننده ارتفاع آب مخزن، ۶- صفحه مشبک، ۷- تخلیه کننده تحتانی، ۸- صفحه مشبک، ۹- سرریز کنترل کننده جریان خروجی، ۱۰- لوله برگشت جریان، ۱۱- مخزن اصلی تأمین آب

توجه: تمام ابعاد به سانتی متر می باشد.

شکل ۱- پلان و نیمرخ طولی مدل فیزیکی همراه با جزئیات مربوطه

روشن شدن پمپ و رسیدن ارتفاع آب داخل مدل به ارتفاع مورد نظر، دریچه تخلیه‌کننده تحتانی دوم به طور کامل باز و دبی مورد آزمایش که با دریچه تخلیه‌کننده اول کنترل می‌شد، برقرار می‌شد. دبی جریان خروجی با یک سرریز مثلثی زاویه رأس ۶۰ درجه که در حوضچه ته‌نشینی رسوبات آماده شده بود اندازه‌گیری می‌شد. در شروع آزمایش، زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی باز می‌شد، رسوبات تحت فشار آب همراه جریان آب با غلظت رسوب خیلی بالا از دریچه‌ها خارج شده و با گذشت زمان غلظت خروجی رسوبات کاهش می‌یابد. در انتهای هر آزمایش برای اینکه شکل حفره ثابت باقی بماند و تغییر نکند ابتدا شیر تخلیه‌کننده تحتانی بسته می‌شد و سپس آب باقیمانده در مدل با یک شیر با قطر ۵/۱ سانتی‌متر که در ابتدای مدل قرار داشت خارج می‌شد. و آب داخل حفره رسوب‌شویی خیلی آرام با باز کردن شیر تخلیه‌کننده تحتانی به حوضچه ته‌نشینی رسوبات هدایت می‌شد. این کار بسته به ابعاد مخروط رسوب‌شویی ممکن بود تا ساعت‌ها طول بکشد. پس از انجام هر آزمایش پروفیل بستر با استفاده از یک متر لیزری با دقت ± 1 میلی‌متر برداشت شد. شبکه‌بندی مورد استفاده برای برداشت پروفیل به صورت $2/5 \times 2/5$ سانتی‌متر انتخاب شد. شکل ۲ پارامترهای به کار رفته در آزمایش‌ها را نمایش می‌دهد. در این شکل، (H_w) ارتفاع آب داخل مخزن، (H_s) ارتفاع رسوبات تجمع یافته در پشت مخزن، (L_f) طول مخروط رسوب‌شویی، (W_f) عرض مخروط رسوب‌شویی، (α) زاویه مخروط رسوب‌شویی در جهت طولی، (Q_f) دبی خروجی از دریچه و (B) عرض سد در محل بدنه است.

ارتفاع رسوبات در نظر گرفته شده در مدل برای تمام آزمایش‌ها ۲۰ سانتی‌متر است. رسوبات پس از خروج از مدل وارد مخزن ته‌نشینی رسوبات به شکل مکعب مستطیل که در پایین دست مدل قرار داده شده بود می‌شد. برای اندازه‌گیری جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، از یک سرریز مثلث با زاویه رأس ۶۰ درجه استفاده شد. آب خروجی از مدل پس از اندازه‌گیری با یک لوله با قطر ۱۰/۲ سانتی‌متر به مخزن اصلی تأمین آب آزمایشگاه برگشت داده می‌شد. رسوبات مورد استفاده از جنس سیلیس و غیرچسبیده بوده و دارای دانه‌بندی یکنواخت با $d_{50} = 1/15 \text{ mm}$ هستند.

