نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

تأثیر تعداد ردیف، ارتفاع و آرایش صفحات مستغرق در رسوب‌شویی مخزن سد

*قربان مهتابی[۱]، سمانه کریمی[۲] و مژده محمدیون[۲]
[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: یکی از روش‌های مرسوم در تخلیه رسوب مخازن سدها، رسوب‌شویی تحت فشار می‌باشد. در این روش رسوباتی که در مخزن ته‌نشین شده‌اند، به‌وسیله دریچه تحتانی سد و تحت فشار آب از مخزن تخلیه می‌شوند. برای افزایش عملکرد رسوب‌شویی تحت فشار، تلاش می‌شود سطح آب مخزن تا ارتفاع حداقل بهره‌برداری پایین آورده شود. همچنین در پژوهش‌های پیشین، عملکرد روش‌های هیدورلیکی و سازه‌ای مختلفی در جهت افزایش رسوب‌شویی تحت فشار ارزیابی شده است. همواره پژوهشگران تلاش کرده‌اند با شناخت فرایند رسوب‌شویی و پارامترهای مؤثر، راه‌کارهای اجرایی موثری که بتواند عملکرد رسوب‌شویی را افزایش دهد، پیشنهاد نمایند. هدف این پژوهش مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تعداد ردیف، ارتفاع و آرایش صفحات مستغرق در تشدید رسوب‌شویی مخزن می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای انجام آزمایش‌های این پژوهش، از یک مدل فیزیکی شامل مخزن رسوب، حوضچه ته‌نشینی رسوبات و مخزن تأمین آب استفاده گردید. صفحات با دو ارتفاع $H_V/D>1$ و $H_V/D<1$، (H_V ارتفاع صفحات و D قطر دریچه) و تعداد ردیف مختلف (یک، دو و سه ردیف) در مقابل تخلیه‌کننده تحتانی نصب شدند. در آزمایش‌ها علاوه بر آرایش موازی، عملکرد رسوب‌شویی نوع جدیدی از آرایش صفحات تحت عنوان آرایش شعاعی در سه عمق مختلف آب مخزن (سانتی‌متر $H_W=۲۰, ۳۰, ۴۰$) بررسی گردید. رسوبات بستر از جنس ماسه شسته شده با قطر متوسط ۰/۵۱ میلی‌متر بودند. آزمایش‌ها با دبی ثابت ۲ لیتر برثانیه به‌مدت یک ساعت انجام گرفت و در انتهای هر آزمایش رسوبات تخلیه شده توزین شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، در آرایش موازی با کاهش تعداد ردیف صفحات، عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافت، به‌طوری‌که صفحات یک‌ردیفه (دوتایی) با ارتفاع نسبی $H_V/D=۲, ۰/۵$ به‌ترتیب با ۱۷۳ و ۲۳۱ درصد افزایش نسبت به مدل شاهد، دارای بهترین عملکرد رسوب‌شویی بودند. همچنین صفحات موازی با ارتفاع نسبی $H_V/D=۲$ نسبت به صفحات با ارتفاع نسبی $H_V/D=۰/۵$، عملکرد رسوب‌شویی بهتری داشتند. آرایش شعاعی صفحات، عملکرد رسوب‌شویی مخزن را به‌طور مؤثری افزایش داد؛ به‌طوری‌که رسوب‌شویی در صفحات با ارتفاع نسبی $H_V/D=۲, ۰/۵$ نسبت به مدل شاهد به‌ترتیب در حدود ۱۱/۳۳ و ۴/۱ برابر افزایش یافت. در آرایش شعاعی

* مسئول مکاتبه: ghmahtabi@znu.ac.ir

صفحات با ارتفاع نسبی $H_V / D = ۲$، به‌علت تمرکز جریان ورودی دریچه در پشت صفحات جانبی، عملکرد رسوب‌شویی نسبت به صفحات با ارتفاع نسبی $H_V / D = ۰/۵$ کم‌تر بود.

نتیجه‌گیری: آرایش شعاعی صفحات مستغرق توانست رسوب‌شویی را تشدید نماید (به‌خصوص با افزایش عمق آب مخزن). این شرایط یک مزیت نسبی برای اجرای رسوب‌شویی است، یعنی این عملیات در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیازی به پایین آوردن سطح آب مخزن نیست.

واژه‌های کلیدی: آرایش شعاعی، ارتفاع، تعداد ردیف، صفحات مستغرق، رسوب‌شویی

مقدمه

در چند دهه اخیر هر چند سدسازی از نظر کمی روند افزایشی داشته، ولی معضل رسوب‌گذاری همواره به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است. سالانه در حدود ۰/۵ الی یک درصد از کل حجم ذخیره مخازن به‌علت رسوب‌گذاری از دست می‌رود که تنها برای حفظ همین حجم ذخیره، سالانه حدود ۳۰۰ الی ٤۰۰ سد جدید برای ذخیره‌سازی در سطح جهان ساخته می‌شود (۱۵). فرایند رسوب‌گذاری در مخزن سد، حجم مفید را کاهش داده و مدیریت پویای مخزن ایجاب می‌نماید حجم ذخیره مفید مخزن که به‌وسیله انباشت رسوبات از دست می‌رود، حفظ و بازیافت گردد. از پیامدهای منفی رسوب‌گذاری در مخازن علاوه بر کاهش حجم ذخیره آن‌ها، می‌توان به غرقاب شدن اراضی کشاورزی و مسکونی ناشی از بالا آمدن رقوم سطح آب در بالادست مخزن، کف‌کنی و تخریب سواحل رودخانه در پایین‌دست، مشکلاتی ناشی از ورود رسوبات به توربین‌ها و سیستم‌های برق‌آبی اشاره نمود (۷).

