

از تخلیه کننده به صورت نمایی و تابعی از ارتفاع آب و ارتفاع
رسوب بدست آمد.

کلید واژه‌ها: مخازن سدها، نوع رسوبات، رسوب‌شویی
تحت فشار، حفره رسوب‌شویی

مقدمه

رسوب‌گذاری در مخازن سدها به عنوان مهم‌ترین عامل در کوتاه نمودن عمر مفید سد مطرح می‌باشد، بنابراین هرگونه بی‌توجهی به این موضوع به ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا مانند ایران، تهدید جدی برای زندگی نسل‌های آینده به شمار می‌رود. رسوبات ته‌نشین شده در مخازن سدها علاوه بر این‌که سبب از بین بردن اهداف مورد انتظار از ساخت یک سد مانند کنترل سیلاب، تولید انرژی، تأمین آب و کشتیرانی می‌گردد، موجب تحت تأثیر قرار دادن تمام سیستم رودخانه از جنبه‌های متعدد خواهد شد، به‌طور مثال می‌توان به مواردی مانند غرقاب شدن اراضی کشاورزی و مسکونی ناشی از بالا آمدن رقوم سطح آب در بالادست بخصوص در ناحیه دلتائی دریاچه سد، کف‌کنی و تخریب سواحل رودخانه در پایین‌دست و مشکلات ناشی از وارد شدن رسوبات به تجهیزات مربوط به توربین‌ها و سیستم‌های برق آبی، انسداد دریچه‌ها و آبگیرها اشاره نمود [۵]. بنابراین مدیریت پایای مخزن، ایجاب می‌نماید که حجم مفید ذخیره مخزن را که به‌وسیله انباشت رسوبات از دست می‌رود از طریق روش‌های رسوب‌زدائی مانند جریان غلیظ، سیفون کردن و رسوب‌شویی حفظ و بازیافت گردد. به این ترتیب می‌توان با برطرف نمودن رسوبات نهشته شده، مخزن را احیاء و ظرفیت ذخیره جدیدی ایجاد نمود [۲].

روش رسوب‌شویی هیدرولیکی

رسوب‌شویی به روشی گفته می‌شود که در آن با باز نمودن تخلیه‌کننده‌های تحتانی (درکف یا رقوم پایین‌تر) رسوباتی که از قبل در داخل مخزن نهشته شده‌اند، همراه با جریان آب خروجی از دریچه‌ها تخلیه و خارج می‌گردند. رسوب‌شویی تکنیک جدیدی نیست و سابقه استفاده از این روش به سال‌های دور برمی‌گردد. برون [۳] اظهار می‌دارد که قدیمی‌ترین روش رسوب‌شویی که در کشور اسپانیا توسط D Rohan مورد استفاده قرارگرفت به قرن شانزدهم بر می‌گردد.

تأثیر نوع رسوبات بر حفره رسوب‌شویی ایجاد شده در رسوب‌شویی تحت فشار

علی اکبر رسولی^۱، امین بردبار^۲، امیرعباس کمان بدست^۳،

علیرضا مسجدی^۴ و محمد حیدر نژاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸

چکیده

انباشت رسوبات در مخازن سدها همواره یکی از مشکلات سدهای مخزنی بوده است. بر این اساس از جمله روش‌های مقابله با این معضل می‌توان به روش رسوب‌شویی تحت فشار اشاره نمود. در این روش در طول مدت انجام رسوب‌شویی، عموماً تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد برای مدت زمان معینی باز شده و سطح آب مخزن تقریباً ثابت نگه داشته می‌شود. زمانی که آب از میان تخلیه‌کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد پس از گذشت مدت زمانی از انجام رسوب‌شویی، حفره یا چاله‌ای از آب‌شستگی به شکل مخروط یا یک قیف در جلوی دریچه تحتانی بوجود خواهد آمد که ابعاد این مخروط به پارامترهای مختلفی همچون دبی جریان خروجی، عمق آب داخل مخزن و نوع رسوبات تجمع یافته در درون مخزن بستگی دارد. در این پژوهش برای بررسی اثر رسوبات چسبنده و غیر چسبنده بر تشکیل مخروط رسوب‌شویی، از یک مدل فیزیکی با ابعاد مشخص استفاده گردید. نتایج نشان داد که در رسوبات غیر چسبنده، الگوی فرسایش پس‌رونده بوده و زمانی که آزمایشات با حداقل ارتفاع آب (۴۰ سانتی‌متر) و حداکثر دبی (هشت لیتر در ثانیه) انجام می‌پذیرد، مخروط رسوب‌شویی حدوداً پس از ۹-۱۱ دقیقه به تعادل می‌رسید. در خصوص رسوبات چسبنده نیز با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج آماری بدست آمده، رابطه پیش بینی غلظت متوسط رسوبات خروجی

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران و گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

۳- نویسنده مسئول و استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، پست الکترونیک: ka57_amir@yahoo.com

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

فان [۴] عمل رسوب‌شویی را به دو دسته تقسیم نمود که عبارتند از: رسوب‌شویی آزاد: در این روش ارتفاع آب مخزن به وسیله تخلیه‌کننده‌های تحتانی تا جایی که جریان رودخانه‌ای در مخزن صورت گیرد، پایین آورده می‌شود.