تعداد آزمایش‌ها

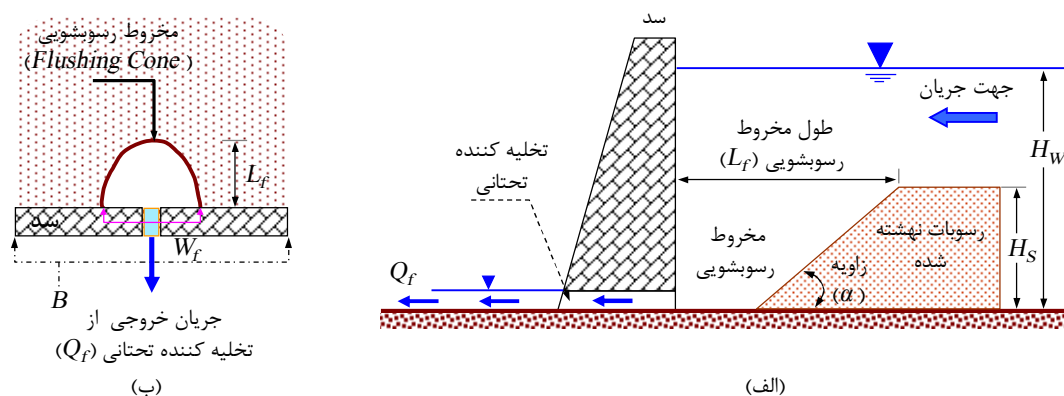
همان‌طوری که از قبل نیز بیان شد از سه شکل دایره‌ای، مربعی و مستطیلی به‌عنوان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی استفاده شد. از دیگر پارامترهای مؤثر در رسوب‌شویی تحت فشار دبی خروجی از دریچه و تراز آب داخل مخزن است. برای هر شکل دریچه آزمایش‌ها با سه دبی خروجی ۱، ۲ و ۳ لیتر بر ثانیه انجام شد. برای هر دبی خروجی، دو ارتفاع آب مخزن ۴۷ و ۶۴/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب برای هر شکل دریچه تخلیه‌کننده ۶ آزمایش انجام شد. بنابراین مجموع آزمایش‌ها برابر ۱۸ آزمایش است. اطلاعات مربوط به آزمایش‌ها در جدول ۱ آمده است.

روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا رسوبات به صورت لایه لایه در مدل ریخته می‌شد، و برای اینکه هوا در داخل رسوبات نماند، ابتدا مقداری آب وارد مدل می‌شد. این عمل در تمام آزمایش‌ها به صورت یکسان انجام می‌شد. پس از

جدول ۱- مشخصات و تعداد آزمایش‌های انجام شده

شکل دریچه	ارتفاع رسوب (H_s) (cm)	ارتفاع آب مخزن (H_w) (cm)	دبی خروجی (Q_f) (L/s)	تعداد آزمایش
دایره ای	۲۰	۴۷ و ۶۴/۵	۱، ۲ و ۳	۶
مربعی	۲۰	۴۷ و ۶۴/۵	۱، ۲ و ۳	۶
مستطیلی	۲۰	۴۷ و ۶۴/۵	۱، ۲ و ۳	۶
مجموع آزمایش‌ها				۱۸



شکل ۲- معرفی پارامترهای به کار برده شده در آزمایش‌ها (الف) پروفیل طولی و (ب) پلان

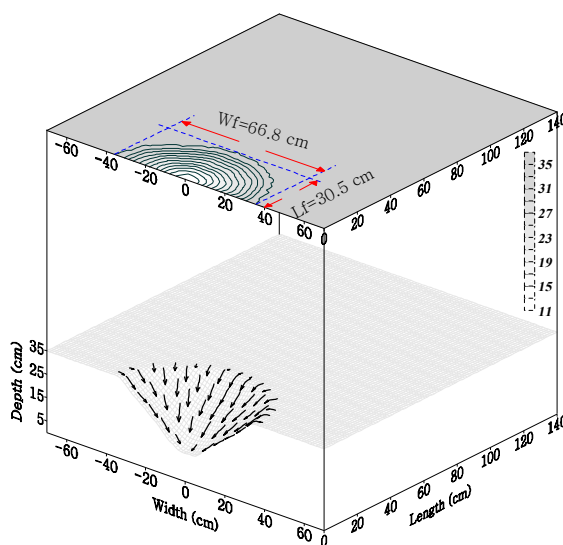
آب به رسوب (H^*) مورد آزمایش (۲/۳۵ و ۳/۲۳) ترسیم شده است که به تفکیک شکل دریچه در زیر ارائه می‌شود. منظور از حجم نسبی مخروط رسوب‌شویی، شکل بدون بعد آن، یعنی (V_f/H_s^3) است. همچنین منظور از دبی نسبی، نسبت دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی به دبی ورودی (Q_f/Q_i) به مخزن است.

