

تأثیر آرایش شعاعی صفحات مستغرق در افزایش راندمان رسوب‌شویی مخزن سد

سمانه کریمی^۱، قربان مهتابی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۹

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghmahtabi@znu.ac.ir

چکیده

رسوب‌شویی تحت فشار یک از روش‌های رایج در رسوب‌شویی هیدرولیکی مخازن سد است. در این روش، رسوباتی که در مخزن ته‌نشین شده‌اند، به وسیله دریچه تخلیه تحتانی سد همراه با جریان آب خروجی تخلیه می‌شوند. در این تحقیق با کارگذاری صفحات مستغرق با آرایش شعاعی در جلوی تخلیه کننده، تأثیر این آرایش در افزایش قدرت جریان گردابی و افزایش عملکرد رسوب‌شویی تحت فشار مورد آزمایش قرار گرفت. تأثیر پارامترهای مختلف آرایش شعاعی شامل فاصله میانی صفحات اصلی (L_m)، فاصله مابین صفحات اصلی و جانبی (L_s) و فاصله صفحات جانبی از دیواره (L_v) بر روی این پدیده در سه عمق مختلف آب مخزن (۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر) بررسی گردید. براساس نتایج، مقادیر بهینه طول‌های بی‌بعد پارامترهای آرایش شعاعی $L_m/D=0/5$ ، $L_s/D=0/25$ و $L_v/D=0/2$ به دست آمد (D ، قطر دریچه تخلیه تحتانی). در بهترین آرایش شعاعی صفحات و در شرایط هیدرولیکی مختلف، عملکرد رسوب‌شویی به‌طور متوسط در حدود ۱۱/۳۳ برابر نسبت به مدل شاهد افزایش یافت. در آرایش شعاعی، با افزایش عمق آب مخزن، عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافت. این شرایط یعنی رسوب‌شویی بیشتر در عمق بالا، یک مزیت نسبی برای اجرای رسوب‌شویی است. به عبارت دیگر، عملیات رسوب‌شویی در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیاز به تخلیه آب مخزن نیست.

واژه‌های کلیدی: آرایش شعاعی، رسوب‌شویی، صفحات مستغرق اصلی، صفحات مستغرق جانبی، عمق آب

Effect of Radial Arrangement of Submerged Vanes in Increasing the Flushing Efficiency of Dam Reservoir

S Karimi¹, G Mahtabi^{2*}

Received: 2017-12-28

Accepted: 2018-09-10

¹M.Sc. Student, Dept., of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Zanjan, Iran

²Assist. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Zanjan, Iran

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

Abstract

Pressurized flushing is one of the common methods in hydraulic flushing of dam reservoirs. In this method, sediments settled in the reservoir are released out together with water flow using the bottom outlet of the dam. In this research, by employing the submerged vanes with radial arrangement in front of the bottom outlet, effect of this arrangement in enhancement of the vortex flow and pressurized flushing efficiency were investigated. The effect of different parameters of radial arrangement including cross distance of the main vanes (L_m), distance between the main and side vanes (L_s) and the distance of vanes from the side wall (L_v) on this phenomenon were investigated in three different water depths of the reservoir (20, 30 and 40 cm). Based on the results, the optimal non-dimensional lengths values of the radial arrangement parameters were obtained as $L_m/D=0.5$, $L_s/D=0.25$ and $L_v/D=0.2$ (D , diameter of bottom outlet). In the best radial arrangement parameters of the vanes in the different hydraulic condition, flushing efficiency increased about 11.33 times compared to the control model. In radial arrangement, with increasing the water depth of reservoir, the flushing performance increased. This condition, more flushing in high water depth, is a comparative advantage for flushing. In other words, the flushing operation has more efficiency in the full condition of the reservoir and it is not necessary to empty the reservoir.

Keywords: Flushing, Main submerged vanes, Radial arrangement, Side submerged vanes, Water depth

مقدمه

یابد. مدیریت پویای مخزن ایجاب می‌نماید حجم ذخیره مفید مخزن که به وسیله 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، مشکلات ناشی از ورود رسوبات به توربین‌ها و سیستم‌های برق‌آبی اشاره نمود (فانگ و کائو ۱۹۹۶).

رسوب‌گذاری در مخازن سدها مشکلی است که بسیاری از سدهای در حال بهره‌برداری با آن مواجه می‌باشند. مخزن سد به صورت تله‌ای برای تجمع رسوبات عمل کرده و مواد رسوبی موجود در جریان ورودی را ته‌نشین می‌نماید. بدون در نظر گرفتن اقدامات لازم جهت موازنه رسوبات ورودی و خروجی، رسوبات جایگزین ظرفیت ذخیره مخزن می‌گردند که در نتیجه آن ذخیره مخزن به‌طور چشمگیری کاهش می‌-