رسوب‌شویی تحت فشار: در این روش در طول مدت انجام رسوب‌شویی، عموماً تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد برای مدت زمان معینی باز شده و سطح آب مخزن تقریباً ثابت نگه داشته می‌شود. زمانی که آب از میان تخلیه‌کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد جریان آب به طرف تخلیه‌کننده‌های تحتانی موجب ایجاد نیروی فرساینده بر روی رسوبات نهشته شده می‌گردد، لذا همراه جریان آب رسوبات نهشته شده از طریق تخلیه‌کننده‌های تحتانی از سد خارج می‌گردد. در این روش پس از مدتی از انجام رسوب‌شویی حفره یا چاله‌ای از آب‌شستگی به شکل مخروط یا یک قیف در جلوی دریچه تحتانی بوجود آمده و توسعه می‌آید (شکل ۱). این روش زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بخواهند رسوبات نهشته شده در اطراف ورودی آبگیر را بر طرف نمایند [۶].

مدت زمان لازم برای تشکیل کامل حفره آب‌شستگی و به پایدار رسیدن ژئومتری آن، به نوع رسوبات، تراز آب مخزن و ارتفاع رسوبات تجمع یافته بالای تخلیه‌کننده تحتانی بستگی دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز باشد. برای مثال آزمایشات انجام شده بر روی مدل مخزن جیدم (Gebi-dam) در کشور سوئیس نشان داد که حفره آب‌شستگی پس از مدت زمان ۲ تا ۳ ساعت به حالت تعادل می‌رسد [۱]. برای مثال کاربردی در استفاده از رسوب‌شویی تحت فشار می‌توان به سد دز اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

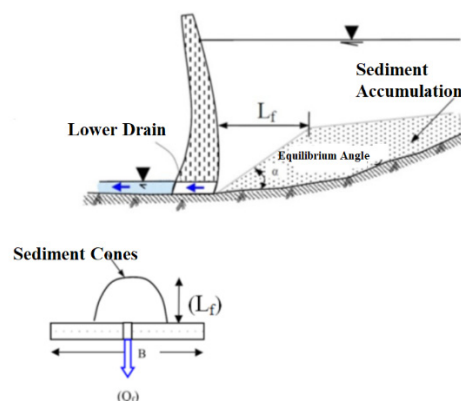
شرح مدل فیزیکی

با توجه به اینکه در پدیده رسوب‌شویی تحت فشار، الگوی جریان در نزدیکی تخلیه‌کننده‌های تحتانی سه‌بعدی می‌باشد و همچنین به دلیل دخیل بودن تعداد پارامترهای زیاد در این پدیده، بررسی رفتار ریاضی آن بسیار مشکل و پیچیده می‌باشد [۷]. بدین منظور برای شناخت این پدیده و رسیدن به اهداف مورد نظر، از مدل فیزیکی استفاده شده است. مدل ساخته شده به شکل مکعب مستطیل با طول ۷ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۱/۲ متر می‌باشد (شکل ۳) و دارای سه قسمت اصلی است: ۱- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام‌کننده جریان) ۲- مخزن مدل ۳- قسمت اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات). قسمت ورودی مدل دارای ابعادی به طول ۱ متر، عمق ۱/۲ متر و عرض ۱/۲ متر می‌باشد. در این قسمت تلاطم جریان ورودی به مدل، گرفته شده و جریان به صورت آرام وارد قسمت مخزن می‌گردد. مخزن دارای طول ۶ متر، ارتفاع ۱/۲ متر و عرض ۱/۲ متر بوده که به منظور کنترل ارتفاع آب داخل مخزن از یک سرریز استفاده گردید و آب مازاد ورودی به مدل، با استفاده از یک لوله ۳ اینچی به مخزن اصلی تأمین آب برگشت داده می‌شود. به منظور رسوب‌شویی، یک تخلیه‌کننده با مقطع دایره‌ای شکل (شیر ۲ اینچ) در خط مرکزی مقطع خروجی با فاصله ۱۰ سانتی متر بالاتر از کف قرار داده شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه‌کننده تحتانی وارد مخزن مکعب مستطیل شکل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات) با ابعادی به طول ۱،۲ متر و ارتفاع ۰،۸ متر که در پایین دست مدل قرار داده شد بود می‌گردند. به منظور اندازه‌گیری جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، از یک سرریز ۲۵ درجه استفاده گردید. آب خروجی از مدل پس از اندازه‌گیری به وسیله یک لوله ۴



شکل ۲- تخلیه‌کننده‌ها در زمان باز شدن جهت رسوب‌شویی تحت فشار (سد دز - خوزستان)