برای حل مشکل رسوب‌گذاری روش‌های مختلفی اعم از عبوردهی جریان غلیظ، سیفونی کردن، لایروبی و رسوب‌شویی هیدرولیکی وجود دارد، که به‌کارگیری هر کدام مستلزم شناخت توانایی و محدودیت‌های آن‌ها می‌باشد. یکی از رایج‌ترین این روش‌ها، رسوب‌شویی هیدرولیکی است که به دو صورت آزاد و تحت فشار در مخازن سدها انجام می‌پذیرد. در روش رسوب‌شویی آزاد، ارتفاع آب مخزن به‌وسیله باز شدن تخلیه‌کننده‌های تحتانی پایین آورده شده و مخزن به‌طور کامل تخلیه می‌شود. در رسوب‌شویی تحت فشار، تراز آب بالاتر از تخلیه‌کننده تحتانی بوده و با بازکردن دریچه، آب از آن به‌صورت تحت فشار خارج می‌گردد (٤). برای افزایش میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار، تلاش می‌شود سطح آب مخزن تا ارتفاع حداقل بهره‌برداری پایین آورده شود. مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که این مطالعات عمدتاً در جهت شناخت بهتر فرآیند رسوب‌شویی تحت فشار و پارامترهای هیدرولیکی مؤثر و میزان تأثیر آن‌ها بر این فرآیند بوده و پژوهش‌های اندکی در ارتباط با راه‌کارهای سازه‌ای افزایش عملکرد رسوب‌شویی تحت فشار صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

آلتوس (۲۰۱۱) با کارگذاری جت آب با آرایش‌های خطی و دایره‌ای در داخل مخزن، گزارش کرد که آرایش دایره‌ای دارای عملکرد بهتری از آرایش خطی می‌باشد (۳). جلیلی و حسین‌زاده دلیر (۲۰۱۲) با مطالعه تأثیر کارگذاری سازه نیم‌استوانه با قطرهای مختلف در جلوی دریچه تحتانی، گزارش کردند با افزایش قطر سازه، میزان تخلیه رسوبات نسبت به مدل شاهد تا ۱۵ برابر افزایش می‌یابد (۱۱).

در پژوهشی توسط عبداله‌پور و حسین‌زاده دلیر (۲۰۱۳)، تأثیر جریان گردابی با حضور سازه نیم‌استوانه در قطرها و ارتفاع سطح آب مختلف بر تخلیه رسوبات از مجاورت تخلیه‌کننده‌های تحتانی بررسی شد. طبق نتایج، در حالتی که نسبت قطر سازه به طول شکاف برابر ۲ و قطر سازه ۲/۵ برابر قطر دریچه تحتانی باشد، بیش‌ترین مقدار رسوب‌شویی اتفاق می‌افتد (۱). محمدی و همکاران (۲۰۱٤) نیز به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه درپوش‌دار در مقابل دریچه تخلیه تحتانی را در تشدید رسوب‌شویی تحت فشار مؤثر دانستند. طبق نتایج، این سازه ظرفیت رسوب‌شویی را تا ۱۰ برابر نسبت به حالت بدون سازه افزایش می‌دهد (۱۰). عبداله‌پور و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر قرارگیری شمع و صفحات مستغرق (یک ردیفه موازی) در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی مخزن را بر راندمان رسوب‌شویی تحت فشار بررسی کردند. نتایج نشان داد در صفحات مستغرق بیش‌ترین میزان رسوبات تخلیه شده مربوط به حالتی است که فاصله صفحات از دیواره پایین‌دست نسبت به قطر دریچه تخلیه‌کننده برابر ۰/۳ باشد (۲). توفیقی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی آزمایشگاهی تأثیر توسعه مجرای تخلیه‌کننده بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی به این نتیجه رسیدند که توسعه مجرا، تأثیری مثبت و محسوس بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی دارد (۱٤). مددی و همکاران (۲۰۱٦) نیز تأثیر استفاده از سازه PBC (استوانه افقی شیاردار) متصل به دریچه تخلیه رسوب را در افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار بررسی کردند. نتایج نشان داد که با کاربرد این سازه راندمان رسوب‌شویی در مقایسه با شاهد ٤/۵۷ برابر شده است (۸).

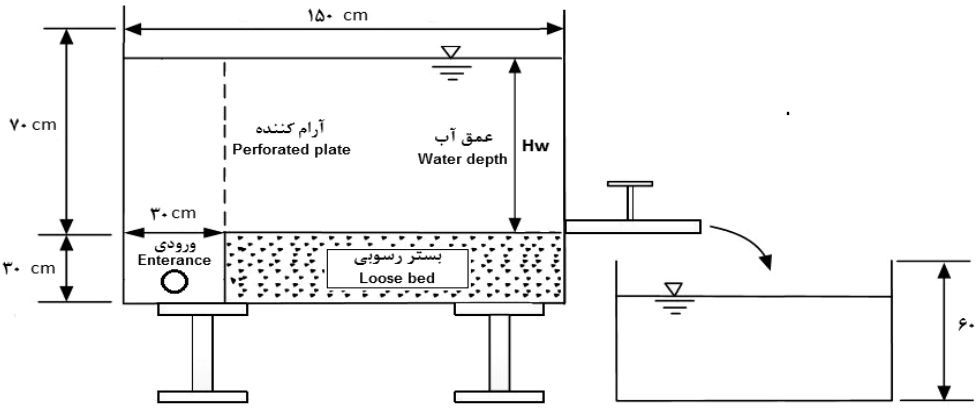
مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش جامعی در زمینه کاربرد صفحات مستغرق جهت افزایش راندمان رسوب‌شویی مخازن سدها انجام نشده است. در این پژوهش تأثیر ارتفاع، تعداد و آرایش صفحات مستغرق در افزایش عملکرد رسوب‌شویی تحت فشار مخزن ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی: برای انجام آزمایش‌های این پژوهش از یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان استفاده شد. این مدل فیزیکی شامل سه قسمت مخزن رسوبات، حوضچه ته‌نشینی رسوبات و مخزن تأمین آب می‌باشد. مخزن رسوبات به شکل معکب مستطیل دارای ابعادی به طول ۱۵۰ سانتی‌متر، عرض ۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. آب در یک سیستم چرخشی با کمک پمپ از مخزن تامین آب به داخل مخزن رسوبات انتقال می‌یابد و در ادامه، جریان خروجی مخزن رسوبات به حوضچه ته‌نشینی تخلیه و آب از آن‌جا به مخزن تامین آب هدایت می‌شود. در مخزن رسوبات، جریان آب پس از عبور از قسمت آرام‌کننده، وارد بخش اصلی مخزن رسوبات می‌شود (شکل ۱).