همان طوری که در شکل ۴ می‌بینید، بین دبی خروجی از تخلیه‌کننده و حجم مخروط رسوب‌شویی ارتباط مستقیمی وجود دارد. به عبارت بهتر به ازای یک ارتفاع ثابت آب در مخزن، با افزایش دبی خروجی حجم مخروط رسوب‌شویی در هر سه شکل دریچه افزایش می‌یابد. چرا که با افزایش دبی خروجی، سرعت جریان و در نتیجه تنش برشی بستر افزایش یافته و به تخلیه رسوبات کمک می‌کند. همچنین برای بررسی کمی اثر افزایش دبی خروجی، حجم مخروط رسوب‌شویی به دست آمده با استفاده از دبی‌های ۲ و ۳ لیتر بر ثانیه نسبت به دبی ۱ لیتر بر ثانیه (متوسط افزایش ۱۵۰ درصدی دبی خروجی) در دو ارتفاع آب مورد آزمایش مقایسه شده‌اند (جدول ۲).

با توجه به جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت، دریچه‌های دایره‌ای و مربعی نسبت به تغییرات دبی عملکرد بهتری دارند و سبب افزایش بیشتر حجم مخروط رسوب‌شویی می‌شوند. دریچه مستطیلی نسبت به تغییرات دبی عملکرد خوبی از خود نشان نداده است. با توجه به نتایج به دست آمده از اثر دبی خروجی روی حجم مخروط رسوب‌شویی، توصیه می‌شود در رسوب‌شویی تحت فشار دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی با حداکثر ظرفیت خود بهره‌برداری شوند.

نتایج و بحث

حجم مخروط رسوب‌شویی با توجه به نقاط برداشت شده، بانرم‌افزار Surfer 8.0 برای آزمایش‌ها مختلف به دست آمد. به عنوان مثال شکل ۳ خطوط تراز و توپوگرافی مربوط به مخروط رسوب‌شویی برای شکل دریچه مربعی در شرایط دبی خروجی ۳ لیتر بر ثانیه (سرعت خروجی ۱/۹۶ متر بر ثانیه) و ارتفاع آب ۴۷ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- خطوط تراز و توپوگرافی برای دریچه مربعی در شرایط دبی خروجی ۳ لیتر بر ثانیه و تراز آب ۴۷ سانتی‌متر

تأثیر افزایش دبی خروجی و کاهش ارتفاع آب مخزن بر حجم مخروط رسوب‌شویی

برای بررسی تأثیر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی بر حجم مخروط رسوب‌شویی، حجم نسبی مخروط رسوب‌شویی در مقابل دبی نسبی برای دو نسبت ارتفاع

مخزن از ۶۴/۵ به ۴۷ سانتی‌متر (کاهش ۲۷ درصدی ارتفاع آب مخزن) بر حجم مخروط رسوب‌شویی در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳، عملکرد دریاچه دایره‌ای نسبت به کاهش ارتفاع آب مخزن بهتر است. دریاچه مربعی نسبت به کاهش ارتفاع آب مخزن عملکرد مناسبی نداشته است. همچنین از شکل ۴ نیز می‌توان دریافت، به ازای یک دبی خروجی ثابت برای تمامی شکل‌ها دریاچه، کاهش ارتفاع آب سبب افزایش حجم مخروط رسوب‌شویی شده است. پس برای داشتن حداکثر حجم مخروط رسوب‌شویی تا جایی که شرایط بهره‌برداری مخزن اجازه می‌دهد، باید ارتفاع آب مخزن را کاهش داد. این امر سبب می‌شود شرایط مخزن به سمت جریان رودخانه‌ای متمایل شده و سرعت جریان در داخل مخزن افزایش یابد. بدین ترتیب پیشنهاد می‌شود رسوب‌شویی تحت فشار زمانی صورت گیرد که تراز آب مخزن در حالت حداقل بهره‌برداری باشد، یا اینکه در هنگام رسوب‌شویی تلاش شود تراز آب مخزن تا حد ممکن پایین برده شود.