Fig 2. Ejectors opened in time for under pressure flushing (Dez Dam - Khuzestan)



شکل ۱- نمای شماتیک از حفره رسوب‌شویی

Fig 1. A schematic view of flushing hole

شتاب ثقل (g) که به عبارت ریاضی می‌توان نوشت:

$$\bar{C}_s = 0.003546 \left(\frac{u^3}{g(H_W - H_s)\omega} \right)^{0.0577} * e^{1.7629} \quad (1)$$

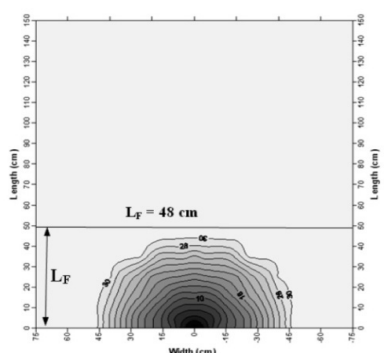
آزمایشات با استفاده از دو نوع بافت انجام گردید. هر کدام از آن‌ها با سه ارتفاع آب و هر ارتفاع آب با ۴ دبی مورد آزمایش قرار گرفت. سه ارتفاع آب و ۴ دبی در نظر گرفته شده به ترتیب ۹۲، ۵۲ و ۲۲ سانتی متر و ۱، ۳، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه بودند. در مجموع برای هر دو نوع رسوب ۲۴ آزمایش انجام گرفت. علاوه بر آن به منظور بررسی تأثیر نسبت پوکی (e) رسوبات در میزان رسوب‌شویی، آزمایشات با استفاده از رسوب نوع ۱، با دو نسبت پوکی، یک ارتفاع آب (۹۰ سانتی متر) و ۴ دبی انجام گردید.

نتایج

بر اساس آزمایش‌های انجام شده، مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، نتایج حاصل بطور خلاصه و به تفکیک نوع رسوبات (غیر چسبنده و چسبنده) به شرح زیر ارائه می‌گردد:

رسوبات غیر چسبنده

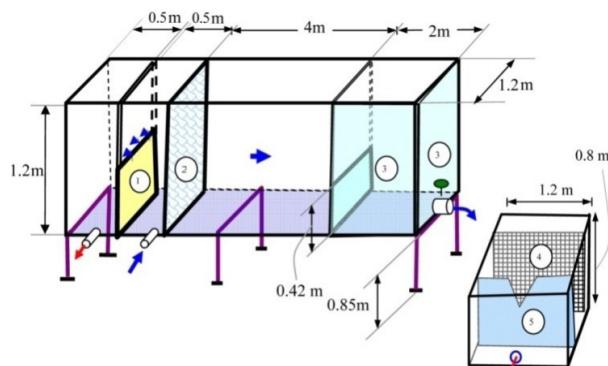
- زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی به منظور رسوب‌شویی باز می‌گردد، رسوبات مجاور دریچه تخلیه‌کننده رسوب، تحت فشار آب، از مخزن تخلیه شده و الگوی فرسایش پسروده در مجاورت دریچه اتفاق می‌افتد. به عبارت بهتر، فرسایش از نزدیکی دریچه شروع شده و با گذشت زمان به طرف بالادست مخزن حرکت می‌نماید.
- آزمایش‌ها نشان داد با توجه به تحت فشار بودن نوع رسوب‌شویی (بالا تر بودن رقوم سطح آب مخزن نسبت به رقوم ارتفاعی بالای دریچه تخلیه رسوبات)، در جلوی دریچه یک مخروط آب‌شستگی تقریباً به شکل نیم‌دایره تشکیل می‌گردد. برای مثال، شکل شماره ۴، توپوگرافی و شکل شماره ۵ نمای سه بعدی از مخروط رسوب‌شویی پس از انجام آزمایش با دبی سه لیتر در ثانیه و ارتفاع آب ۸۰ سانتی متر نسبت به خط مرکزی دریچه با استفاده از رسوبات درشت دانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- توپوگرافی بستر مخروط رسوب‌شویی (رسوبات درشت‌دانه)

Fig 4. Topography of flushing cone bed (coarse sediment)

اینچ به مخزن اصلی تأمین آب، برگشت داده می‌شود. شکل شماره ۳، پلان مدل، پروفیل طولی و مقاطع عرضی همراه با جزئیات مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- پلان، پروفیل طولی و مقاطع عرضی مدل همراه با جزئیات