تخلیه رسوبات به‌وسیله یک دریچه و شیر تخلیه به قطر تقریبی ۵ سانتی‌متر (D قطر دریچه) انجام شد. این دریچه در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از کف و در خط مرکزی مخزن نصب گردید و سطح بستر رسوبی منطبق بر تراز پایین دریچه بود. به‌عبارت دیگر عمق لایه رسوبی برابر ۳۰ سانتی‌متر بود. رسوبات مورد استفاده در این پژوهش از جنس ماسه شسته با قطر متوسط (d_{50}) برابر ۰/۵۱ میلی‌متر بود. صفحات مستغرق از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۱ میلی‌متر و به شکل مستطیل ساخته شدند. طول این صفحات برابر ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع کل آن‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود (۱۳) که برای حفظ پایداری، صفحات بر روی ورق فلزی نصب گردید.

در این پژوهش عملکرد صفحات مستغرق در دو آرایش موازی و شعاعی بررسی شدند. با توجه به این‌که الگوی جریان اطراف دریچه تحتانی به‌صورت جریان شعاعی سه‌بعدی می‌باشد، به‌نظر می‌رسد با تغییر دادن آرایش صفحات به شکل شعاعی، این صفحات بیش‌تر تحت‌تأثیر میدان جریان اطراف دریچه قرار گرفته و با تقویت جریان‌های گردابه‌ای در نزدیکی دریچه، راندمان رسوب‌شویی افزایش یابد.



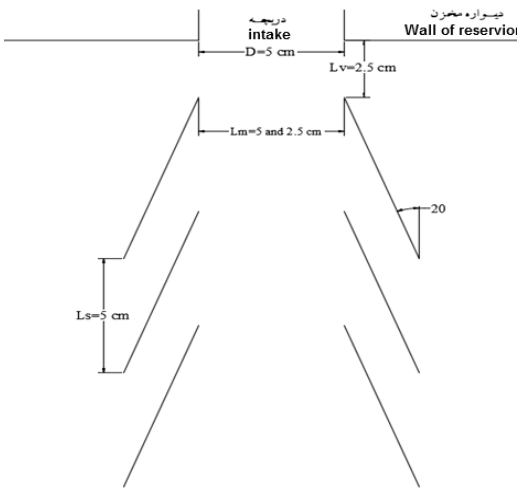
شکل ۱- نمایی از مقطع طولی مدل فیزیکی مورد استفاده.

Figure 1. Schematic of longitudinal section of physical model.

در آرایش موازی، تأثیر تعداد صفحات (n) به‌صورت یک‌ردیفه ($n=۲$)، دوردیفه ($n=٤$) و سه‌ردیفه ($n=٦$) بررسی شدند. در این آرایش، فاصله طولی (L_S) برابر ۵ سانتی‌متر ($L_S/D=۱$) و فاصله میانی (L_m) برابر ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر ($L_m/D=۱$,۰/۵) انتخاب شدند. صفحات موازی با فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از دیواره مخزن ($L_V/D=۰/۵$) و زاویه ۲۰ درجه (۲) در مقابل دریچه نصب شدند (شکل ۲). در آزمایش‌های تکمیلی (مدل ترکیبی)، با توجه به مطالعات بایکارا (۲۰۱۳)، از یک صفحه افقی به ابعاد ۷/۵×۱۵ سانتی‌متر ($۱/۵D\times۳D$) جهت افزایش عملکرد صفحات مستغرق ۲/۵ سانتی‌متری استفاده شد (۵). در مدل ترکیبی، همراه با صفحات موازی یک‌ردیفه و صفحات شعاعی با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر، صفحه افقی از طریق وجه طولی در بالای دریچه نصب شد (شکل ۳).

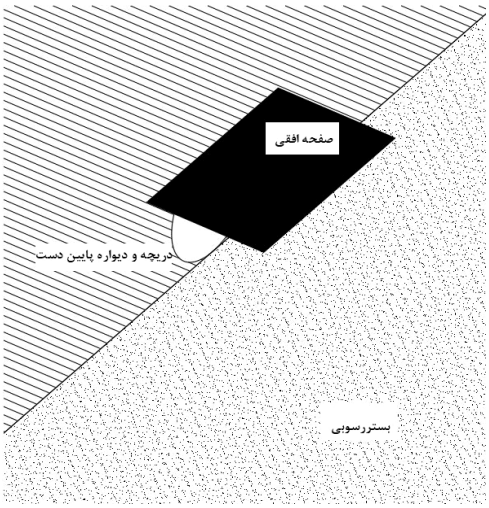
در آرایش شعاعی، صفحات شامل دو صفحه اصلی (یک‌ردیفه) و دو صفحه جانبی به‌صورت شکل ٤ در مقابل دریچه قرار گرفتند ($n=٤$). در این شکل، L_m فاصله میانی صفحات اصلی و L_S فاصله صفحات جانبی از صفحات اصلی و L_V فاصله صفحات جانبی از دریچه است. در این آرایش، به‌منظور قرارگیری صفحات اصلی و جانبی در مقابل دریچه، فاصله میانی صفحات برابر ۲/۵ سانتی‌متر ($L_m/D=۰/۵$) و فاصله صفحات جانبی از صفحات اصلی برابر ۱/۲۵ سانتی‌متر ($L_S/D=۰/۲۵$) انتخاب شد. صفحات اصلی با زاویه ۲۰ درجه و صفحات جانبی با زاویه ۱۵ درجه در مقابل دریچه نصب شدند. فاصله صفحات اصلی از دیواره مخزن مشابه فاصله صفحات موازی برابر ۲/۵ سانتی‌متر و فاصله صفحات جانبی از دیواره مخزن نیز برابر ۱ سانتی‌متر ($L_V/D=۰/۲$) انتخاب شدند (شکل ٤).

در هر دو آرایش موازی و شعاعی، اثر ارتفاع صفحات در عملکرد رسوب‌شویی مخزن در دو حالت $H_V / D > ۱$ و $H_V / D < ۱$ بررسی شد. بر این مبنا بعد از ریختن رسوبات بستر، ارتفاع صفحات (H_V) بر روی بستر رسوبی ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در آزمایش‌ها سه ارتفاع آب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر با دبی ثابت ۲ لیتر بر ثانیه به‌کار رفت. با توجه به این‌که کم‌ترین ارتفاع آب ۲۰ سانتی‌متر بود، در همه آزمایش‌ها صفحات به‌صورت مستغرق عمل کردند.