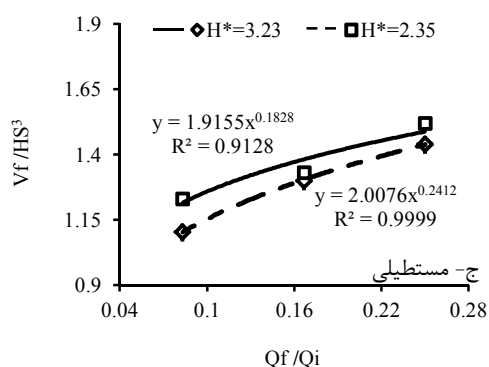
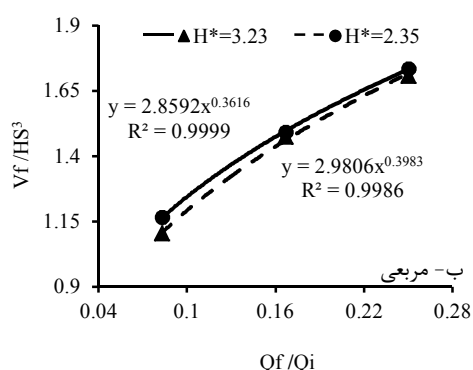
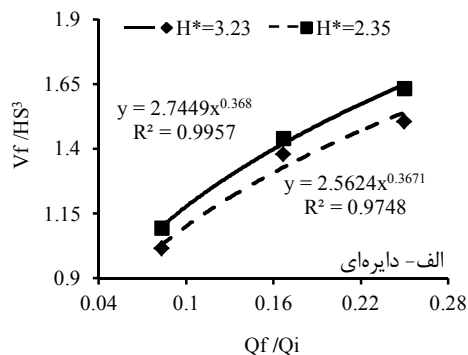
جدول ۳- تأثیر کاهش ارتفاع آب مخزن در تغییرات حجم

مخروط رسوب‌شویی			
مستطیلی	مربعی	دایره‌ای	شکل دریاچه
۶/۶	۲/۸	۶/۹	متوسط درصد تغییرات (V_f)

تأثیر شکل دریاچه بر حجم مخروط رسوب‌شویی

در این پژوهش از سه شکل دایره‌ای، مربعی و مستطیلی برای دریاچه تخلیه‌کننده تحتانی استفاده شد. این دریاچه‌ها در خط مرکزی فلووم قرار گرفتند. شکل ۶ (الف و ب) نشان دهنده تغییرات حجم مخروط رسوب‌شویی برای شکل‌های مختلف دریاچه تخلیه‌کننده تحتانی در دو نسبت ارتفاع آب به رسوب ۲/۳۳ و ۲/۳۵ است.

با توجه به شکل ۶ (الف و ب)، به صورت کلی می‌توان بیان کرد که حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب در دریاچه مربعی، دایره‌ای و مستطیلی بیشتر است. اگرچه این نکته را نباید از نظر دور داشت که در دبی‌های نسبی پایین حجم مخروط رسوب‌شویی در دریاچه مستطیلی نسبت به دریاچه دایره‌ای و مربعی بیشتر است.



شکل ۴- رابطه بین حجم نسبی مخروط رسوب‌شویی

$$\left(\frac{V_f}{H_s^3} \right) \text{ با دبی نسبی } \left(\frac{Q_f}{Q_i} \right)$$

الف: دریاچه دایره‌ای، ب: دریاچه مربعی، ج: دریاچه مستطیلی

جدول ۲- تأثیر افزایش دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی در

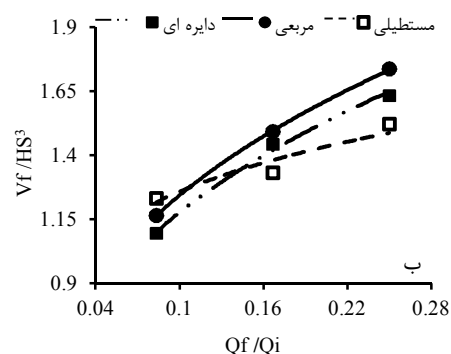
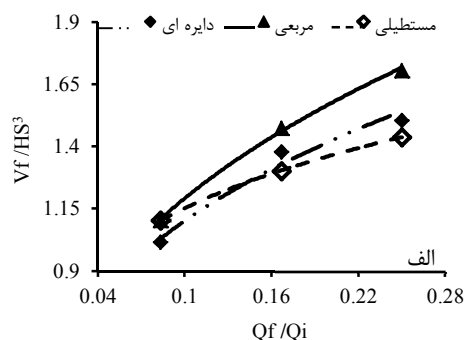
تغییرات حجم مخروط رسوب‌شویی			
مستطیلی	مربعی	دایره‌ای	شکل دریاچه
۱۹/۹	۴۱/۲	۴۱/۳	متوسط درصد تغییرات (V_f)