Fig 3. Plan, longitudinal profile and cross sections of model in details

آزمایشات با استفاده از رسوبات غیر چسبنده

رسوبات غیر چسبنده در سه اندازه درشت‌دانه، متوسط و ریزدانه مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به اینکه ذرات رسوب مورد استفاده بایستی دارای دانه‌بندی یکنواخت باشند، بدین منظور رسوبات در نظر گرفته شده از الک‌های با شماره ۱۰، ۳۰ و ۶۰ گذرانده شدند. الک‌های مذکور به ترتیب دارای مش‌های به قطر ۰،۶، ۰،۲۵ و ۰،۱ میلی متر می‌باشند. آزمایشات با استفاده از رسوبات غیر چسبنده با سه نوع دانه‌بندی انجام گردید. برای هر دانه‌بندی، از سه ارتفاع آب و هر ارتفاع آب با ۵ دبی مورد آزمایش قرار گرفت. سه ارتفاع آب و ۵ دبی در نظر گرفته شده به ترتیب ۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتی متر و ۱، ۳، ۵ و ۶، ۴، ۵ و ۸ لیتر در ثانیه بودند. در مجموع برای هر دانه‌بندی ۱۵ آزمایش و در کل ۴۵ آزمایش برای سه نوع دانه‌بندی رسوب انجام گرفت.

آزمایشات با استفاده از رسوبات چسبنده

برای انجام این آزمایشات دو نوع رسوب چسبنده با درصد‌های متفاوتی از رس و سیلت در نظر گرفته شد:

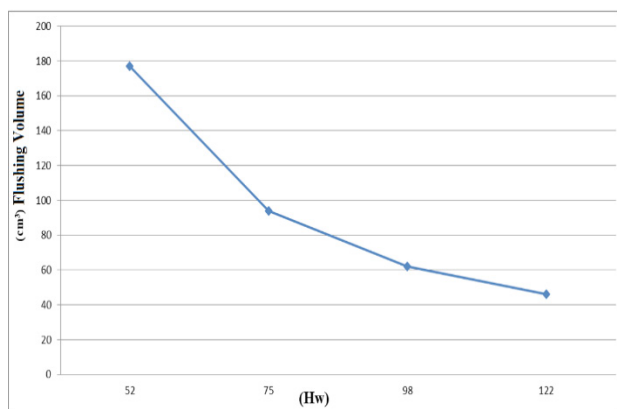
- الف) رسوب چسبنده نوع ۱ (رسوبات تهیه شده از منطقه سوسنگرد)
- ب) رسوب چسبنده نوع ۲ (رسوبات سد دز)

تئوری و آنالیز ابعادی

برای حالت غیر چسبنده و از یک نوع دانه بندی جهت تجزیه و تحلیل استفاده خواهد شد. حجم مخروط رسوب شویی (V_F) به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی (Q_F)، ارتفاع آب بالای رسوبات تجمع یافته ($H_W - H_s$)، ارتفاع رسوبات تجمع یافته در پشت مخزن (H_s)، ابعاد تخلیه کننده تحتانی (مستطیلی $A = l_a * H_a$)، اندازه رسوب (D_{50})، وزن مخصوص رسوبات نهشته شده (γ_s)، وزن مخصوص آب (γ_w) و

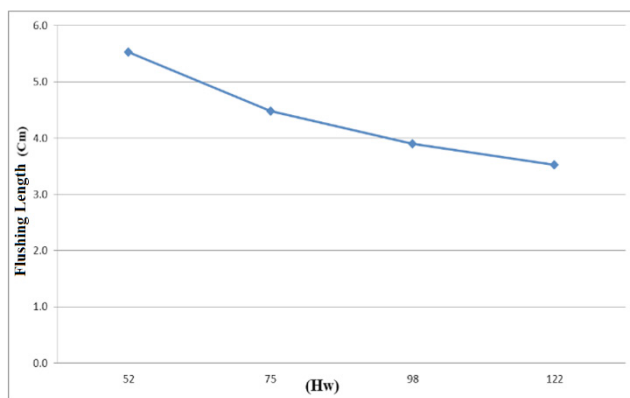
تحت فشار بهتر است تا جایی که شرایط بهره‌برداری مخزن اجازه می‌دهد، درپچه‌های تخلیه‌کننده با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

- بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن (H_w) نشان می‌دهد که، کاهش ارتفاع آب مخزن موجب افزایش حجم (V_f) و گسترش طولی مخروط رسوب‌شویی (L_f) می‌گردد. به‌طوری‌که کاهش ارتفاع آب مخزن بطور متوسط به مقدار ۴۷٫۸ درصد موجب افزایش حجم مخروط رسوب‌شویی به مقدار ۱۲٫۳، ۱۶٫۹ و ۵٫۷ درصد به ترتیب برای رسوبات درشت‌دانه، متوسط و ریزدانه می‌گردد. همچنین کاهش ارتفاع آب مخزن بطور متوسط به مقدار ۴۷٫۸ درصد موجب افزایش طول مخروط رسوب‌شویی به مقدار ۷٫۳، ۳٫۷ و ۳ درصد به ترتیب برای رسوبات ریزدانه، متوسط و درشت‌دانه می‌گردد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶ - تغییرات حجم رسوب‌شویی