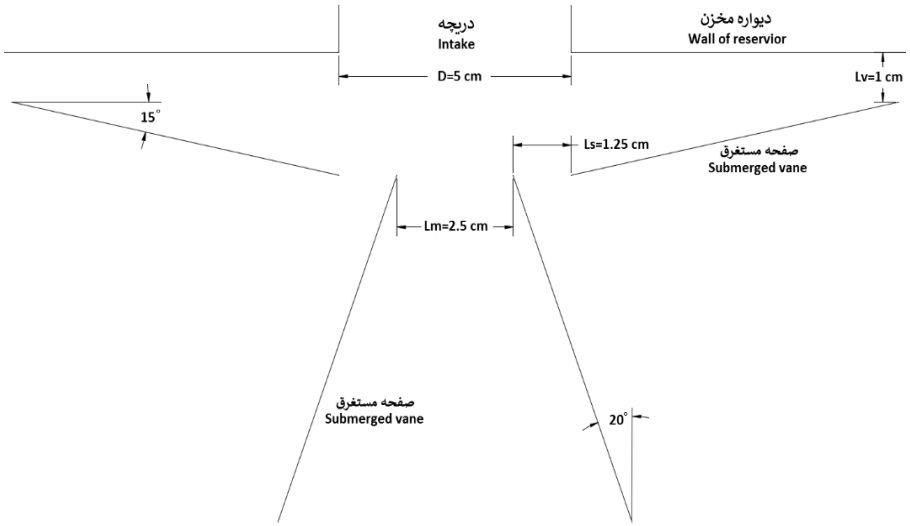
شکل ۲- آرایش موازی صفحات مستغرق.

Figure 2. Schematic of horizontal plate over the intake.



شکل ۳- نمایی از صفحه افقی در بالای دریچه.

Figure 3. Parallel arrangement of submerged vanes.



شکل ٤- آرایش شعاعی صفحات مستغرق.

Figure 4. Radial arrangement of submerged vanes.

صفحات مستغرق در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی کارگذاری و رسوبات مسطح گردید. در ادامه سطح بستر به‌وسیله یک قطعه چوب صاف می‌گردید. سپس با استفاده از یک تراز بنایی از مسطح بودن بستر اطمینان حاصل می‌گردید. به‌منظور جلوگیری از تخریب اولیه سطح بستر رسوبی، در ابتدا شیر آب لوله ورودی به مدل خیلی آرام باز شده و جریان آب به‌تدریج وارد مدل می‌گردید. بعد از مدتی شیر فلکه باز می‌شد و تا این‌که سطح آب به ارتفاع مورد نظر آزمایش برسد. برای تنظیم آب در داخل مخزن از اشل‌هایی که در کنار مخزن پیش‌بینی شده بود، استفاده گردید. بعد از رسیدن ارتفاع سطح آب به ارتفاع مورد نظر آزمایش، شیر تخلیه‌کننده تحتانی باز می‌گردید. با باز کردن شیر تخلیه‌کننده تحتانی، رسوبات تحت فشار آب از دریچه تحتانی خارج می‌شد. در لحظات اولیه، رسوبات با غلظت خیلی زیاد از تخلیه‌کننده خارج شده و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش می‌یافت. مخلوط آب و رسوب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی وارد حوضچه مستطیلی پایین‌دست می‌شد. آزمایش‌ها تا زمانی که حفره رسوب‌شویی به تعادل برسد، ادامه می‌یافت. آزمایش‌ها بعد از باز شدن دریچه و خروج رسوبات از آن، در حدود به‌مدت یک ساعت انجام می‌شد. پس از پایان یافتن هر آزمایش، ابتدا دریچه تخلیه‌کننده تحتانی رسوبات بسته می‌شد. سپس شیر ورودی به مدل را بسته و شیر تخلیه قسمت آرام‌کننده مخزن به‌صورت خیلی آرام باز می‌شد. در نهایت به‌منظور بررسی عملکرد رسوب‌شویی صفحات، رسوبات شسته شده جمع‌آوری و پس از خشک کردن توزین می‌شدند.

آنالیز ابعادی: وزن رسوبات تخلیه شده (Q_S) توسط صفحات مستغرق تابعی از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مختلفی می‌باشد که می‌توان به‌صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$f(Q_S, H_W, g, \rho_W, \rho_S, \mu, d_{50}, D, L_m, L_V, L_S, L, \alpha, H_V) = 0 \quad (۱)$$

که در آن، H_W ارتفاع آب داخل مخزن، g شتاب ثقل، ρ_W وزن مخصوص آب، ρ_S وزن مخصوص رسوبات، μ لزوجت دینامیکی سیال، d_{50} قطر ذرات رسوبی، D قطر دریچه تخلیه‌کننده تحتانی، L_m فاصله میانی صفحات اصلی، L_V فاصله صفحات جانبی از دریچه، L_S فاصله بین صفحات اصلی و جانبی، L طول صفحات، α زاویه صفحات و H_V ارتفاع صفحات می‌باشد. با کاربرد روش پی-باکینگهام رابطه بالا را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$f(\frac{H_w}{D}, \frac{\rho_w}{\rho_S}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{L_V}{D}, \frac{Q_S}{D^{2.5}g^{0.5}}, \frac{\mu}{\rho_w g^{0.5} D^{1.5}}, \frac{H_V}{D}, \frac{L}{D}, \frac{L_S}{D}, \frac{L_m}{D}, \alpha) = 0 \quad (۲)$$

با توجه به ثابت بودن پارامترهای ρ_S، ρ_W، d_{50}، α، L_S، L_m، L_V و L در تمام آزمایش‌ها، می‌توان از پارامترهای بی‌بعد مربوط صرف‌نظر کرد. بنابراین رابطه نهایی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$F = \frac{Q_S}{D^{2.5}g^{0.5}} = f(\frac{H_w}{D}, \frac{H_V}{D}) \quad (۳)$$