همان‌طوری که از قبل نیز ذکر شد از پارامترهای مؤثر بر پدیده رسوب‌شویی، ارتفاع آب داخل مخزن است. در این پژوهش آزمایش‌ها با استفاده از دو ارتفاع آب ۶۴/۵ و ۴۷ سانتی‌متر انجام شده است. تأثیر کمی کاهش ارتفاع آب

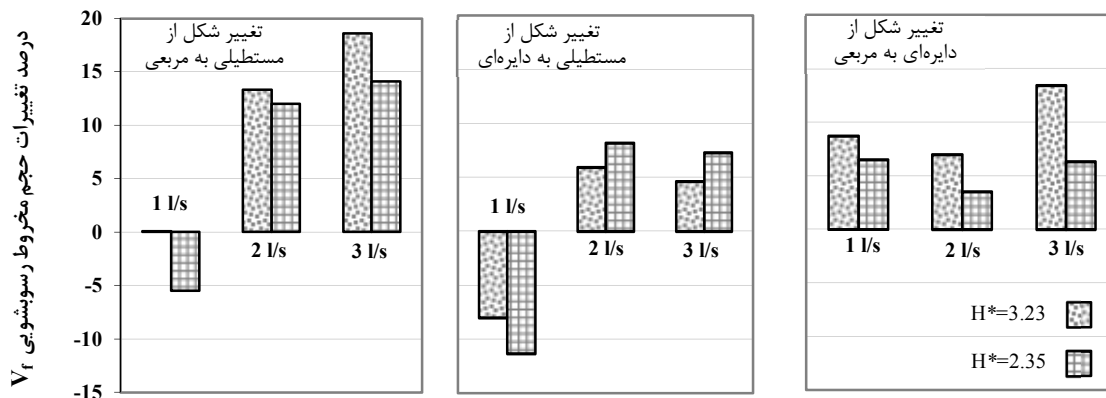
همچنین برای بررسی کمی اثر شکل دریچه تخلیه کننده بر حجم مخروط رسوب شویی، حجم های به دست آمده از آزمایش ها در شکل های مختلف دریچه در شرایط هیدرولیکی یکسان، نسبت به یکدیگر مقایسه شدند (شکل ۷).

با توجه به شکل ۷، در ارتباط با حجم مخروط رسوب شویی به طور کلی عملکرد دریچه مربعی بهتر از دو دریچه دیگر است، چرا که در اثر تغییر شکل دریچه از مستطیلی به مربعی، حجم مخروط رسوب شویی به طور متوسط ۸/۸ درصد افزایش یافته، و در اثر تغییر شکل دریچه از دایره ای به مربعی، افزایش ۷/۶ درصدی حجم مخروط رسوب شویی مشاهده شده است.

پس از دریچه مربعی، دریچه دایره ای و در نهایت دریچه مستطیلی نسبت به یکدیگر عملکرد مناسبی داشته اند. نکته ای که باید به آن توجه شود، عملکرد مناسب دریچه مستطیلی در دبی های نسبی پایین است، به طوری که حجم مخروط در این دریچه نسبت به دریچه مربعی و دایره ای بیشتر است (درصدهای منفی).



شکل ۶- تأثیر شکل دریچه تخلیه کننده تحتانی بر حجم مخروط رسوب شویی - الف: $H^* = 3/23$ ، ب: $H^* = 2/35$



شکل ۷- بررسی کمی تأثیر شکل دریچه تخلیه کننده تحتانی بر حجم مخروط رسوب شویی

$$\frac{V_f}{H_w^3} = 7.27 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{0.349} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{-2.04} \quad (6)$$

$$\left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{0.043} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{0.233}$$

$$\frac{L_f}{H_w} = 2.7 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{0.114} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{-0.673} \quad (7)$$

$$\left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{0.053} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{0.119}$$

ارائه معادله بدون بعد برای حجم مخروط رسوب شویی

با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش ها و روش های آماری، مقادیر ضریب های مربوط به معادلات (۳)، (۴) و (۵) به دست آمد. پس معادلات بدون بعد برای پیش بینی ابعاد مخروط رسوب شویی در شکل های مختلف دریچه تحتانی به صورت زیر خواهد بود:

3. Brandt S. A. 2000. A Review of Reservoir Desiltation. International Journal of Sediment Research. 15(2):321-342.
4. Di Silvio G. 1990. Modeling Desiltation of Reservoirs by Bottom-Outlet Flushing Movable bed Physical Models. H.W., Kluwer Academic Publishers. 159-171.
5. Emamgholizadeh S. Bina M. Fathi-Moghadam M. and Ghomeysi M. 2006. Investigation and Evaluation of the Pressure Flushing through Storage Reservoir. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 1(4):7-16.
6. Fang D. and Cao S. 1996. An Experimental Study on Scour Funnel in Front of a Sediment Flushing Outlet of a Reservoir. Proceedings of the 6th Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, March. 10-14:78-84.
7. Lai J. S. and Shen H. W. 1996. Flushing Sediment through Reservoirs. Journal of Hydraulic Research. 34(2):237-255.
8. Mahmood K. 1987. Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, and Mitigation. World Bank Technical Paper No.71, Washington. 118 p.
9. Meshkati Shahmirzadi M. E. and Dehghani A. A. 2010. Experimental Investigation of Local Half-Cone Scouring against Dam. River Flow 2010 – Dittrich, Koll, Aberle and Geisenhainer. 1267-1273.
10. Meshkati M. E. Dehghani A. A. Naser G. Emamgholizadeh S. and Mosaedi A. 2009. Evolution of Developing Flushing Cone during the Pressurized Flushing in Reservoir Storage. World Academy of Science, Engineering and Technology. 3(10):1107-1111.
11. Morris G. L. and Fan J. 2009. Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use. McGraw-Hill, New York, Electronic Version. 784 p.
12. Scheuerlein H. Tritthart M. and Nunez Gonzalez F. 2004. Numerical and Physical Modeling Concerning the Removal of Sediment Deposits from Reservoirs. Con. proceeding of Hydraulic of Dams and River Structures, Tehran, Iran. 245-254.
13. White W. R. and Bettess R. 1984. The Feasibility of Flushing Sediments through Reservoirs. Challenges in African Hydrology and Water Resources, Proceedings of the Harare Symposium, July. 577-587.
14. Yoon Y. N. 1992. The State and the Perspective of the Direct Sediment Removal Methods from Reservoirs. International Journal of Sediment Research. 7(2):99-116.

$$\frac{W_f}{H_w} = 5.41 \left(\frac{A_f}{H_w^2} \right)^{0.136} \left(\frac{H_w}{H_s} \right)^{-0.583} \left(\frac{u_f}{\sqrt{g \cdot H_w}} \right)^{0.038} \left(\frac{B_G}{H_w} \right)^{0.06} \quad (8)$$

مقادیر میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطا (MAE) و ضریب تبیین (R^2) برای هریک از معادلات بالا در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری معادلات ارائه شده برای

پیش‌بینی ابعاد مخروط رسوب‌شویی			
شماره رابطه	RMSE	MAE	R^2
۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۲	۰/۹۹۰
۱۰	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۹	۰/۹۸۰
۱۱	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۹	۰/۹۹۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر شکل دریاچه تخلیه‌کننده بر ابعاد حفرة رسوب‌شویی به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد:

به ازای یک ارتفاع ثابت آب در مخزن، با افزایش دبی خروجی حجم مخروط رسوب‌شویی در هر سه شکل دریاچه افزایش می‌یابد. دریاچه‌های دایره‌ای و مربعی نسبت به تغییرات دبی عملکرد بهتری دارند. عملکرد دریاچه دایره‌ای نسبت به کاهش ارتفاع آب مخزن بهتر است دریاچه مربعی نسبت به کاهش ارتفاع آب مخزن عملکرد مناسبی نداشته است. به صورت کلی می‌توان بیان کرد که حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب در دریاچه مربعی، دایره‌ای و مستطیلی بیشتر است. پس، می‌توان از دریاچه مربعی به عنوان یک دریاچه مناسب در سدهای تازه تأسیس استفاده کرد.

منابع

۱. امامقلی‌زاده ص. ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵(۴): ۲۳-۴۰.
2. Atkinson E. 1996. The Feasibility of Flushing Sediment from the Reservoir. Report. 99 p.