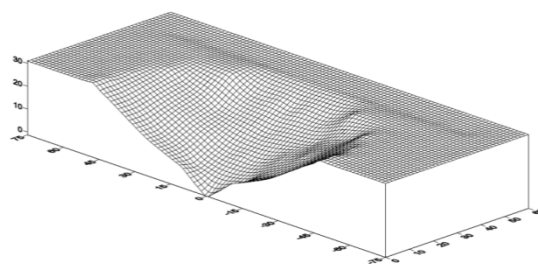
Fig 6. Flushing volume variations



شکل ۷ - تغییرات طول رسوب‌شویی

Fig 7. Flushing length variations

- مقایسه نتایج بدست آمده برای سه رسوب مورد استفاده درشت‌دانه ($D_{50}=1.1\text{mm}$)، متوسط ($D_{50}=0.40\text{mm}$) و ریزدانه ($D_{50}=0.27\text{mm}$) نشان می‌دهد که، کوچکتر شدن اندازه ذره رسوب منجر به افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌گردد. به‌طوری‌که تغییر دانه‌بندی از حالت درشت‌دانه به ریزدانه (کاهش



شکل ۵- نمای سه‌بعدی از مخروط رسوب‌شویی (رسوبات درشت‌دانه)

Fig 5. Three-dimensional view of the flushing cone (coarse sediment)

- مدت زمان لازم برای به تعادل رسیدن مخروط رسوب‌شویی بستگی به عوامل مختلف مانند مقدار دبی جریان خروجی از درپچه، ارتفاع آب داخل مخزن و اندازه رسوب مورد استفاده، دارد. برای مثال زمانی که آزمایشات با حداقل ارتفاع آب (۴۰ سانتی‌متر) و حداکثر دبی (۸ لیتر در ثانیه) انجام گرفت، مخروط رسوب‌شویی حدوداً پس از ۱۱-۹ دقیقه به تعادل می‌رسید.
- اندازه‌گیری شیب حفره رسوب‌شویی تشکیل شده نشان می‌دهد، در حالتی که رسوبات مورد استفاده از نوع درشت‌دانه، متوسط و ریزدانه می‌باشند، مقدار شیب حفره رسوب‌شویی در جهت طولی برای رسوبات ریزدانه بین ۲۵ تا ۳۷ درجه، برای رسوبات متوسط بین ۲۷ تا ۳۲ و برای رسوبات درشت‌دانه بین ۲۸ تا ۳۳ درجه تغییر می‌نماید.
- اندازه‌گیری شیب حفره رسوب‌شویی تشکیل شده در جهت طولی و عرضی در جلوی درپچه تخلیه‌کننده تحتانی نشان می‌دهد، شیب حفره رسوب‌شویی در جهت طولی بطور متوسط ۵-۲ درصد بیشتر از شیب عرضی می‌باشد. بنابراین هرچه مقدار دبی خروجی از تخلیه‌کننده بیشتر باشد، اختلاف بین شیب مخروط رسوب‌شویی در جهت طولی و عرضی بیشتر می‌گردد.
- همان‌طوری که انتظار می‌رود، افزایش دبی جریان خروجی (Q_f) از تخلیه‌کننده رسوب، تأثیر مثبت در افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی دارد. به‌طوری‌که افزایش دبی جریان خروجی منجر به افزایش سرعت جریان در دهانه ورودی تخلیه‌کننده تحتانی شده و در نتیجه تنش برشی اعمال شده بر روی رسوبات افزایش می‌یابد که این امر موجب افزایش کارایی رسوب‌شویی تحت فشار می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده در مجموع، کاهش دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی به‌طور متوسط به مقدار ۷۹٫۳ درصد، موجب کاهش حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب برای رسوبات درشت‌دانه، متوسط و ریزدانه به مقدار ۳۳٫۲، ۳۷٫۴ و ۳۸٫۳ درصد می‌گردد. همچنین طول مخروط رسوب‌شویی برای رسوبات درشت‌دانه، متوسط و ریزدانه به مقدار ۱۲٫۷، ۱۳٫۴ و ۱۵٫۸ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین برای داشتن حداکثر راندمان در رسوب‌شویی

۷۷,۵ درصدی)، درشت دانه به متوسط (کاهش ۶۵ درصدی) و متوسط به ریزدانه (کاهش ۳۵,۷ درصدی) به ترتیب موجب افزایش حجم مخروط رسوب شویی بطور متوسط ۳۸,۹، ۲۲,۵ و ۱۴,۸ درصد می گردد. هم چنین طول مخروط رسوب شویی نیز به ترتیب بطور متوسط ۱۲,۱، ۷,۲ و ۵,۶ درصد افزایش می یابد.

• بین حجم آب مصرف شده (V_w) و حجم رسوبات تخلیه شده (V_s) رابطه زیر را می توان بر قرار نمود:

$$V_s = 0.0006 V_w 1.2603 \quad (1)$$

• بطور متوسط راندمان رسوب شویی تحت فشار، برای رسوبات چسبنده برابر با ۱ درصد می باشد. به عبارت بهتر برای تخلیه یک متر مکعب رسوب لازم است ۱۰۰ متر مکعب آب تخلیه شود، که این امر نشان از راندمان پایین رسوب شویی تحت فشار دارد.