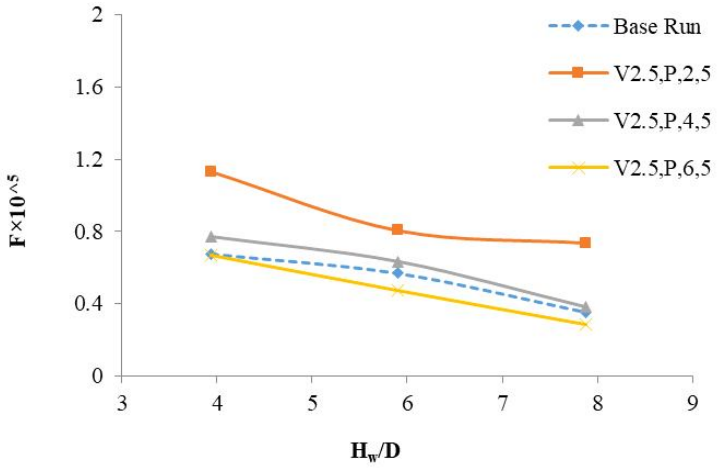
با توجه به رابطه فوق، میزان بی‌بعد رسوبات تخلیه‌شده ($F = \frac{Q_S}{D^{2.5}g^{0.5}}$) تابعی از پارامترهای ارتفاع بی‌بعد آب داخل مخزن (H_W / D)، ارتفاع بی‌بعد صفحات (H_V / D) می‌باشد. در این پژوهش با در نظر گرفتن تعداد صفحات (n) و آرایش آن‌ها جمعاً ٤ پارامتر متغیر وجود داشت که به همراه دو سری آزمایش تکمیلی در مجموع ۳۹ آزمایش انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر تعداد صفحات در آرایش موازی: تأثیر تعداد صفحات مستغرق موازی بر عملکرد رسوب‌شویی در صفحات با فاصله میانی (L_m) ۵ سانتی‌متر برای دو ارتفاع (H_V) ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متری به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ٦ ارائه شده است. در این شکل‌ها تغییرات مقادیر بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به

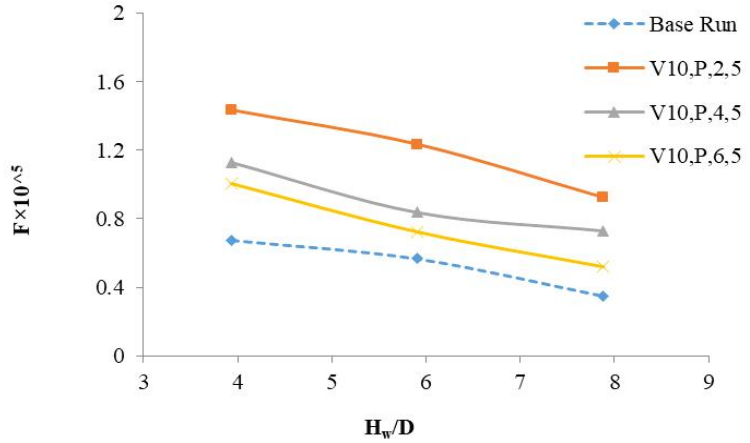
عمق‌های نسبی آب مخزن (H_W / D) نشان داده شده است. نام آزمایش‌ها با حرف اختصاری V دارای چهار اندیس می‌باشد که به‌ترتیب از چپ به راست شامل ارتفاع صفحات (H_V)، آرایش موازی یا شعاعی (P یا R)، تعداد صفحات (n) و اندیس آخر فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) است. مطابق این دو شکل، در تمام مدل‌ها مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) با افزایش عمق بی‌بعد مخزن (H_W / D) روند نزولی دارد که با نتایج سایر پژوهشگران مانند پاول (۲۰۰۷)، امام‌قلی‌زاده (۲۰۰۸)، مشکاتی شهمیرزادی و همکاران (۲۰۱۰) و عبداله‌پور و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۲، ٦، ۹ و ۱۳). در زمان تخلیه آب از طریق دریچه تحتانی، جریان‌های گردابی با محور قائم در اطراف دریچه ایجاد می‌شود که باعث ایجاد تلاطم و رسوب‌شویی مخزن می‌شوند (۱۳). با افزایش ارتفاع آب مخزن و افزایش فشار هیدرواستاتیکی، قدرت این جریان‌های گردابی کاهش یافته و منجر به کاهش مقدار رسوب‌شویی شده است.

مطابق نتایج شکل‌های ۵ و ٦، در اکثر مدل‌های صفحات مستغرق موازی نسبت به مدل شاهد، عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد با نصب صفحات مستغرق، قدرت جریان‌های گردابی افزایش یافته و در نتیجه رسوب‌شویی شدت گرفته است. در هر دو مدل صفحات با ارتفاع ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متری، با کاهش تعداد صفحات موازی، عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که صفحات یک‌ردیفه (دوتایی) ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متری به‌ترتیب با ۱۷۳ و ۲۳۱ درصد افزایش نسبت به مدل شاهد، دارای بهترین عملکرد رسوب‌شویی می‌باشند. مطابق نتایج عبداله‌پور و همکاران (۲۰۱۵)، عملکرد رسوب‌شویی صفحات مستغرق موازی یک ردیفه (دوتایی) با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر نسبت به مدل شاهد به‌طور متوسط ۳۲۷ درصد افزایش داشته است (۲). عملکرد بیش‌تر رسوب‌شویی در نتایج عبداله‌پور و همکاران (۲۰۱۵) می‌تواند ناشی از متفاوت بودن نوع رسوبات مورد استفاده و ارتفاع آب مخزن باشد. به‌نظر می‌رسد در صفحات موازی به غیر از دو صفحه ردیف اول، تأثیر صفحات ردیف‌های بعدی در عملکرد رسوب‌شویی به‌علت دور شدن صفحات از مقابل دریچه تخلیه، کاهش می‌یابد. این مسأله در صفحات با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متری با شدت بیش‌تری مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که عملکرد رسوب‌شویی صفحات مستغرق سه‌ردیفه نسبت به مدل شاهد نیز کم‌تر شده است.



شکل ۵- تأثیر تعداد صفحات مستغرق بر عملکرد رسوب‌شویی در صفحات با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متری.