• آنالیز حساسیت انجام شده بر روی تأثیر متغیرهای دبی، ارتفاع آب و اندازه رسوب در حجم و طول مخروط رسوب شویی نشان می دهد، اهمیت پارامترهای فوق به ترتیب دبی، اندازه ذره و ارتفاع آب مخزن می باشد. به عبارت بهتر دبی بیشترین تأثیر را ایفا می نماید.

• در صورتی که رسوبات مورد استفاده از نوع غیر چسبنده باشد، مدل پیش بینی حجم، طول مخروط رسوب شویی و عمق آب شستگی زیر دریچه، به صورت روابط ۲ تا ۴ می باشد:

$$\frac{V_s}{V_w} = 0.77335 \left(\frac{u}{\sqrt{g(Gs-1)d_{20}}} \right)^{0.1108} \left(\frac{H_w - H_s}{H_s} \right)^{-0.0189}, R^2=0.93 \quad (2)$$

$$\frac{L_f}{H_s} = 1.1985 \left(\frac{u}{\sqrt{g(Gs-1)d_{20}}} \right)^{0.1115} \left(\frac{H_w - H_s}{H_s} \right)^{-0.01974}, R^2=0.93 \quad (3)$$

$$\frac{h_s}{h_o} = 0.08532 \left(\frac{u}{\sqrt{g(Gs-1)d_{20}}} \right)^{0.6687} \left(\frac{H_w - H_s}{h_o} \right)^{-0.03425}, R^2=0.88 \quad (4)$$

• با استفاده از داده های آزمایشگاهی بدست آمده از سه رسوب مورد استفاده (درشت دانه، متوسط و ریزدانه) و با تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزار SPSS، رابطه زیر را می توان برای پیش بینی غلظت متوسط رسوبات خروجی از تخلیه کننده تحتانی ($\bar{C}_s = \frac{V_s}{V_w}$) ارائه نمود:

$$\bar{C}_s = 0.008446 \left(\frac{u^2}{g(Gs-1)(H_w - H_s)\alpha} \right)^{0.04852} \quad (5)$$

بحث و نتیجه گیری

رسوبات چسبنده: همان طوری که پیشتر نیز اشاره گردید، رسوبات چسبنده با دو نوع بافت و درصدهای متفاوتی از رس و سیلت مورد استفاده قرار گرفتند که نتایج بدست آمده بطور خلاصه عبارتند از:

• مشاهدات در حین انجام آزمایشات با استفاده از رسوبات چسبنده نشان می دهد که نحوه فرسایش رسوبات بدین صورت بوده که رسوبات بصورت توده ای از سطح رسوب داخل مخزن، کنده شده و همراه جریان آب از دریچه خارج می گردید.

• الگوی فرسایش رسوبات در مجاورت تخلیه کننده از نوع فرسایش پسرونده بوده که فرسایش از نزدیکی دریچه شروع شده و

با گذشت زمان به سمت بالا دست حرکت می نماید.

• با توجه به اینکه نوع رسوب شویی از نوع تحت فشار بوده است، گسترش طولی فرسایش رسوبات محدود بوده به طوریکه در تمامی آزمایشات انجام شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی مخروط رسوب شویی تشکیل می گردد.

• با توجه به چسبنده بودن رسوبات، شکل مخروط رسوب شویی در مقایسه با حالتی که از رسوبات غیر چسبنده استفاده گردید، از شکل منظمی برخوردار نمی باشد.

• اندازه گیری شیب حفره رسوب شویی تشکیل شده نشان می دهد در حالتی که از رسوبات چسبنده نوع ۱ (رسوبات منطقه سوسنگرد) با نسبت پوکی ۰,۸۳، ۲,۰۲ و ۳,۴۹ استفاده گردید، مقدار شیب حفره رسوب شویی به ترتیب برای سه حالت مذکور بطور متوسط برابر با ۶۲,۱، ۵۶ و ۳۸,۹ درجه می باشد. همچنین مقدار متوسط شیب حفره رسوب شویی برای رسوب نوع ۲ (رسوب سد دز) برابر با ۵۶,۵ درجه بدست آمد.

• اندازه گیری های انجام شده نشان می دهد شیب مخروط رسوب شویی در جهت طولی کمی بیشتر از شیب جانبی آن می باشد. بطور متوسط شیب طولی ۵,۲ درصد بیشتر از شیب عرضی می باشد.

• شیب مخروط رسوب شویی رسوبات چسبنده در مقایسه با رسوبات غیر چسبنده بسیار بزرگتر و تندتر می باشد.

• مقایسه شیب مخروط رسوب شویی در شرایط آزمایشگاهی (بطور متوسط ۵۳ درجه) با شیب مخروط رسوب شویی در شرایط صحرایی اندازه گیری شده در مخزن سد دز (بطور متوسط برابر با ۵ درجه)، نشان می دهد که شیب حفره رسوب شویی در شرایط آزمایشگاهی بسیار تندتر از شرایط صحرایی می باشد (تقریباً ۹ برابر بیشتر می باشد).

• در حالتی که رسوبات مورد استفاده از نوع رسوبات چسبنده باشند، نمی توان به تنهایی به نتایج آزمایشگاهی اکتفا نمود و نتایج حاصل از مدل فیزیکی را نیز، دقیقاً نمی توان به شرایط واقعی یا صحرایی تعمیم داد.

• بررسی تأثیر دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی نشان می دهد زمانی که دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی بطور متوسط ۷۹ درصد کاهش می یابد، در حالتی که رسوب مورد استفاده، رسوب نوع ۱ (بانسبت پوکی ۰,۸۳) باشد، طول و حجم مخروط رسوب شویی بطور متوسط به ترتیب به میزان ۱۹ و ۳۱ درصد کاهش می یابد. هم چنین درحالتی که رسوب نوع ۲ (بانسبت پوکی ۱,۶۰) مورد استفاده قرارگیرد، کاهش ۷۹ درصدی دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی موجب کاهش طول و حجم مخروط رسوب شویی بطور متوسط بترتیب به مقدار ۲۱ و ۳۶ درصد می گردد.

• بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن نشان می دهد در حالتی که رسوب نوع ۱ با نسبت پوکی ۰,۸۳ مورد استفاده قرار گرفت کاهش ارتفاع آب مخزن بطور متوسط به میزان ۳۹,۹ درصد موجب افزایش

نماید. بر این اساس نکات زیر را در مورد این مدل می‌توان بیان نمود:

- نتایج شبیه‌سازی پدیده رسوب‌شویی تحت فشار با استفاده از مدل SSIIM نشان می‌دهد که حداکثر خطای مدل مذکور در برآورد حجم مخروط رسوب‌شویی $\pm 20\%$ درصد می‌باشد.

- اجرای مدل SSIIM با استفاده از توابع مختلف انتقال رسوب ایکرز- وایت (Ackers/ White)، شن هانگ (Shen/Hung)، انیشتین (Einstein)، وان راین (Van Rijn) و یانگ (Yang) نشان می‌دهد که مدل وان راین توانایی بهتری در برآورد حجم مخروط رسوب‌شویی تحت فشار دارد.

- شبیه‌سازی هیدرولیک جریان نشان می‌دهد زمانیکه دبی جریان ۱، ۳، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه می‌باشد حداکثر سرعت جریان به ترتیب ۰،۰۹۵، ۰،۳۲، ۰،۴۳ و ۰،۶۴ متر در ثانیه تغییر می‌کند.

- بررسی تنش برشی محاسبه شده به وسیله مدل SSIIM نشان می‌دهد زمانی که دبی جریان ۱، ۳، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه می‌باشد حداکثر تنش برشی بستر به ترتیب از مقدار ۰،۱۴ به مقادیر ۱،۳۴، ۲،۴۲ و ۵،۱۳ نیوتن در ثانیه تغییر می‌کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری می‌باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوزستان و اهواز صورت گرفته و به این وسیله از زحمات آنها تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1. Brandt S. A. 2000. A review of reservoir desiltation. International Journal of Sediment Research, Vol. 15, No, 2000, pp.321-342.
2. Breusers H.N.C., Klaassen G.J., Brakel J. and Van Roode F.C. 1982, Environmental impact and control of reservoir sedimentation. Fourteenth International Congress on Large Dams, Transactions, Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 May, Vol. III, pp. 353-372.
3. Brown, C.B., 1943. The Control of Reservoir Silting. United States Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No. 521.
4. Fan, J., 1985. 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, pp: 65-164.
5. 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, pp.

طول و حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب به میزان ۱۲،۴ و ۳۲،۴ درصد گردید. همچنین کاهش ارتفاع آب مخزن بطور متوسط به میزان ۳۹،۹ درصد برای رسوب نوع ۲ با نسبت پوکی ۱،۶۰، موجب افزایش طول و حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب به میزان ۱۲ و ۱۸،۲ درصد گردید.

- یکی از فاکتورهای موثر در کارایی رسوب‌شویی تحت فشار در دفع رسوبات تجمع یافته، میزان تحکیم رسوبات چسبنده می‌باشد، که به وسیله محققین قبلی مانند شن و لای، موریس و کرومدیک، تاکید شده است. بررسی تأثیر نسبت پوکی رسوب در این پژوهش نشان داد در مجموع کاهش نسبت پوکی بطور متوسط به اندازه ۵۸،۵ درصد، موجب کاهش طول و حجم مخروط رسوب‌شویی به ترتیب به میزان ۴۲،۳ و ۷۲،۹ درصد می‌گردد.