Figure 5. Effect of the number of submerged vanes on the flushing performance in vanes with 2.5 cm height.

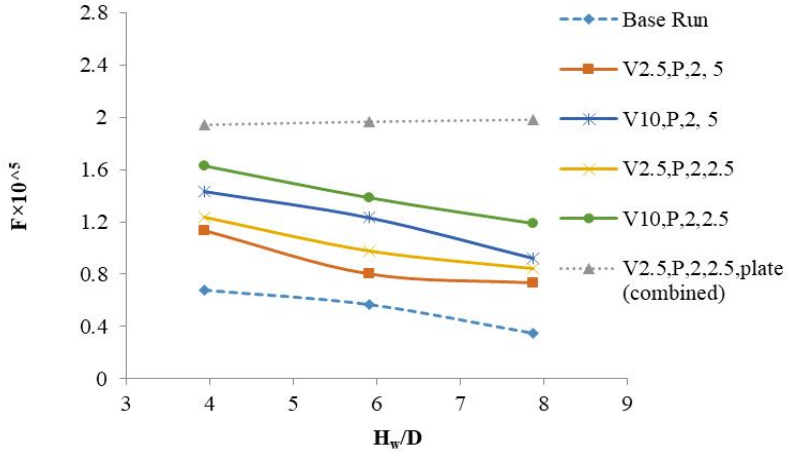


شکل ٦- تأثیر تعداد صفحات مستغرق بر عملکرد رسوب‌شویی در صفحات با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری.

Figure 6. Effect of the number of submerged vanes on the flushing performance in vanes with 10 cm height.

تأثیر ارتفاع صفحات در آرایش موازی یک‌ردیفه: به‌منظور بررسی تأثیر ارتفاع صفحات مستغرق موازی در عملکرد رسوب‌شویی، در شکل ۷ نتایج رسوب‌شویی صفحات یک ردیفه موازی ($V_{2.5,P,2,5}$ و $V_{10,P,2,5}$) به همراه مدل ترکیبی آرایش موازی ($V_{2.5,P,2,2.5,plate}$) ارائه شده است. در نام‌گذاری آزمایش‌ها، اندیس چهارم مربوط به فاصله میانی صفحات (L_m) می‌باشد. با توجه این‌که فاصله میانی صفحات اصلی در آرایش شعاعی برابر ۲/۵ سانتی‌متر انتخاب شده بود، این فاصله در صفحات موازی یک ردیفه ($V_{2.5,P,2,2.5}$ و $V_{10,P,2,2.5}$) نیز بررسی گردید که نتایج آن‌ها در شکل ۷ ارائه شده است. مطابق این شکل در هر دو فاصله میانی (L_m)، صفحات موازی یک‌ردیفه با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری عملکرد بهتری نسبت به صفحات ۲/۵ سانتی متری دارند؛ به‌طوری‌که عملکرد صفحات ۱۰ سانتی‌متری نسبت به صفحات ۲/۵ سانتی‌متری در حدود ۳۵ درصد بیش‌تر است. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش فاصله میانی صفحات (از ۵ سانتی‌متر به ۲/۵ سانتی‌متر) در یک ارتفاع ثابت صفحات (۲/۵ یا ۱۰ سانتی‌متر)، عملکرد رسوب‌شویی صحفات موازی افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد با کاهش مقدار فاصله میانی صفحات، انقباض یا تنگ‌شدگی در محل ورود آب به دریچه تحتانی ایجاد شده و با تشدید تلاطم جریان، رسوب‌شویی تقویت شده است.

به‌منظور افزایش عملکرد صفحات موازی یک‌ردیفه با فاصله میانی و ارتفاع برابر ۲/۵ سانتی‌متر ($V_{2.5,P,2,2.5}$)، از یک صفحه افقی (plate) به ابعاد ۱۵×۷/۵ سانتی‌متر که درست در بالای دریچه نصب می‌شد (۵)، استفاده گردید. مطابق شکل ۷، عملکرد رسوب‌شویی مدل ترکیبی ($V_{2.5,P,2,2.5,plate}$) نسبت به صفحات با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر ($V_{10,P,2,2.5}$) افزایش محسوسی نشان داد، به‌طوری‌که عملکرد رسوب‌شویی آن نسبت به مدل $V_{10,P,2,2.5}$ در حدود ٤٢ درصد افزایش یافته است. همچنین در مدل ترکیبی بر خلاف سایر مدل‌های صفحات موازی، عملکرد رسوب‌شویی با افزایش عمق آب مخزن روند کاهشی نداشته و تقریباً ثابت است. با نصب صفحه افقی، علاوه بر کاهش اثر منفی فشار هیدرواستاتیکی بر روی جریان‌های گردابی، جریان خروجی دریچه در اطراف صفحات مستغرق متمرکز شده و قدرت جریان‌های گردابی افزایش یافته است. محمدی و همکاران (۲۰۱٤) نیز با استفاده از سازه نیم‌استوانه سرپوشیده در افزایش رسوب‌شویی مخزن، گزارش کردند که تغییرات رسوب‌شویی در برابر ارتفاع آب ناچیز است (۱۰).



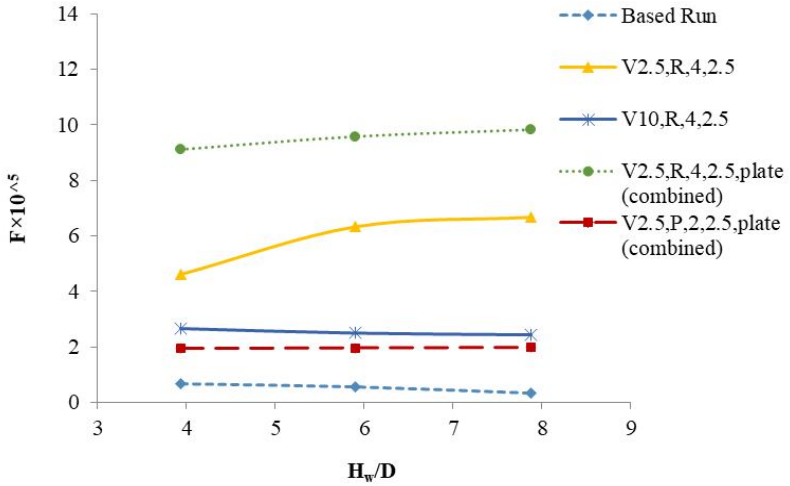
شکل ۷- تأثیر ارتفاع و فاصله میانی صفحات مستغرق در آرایش موازی یک‌ردیفه (دوتایی) بر عملکرد رسوب‌شویی نسبت به مدل شاهد و ترکیبی.

Figure 7. Effect of the height and internal distance of submerged vanes in one-raw parallel arrangement (double vanes) on the flushing performance with respect to Based Run and combined models.

تأثیر آرایش شعاعی و ارتفاع صفحات: در شکل ۸ تأثیر شعاعی نمودن آرایش صفحات مستغرق در دو ارتفاع ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متر در مقایسه با مدل شاهد و مدل‌های ترکیبی $V_{2.5,P,2,2.5,plate}$ و $V_{2.5,R,4,2.5,plate}$ ارائه شده است. در نام‌گذاری آزمایش‌ها، اندیس آخر نشان‌دهنده وجود صفحه افقی می‌باشد. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود شعاعی نمودن آرایش صفحات، عملکرد رسوب‌شویی را به‌طور مؤثری افزایش داده است. به‌نظر می‌رسد در این آرایش با نصب صفحات جانبی و قرارگیری لبه‌های داخلی این صفحات در کنار صفحات اصلی و تشکیل یک شیار ثانویه، جریان‌های گردابی اطراف دریچه تقویت شده و در نتیجه عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافته است. در آرایش شعاعی بر خلاف آرایش موازی، صفحات با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متری عملکرد بهتری نسبت به صفحات با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر دارند، به‌عبارتی عملکرد رسوب‌شویی آرایش شعاعی صفحات با ارتفاع ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متری نسبت به مدل شاهد به‌ترتیب در حدود ۱۱/۳۳ و ٤/۱ برابر افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد در صفحات ۱۰ سانتی‌متری، به‌علت بیش‌تر بودن ارتفاع صفحات جانبی از قطر دریچه ($D = ۵$ cm)، جریان‌های ورودی به دریچه تحتانی، عمدتاً در پشت صفحات جانبی متمرکز شده و از عملکرد صفحات اصلی کاسته شده است. همچنین در این آرایش ($V_{2.5,R,4,2.5}$)، مقدار رسوب‌شویی با افزایش عمق آب مخزن افزایش یافته است، یعنی عملیات رسوب‌شویی در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیاز به پایین آوردن سطح آب مخزن نیست. در مدل ترکیبی (صفحات مستغرق شعاعی با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر + صفحه افقی)، عملکرد رسوب‌شویی مخزن نیز افزایش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که نسبت به مدل $V_{2.5,R,4,2.5}$ در حدود ٦۵ درصد افزایش یافته است.

مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج عبداله‌پور و همکاران (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که شعاعی نمودن آرایش صفحات مستغرق به‌میزان زیادی توانسته است عملکرد رسوب‌شویی صفحات مستغرق را افزایش دهد (۲). همچنین محمدی و همکاران (۲۰۱٤) با به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه درپوش‌دار در مقابل دریچه تحتانی، افزایش ظرفیت رسوب‌شویی تا ۱۰

برابر نسبت به حالت بدون سازه گزارش کردند (۱۰). مددی و همکاران (۲۰۱۶) نیز با بررسی عملکرد سازه PBC در رسوب‌شویی مخزن سد، نشان دادند که راندمان رسوب‌شویی این سازه در مقایسه با حالت شاهد ٤/٥٧ برابر شد (۸). عملکرد مناسب آرایش شعاعی صفحات مستغرق (۱۱/۳۳ برابر نسبت به مدل شاهد) در مقایسه با روش‌های مطالعه شده پیشین به همراه سهولت نصب و بهره‌برداری آسان آن‌ها، می‌تواند استفاده از این نوع آرایش صفحات را به‌عنوان یک روش مؤثر در تشدید رسوب‌شویی توجیه نماید. البته آزمایش‌های تفصیلی بر روی آرایش شعاعی صفحات به‌منظور مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف آرایش در تشدید رسوب‌شویی مخزن پیشنهاد می‌شود.



شکل ۸- مقایسه عملکرد رسوب‌شویی صفحات مستغرق شعاعی با ارتفاع ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متری نسبت به مدل شاهد و ترکیبی.

Figure 8. Comparison the flushing performance of radial submerged vanes with 2.5 and 10 cm height with respect to Based Run and combined models.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تأثیر ارتفاع، تعداد ردیف و آرایش صفحات مستغرق در تشدید رسوب‌شویی مخزن سد به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در آرایش موازی، با کاهش تعداد صفحات، عملکرد رسوب شویی افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در صفحات یک ردیفه بهترین رسوب‌شویی مشاهده شد. با فاصله گرفتن صفحات از مقابل دریچه و دور شدن از جت جریان ورودی به دریچه، تأثیر صفحات ردیف‌های بعدی در تشدید رسوب‌شویی کاهش می‌یافت. همچنین در آرایش موازی، صفحات با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری نسبت به صفحات ۲/۵ سانتی‌متری عملکرد بهتری در تشدید رسوب‌شویی داشتند. با تغییر آرایش صفحات از حالت موازی به شعاعی، عملکرد رسوب‌شویی صفحات افزایش چشمگیری داشت (۱۱/۳۳ برابر نسبت به مدل شاهد). به‌عبارت دیگر، نصب صفحات جانبی تأثیر مثبتی در تشدید رسوب‌شویی مجموعه صفحات داشت. در آرایش شعاعی، عملکرد رسوب‌شویی صفحات با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متری بهتر از صفحات ۱۰ سانتی‌متر بود. به‌نظر می‌رسد در آرایش شعاعی با افزایش ارتفاع صفحات، به‌علت این‌که عمده جریان ورودی به آبگیر از پشت صفحات جانبی انجام می‌گیرد، در نتیجه عملکرد رسوب‌شویی مجموعه صفحات کاهش

می‌یابد. در هر دو آرایش موازی و شعاعی، نصب صفحه افقی همراه با صفحات مستغرق با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متری، عملکرد رسوب‌شویی را به‌شدت افزایش داد. با نصب صفحه افقی، جریان ورودی از عمق‌های بالای مخزن، بر روی صفحات مستغرق متمرکز شده و در نتیجه با افزایش تلاطم جریان در اطراف صفحات، رسوب‌شویی تشدید می‌شود.