- محاسبه راندمان رسوب‌شویی $E = (\frac{V_s}{V_w}, V_s)$ حجم رسوبات تخلیه شده و V_w حجم آب تخلیه شده در حالتی که از رسوبات چسبنده استفاده گردید مقداری است برابر با ۰،۰۰۱۳۲ که نشان می‌دهد، در مقابل تخلیه ۶۳۷ متر مکعب آب، یک متر مکعب رسوب تخلیه می‌گردد. این امر بیانگر راندمان بسیار پایین رسوب‌شویی تحت فشار می‌باشد.

- آنالیز حساسیت انجام شده به منظور بررسی تأثیر متغیرهای دبی، ارتفاع آب مخزن و نسبت پوکی رسوب بر روی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی نشان می‌دهد، در صورتی که رسوبات از نوع چسبنده باشند اهمیت پارامترهای فوق به ترتیب نسبت پوکی، دبی و ارتفاع آب مخزن می‌باشد. به عبارت دیگر نسبت پوکی رسوبات بیش‌ترین تأثیر را ایفا می‌نماید.

- با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری نتایج بدست آمده توسط نرم‌افزار SPSS رابطه پیش‌بینی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی برای رسوبات چسبنده بصورت زیر ارائه گردیده است:

$$\frac{V_s^2}{H_s} = 0.4689 \left(\frac{u}{\sqrt{g(H_w - H_s)}} \right)^{0.116} * e^{0.531} \quad (6)$$

$$\frac{L_s}{H_s} = 0.486 \left(\frac{u}{\sqrt{g(H_w - H_s)}} \right)^{0.160} * e^{0.729} \quad (7)$$

- با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج آماری بدست آمده، رابطه پیش‌بینی غلظت متوسط رسوبات خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی $(\bar{C}_s = \frac{V_s}{V_w})$ برای رسوبات چسبنده را میتوان به صورت روابط ۶ تا ۷ می‌باشد:

$$\bar{C}_s = 0.003546 \left(\frac{u^2}{g(H_w - H_s)} \right)^{0.0577} * e^{1.7629} \quad (8)$$

نتایج مدل SSIIM

در این پژوهش علاوه بر انجام آزمایشات بر روی مدل فیزیکی، شبیه‌سازی رسوب‌شویی تحت فشار با استفاده از مدل ریاضی SSIIM انجام گرفت. نتایج حاصل از اجرای مدل مذکور نشان می‌دهد که این مدل به خوبی می‌تواند پدیده رسوب‌شویی تحت فشار را شبیه‌سازی

9. 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, D.E. Walling, S.S.D. Foster, P. Wurzel, eds, IAHS Publication No.144, pp. 577-587.

I.78-I.84.

6. Morris L M and Fan J (1997), "Reservoir Sedimentation Handbook", design and management of dams, reservoirs and watershed for sustainable use. McGraw Hill, New York.

7. Scheuerlein H, Tritthart M and Nunez Gonzalez F. 2004. Numerical and physical modeling concerning the removal of sediment deposits from reservoirs. Conference proceeding of Hydraulic of Dams and River Structures, Tehran, Iran.

8. Shen H.W., Lai J.S. and Zhao D. 1993, Hydraulic desiltation for non cohesive sediment. Proceedings of the 1993 Annual ASCE Hydraulic Engineering Conference, San Francisco, H.W. Shen, S.T. Su, and F. Wen, eds, pp. 119-124.

*Abstract***Effect of Sediments Type on Scour Cone in Pressure Flushing**A. A. Rasouli¹, A. Bordbar², A. A. Kamanbedast³, A. Masjedi⁴ and M. Heidarnejad²

Received: 30-05-2017 Accepted: 10-10-2018

The accumulation of sediments in reservoirs of dams has always been one of the problems of reservoir dams. Accordingly, one of the approaches to address this problem can be referred to as the method of pressure flushing. In this method, during the course of flushing, generally the bottom drainage outlets of the dam are opened for a certain period of time and the reservoir water level is kept almost constant. When water discharges through the bottom outlets, and after performing flushing, a hollow or a hole in the form of a funnel or a cone will appear at the front of the outlet gate, that the size of this scour funnel depends on various parameters such as: discharge, depth of water inside the reservoir and the types of sediment deposited inside the reservoir. In this research, a physical model with specific dimensions was used to investigate the effect of cohesive and non-cohesive sediments on the form of flushing funnel. The result of this research shows that in non-cohesive sediment the erosion pattern was retrogressive, and while experiments are done with minimum water depth (40 cm) and maximum discharge (8 lit/s), the flushing funnel will be balanced after 9-11 minutes. of the bottom outlet can be presented in the form of exponential and function of water height and sediment were obtained.

Keywords: Dam reservoirs, Type of sediments, Pressure flushing, Scour funnel

1. Ph.D. student, Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz and Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.

2. Assistance Professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.

3. Corresponding author and Assistance Professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Email: ka57_amir@yahoo.com

4. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.