منابع

1.Abdolahpour, M., and Hosseinzadeh Dalir, A. 2013. Effect of semi-cylinder structure position on pressurized flushing efficiency of reservoirs. J. Water Soil Sci. 23: 2. 269-282. (In Persian)

2.Abdolahpour, M., Hosseinzadeh Dalir, A., and Farsadizadeh, D. 2015. Application of pile and submerged vanes to remove sediments from dam reservoirs in pressurized flushing. Iran. Water Res. J. 9:4. 165-169. (In Persian)

3.Althous, J. 2011. Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet induced flow. Ph.D. Thesis, Ecole polytechnique Federale De Lausanne, Switzerland. 295p.

4.Atkinson, E. 1996. The feasibility of Flushing Sediment from the Reservoir. HR Wallingford, Wallingford, UK. 99p.

5.Baykara, A. 2013. Effect of hydraulic parameters on the formation of vortices at intake structures. M.Sc. Thesis, Middle East Technological University, Turkey. 157p.

6.Emamgholizadeh, S. 2008. The Experimental investigation of the effects of pressure flushing on flushed sediment through storage reservoir. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 4. 219-234. (In Persian)

7.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, 10-14 March, Las Vegas, USA. Pp: 78-84.

8.Madadi, M.R., Rahimpour, M., and Qaderi, K. 2016. Improving the reservoir's pressurized flushing efficiency by connecting PBC structure to the dam bottom outlet. J. Appl. Res. Irrig. Drain. Struc. Engin. 17: 66. 71-86. (In Persian)

9.Meshkati Shahmirzadi, M.E., Dehghani, A.A., Sumi T., Mosaedi, A., and Meftah, H. 2010. Experimental investigation of pressure flushing technique in reservoir storages. J. Water Geosci. 1: 1. 132-137.

10.Mohammadi, M.N., Salmasi, F., Hosseinzadeh Dalir, A., and Arvanaghi, H. 2014. Experimental investigation of the effect of semi-circular structure on the capacity of pressurized flushing of sediments from the reservoirs. J. Water Soil Sci. 24: 2. 21-30. (In Persian)

11.Jalili, H., and Hosseinzadeh Dalir, A. 2012. Extend the vortex flow around the reservoirs sluice gate. Proceedings of 1st International and 3rd National Conference on Dams and Hydropower, 8-9 February, Tehran, Iran. Pp: 1-13.

12.Odgaard, A.J., and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes. J. Hydr. Engin. 117: 3. 267-283.

13.Powell, D.N. 2007. Sediment Transport Upstream of Orifice. Ph.D Thesis, Clemson University, USA. 169p.

14.Tofighi, S., Samani, J.M.V., and Ayyubzadeh, S.A. 2015. Pressure flushing with expanding bottom outlet channel within dam reservoir. Modares J. Civil Engin. 15: 2. 127-206. (In Persian)

15.White, W.R., and Bettess, R. 1984. The feasibility of flushing sediments through reservoirs. Proceedings of the Harare Symposium on Challenges in African Hydrology and Water Resources, 23-27 July, Harare, Zimbabwe. Pp: 577-587.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Effect of the number of rows, height and arrangement of submerged vanes in flushing of dam reservoir

***Gh. Mahtabi[1], S. Karimi[2] and M. Mohamadioun[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zanjan,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Zanjan
Received: 04/28/2017; Accepted: 04/15/2018

Abstract

Background and Objectives: Pressurized flushing is one of the common methods in sediment flushing of dam reservoirs. In this method, sediments settled in the reservoir are drained out of the reservoir through the bottom outlet of the dam and under pressure. In order to increase the performance of pressurized flushing, it is attempted to reduce the level of the reservoir water to minimum height of operation. Also, in the previous researches, the performance of different hydraulic and structural methods has been evaluated in order to increase the pressurized flushing. The researchers have always tried to propose effective operational solutions that can increase the flushing performance by recognizing the flushing process and effective parameters. The aim of this study is to investigate the effect of the number of rows, height and arrangement of submerged vanes on the enhancement of flushing of reservoir.

Materials and Methods: To carry out this research, a physical model including sediment reservoir, settling basins and water supplied tank was used. Submerged vanes with two heights ($H_V / D > 1$ and $H_V / D < 1$) and different number of rows (one, two, three rows) were set up in front of bottom outlet. In tests, in addition to the parallel arrangement, the flushing performance of new type of submerged vanes arrangement named radial arrangement was investigated at three different depths of reservoir water ($H_W = 20,\ 30,\ 40$ cm). Sediment particles was made of washed sand with 0.51 mm diameter. The tests were carried out at a constant discharge of 2 L/s for an hour and at the end of each experiment, weight of flushed sediments were determined.

Results: The results showed that with decreasing the raw number of vanes in parallel arrangement, the performance of sediment flushing increased. On the other hand, one-raw submerged vanes (double vanes) with relative height H_V / D=0.5 and 2 have the best flushing performance with 173 and 231 percentages, respectively, compared to the control model. Also, submerged vanes with relative of height H_V / D=2 had better performance compared that in case the relative height of H_V / D=0.5. The radial arrangement of vanes effectively increased the flushing performance; as the flushing performance of submerged vanes with relative height of H_V / D=0.5 and 2 increased about 11.33 and 4.1 times when compared with the control model. In the radial arrangement, the flushing performance of vanes with relative height of H_V / D=2 were lower than H_V / D=0.5, due to the concentration of the inlet flow of the valve behind the side plates.

Conclusion: The radial arrangement of submerged plates could increase the flushing intensity (especially with increasing the reservoirs water depth). This condition is a relative advantage for flushing. In the other words, the flushing operation has more efficiency in the full condition of dam reservoirs and it is not necessary to fall down the water level of reservoir.

Keywords: Radial arrangement, Height, Number of raw, Submerged vanes, Flushing

* Corresponding Author; Email: ghmahtabi@znu.ac.ir