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 صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. آلتوس (۲۰۱۱) مطالعاتی در زمینه تأثیر کارگذاری جت آب با آرایش خطی و دایره‌ای در داخل مخزن انجام داد. نتایج نشان داد که آرایش دایره‌ای دارای عملکرد بهتری از آرایش خطی می‌باشد. در حالت بدون اعمال جت آب، مدت زمان لازم برای رسوب‌شویی دو برابر حالتی است که جت آب در مخزن کار گذاشته شود. جلیلی و حسین‌زاده دلیر (۲۰۱۲) در مطالعه خود با 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. عبدالله‌پور و حسین‌زاده دلیر (۱۳۹۲) در تحقیقی تأثیر جریان گردابی با حضور سازه نیم‌استوانه را بر تخلیه رسوبات از مجاورت تخلیه کننده‌های تحتانی مطالعه کردند. آزمایش‌ها بر روی سازه نیم‌استوانه در قطرهای مختلف و ارتفاع سطح آب مختلف انجام پذیرفت. 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. محمدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه درپوش‌دار در مقابل دریچه تخلیه تحتانی را در تشدید رسوب‌شویی تحت فشار مؤثر دانستند. عبدالله‌پور و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر قرارگیری شمع و صفحات مستغرق (یک ردیفه موازی) در جلوی تخلیه کننده 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 تخلیه کننده برابر ۰/۳ باشد. توفیقی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی آزمایشگاهی تأثیر توسعه مجرای تخلیه کننده بر ابعاد

وجود این مسائل، کارشناسان و طراحان سازه‌های آبی را بر آن داشته تا با اجرای راهکارها و تدابیر مناسب کنترل رسوب، تا حد ممکن این مشکلات را حل کنند. برای رفع یا کاهش مشکلات رسوب‌گذاری مخزن سد، از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود که یکی از رایج‌ترین آن‌ها رسوب‌شویی هیدرولیکی می‌باشد. در این روش، رسوبات ته‌نشین شده در مخزن با کاهش تراز سطح آب و رهاسازی جریان از طریق دریچه‌های تحتانی سد، خارج می‌شوند. رسوب‌شویی هیدرولیکی به دو صورت آزاد و تحت فشار انجام می‌پذیرد (فان ۱۹۸۵). اگر در حین انجام رسوب‌شویی، رقوم سطح آب مخزن پایین آورده شود، به‌طوری‌که پس از مدتی شرایط جریان رودخانه‌ای در مخزن ایجاد گردد، به آن رسوب‌شویی آزاد می‌گویند. در رسوب‌شویی تحت فشار تراز آب بالاتر از تخلیه کننده تحتانی بوده و با باز کردن دریچه، آب به‌صورت تحت فشار خارج می‌گردد. در این روش پس از این‌که دریچه تخلیه کننده تحتانی باز شد، حفره یا چاله‌ای از آبشستگی به شکل مخروط در جلوی تخلیه کننده تحتانی به‌وجود آمده و توسعه می‌یابد. برای افزایش میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار، تلاش می‌شود سطح آب مخزن تا ارتفاع حداقل بهره‌برداری پایین آورده شود. در خصوص نحوه رسوب‌شویی تحت فشار و عوامل مؤثر بر آن، مطالعات متعددی توسط محققان صورت گرفته است که می‌توان به وایت و بتس (۱۹۸۴)، دی سیلویو (۱۹۹۰)، لای و شن (۱۹۹۶)، موریس و فان (۱۹۹۷)، لای و چانگ (۲۰۰۱)، طالبی بیدختی و نقشینه (۲۰۰۴)، دیوالس و همکاران (۲۰۰۹)، فتحی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۰)، پاول و خان (۲۰۱۵)، صالحی نیشابوری و همکاران (۱۳۸۴)، امام‌قلی‌زاده (۱۳۸۷)، شهیرنیا و همکاران (۱۳۹۳)، صمدی‌رحیم و ایوب‌زاده (۱۳۹۴) و کاشفی‌پور و الهی (۱۳۹۵) اشاره کرد.

از مرور تحقیقات پیشین چنین استنباط می‌شود که جهت‌گیری آن‌ها بیشتر به‌منظور شناخت بهتر فرآیند

پارامترهای آرایش شعاعی در شرایط هیدرولیکی مختلف بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان انجام گرفت. مجموعه مدل فیزیکی-هیدرولیکی به‌کار رفته به ترتیب 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 تأمین آب به داخل مخزن رسوبات انتقال می‌یابد و در ادامه، جریان خروجی مخزن رسوبات به حوضچه ته‌نشینی تخلیه و آب از آن‌جا به مخزن تأمین آب هدایت می‌شود. در مخزن رسوبات، جریان آب پس از عبور از قسمت آرام‌کننده در قسمت ورودی وارد بخش اصلی مخزن رسوبات می‌شود (شکل ۱).

مخروط رسوب‌شویی به این نتیجه رسیدند که توسعه مجرا، تأثیری مثبت و محسوس بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی دارد. همچنین مددی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر استفاده از سازه PBC (استوانه افقی شیاردار) متصل به دریچه تخلیه رسوب را در افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار بررسی کردند.

در این تحقیق به‌منظور افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار مخزن از صفحات مستغرق با آرایش شعاعی استفاده شد. با توجه به این‌که الگوی جریان اطراف دریچه تحتانی به‌صورت یک جریان شعاعی سه بعدی می‌باشد، به نظر می‌رسد با تغییر دادن آرایش صفحات مستغرق به شکل شعاعی، این صفحات بیشتر تحت تأثیر میدان جریان اطراف دریچه قرار گرفته و با تقویت جریان‌های گردابه‌ای در نزدیکی دریچه، راندمان رسوب‌شویی مخزن افزایش خواهد یافت. برای این منظور آزمایش‌هایی روی مدل فیزیکی انجام شد و



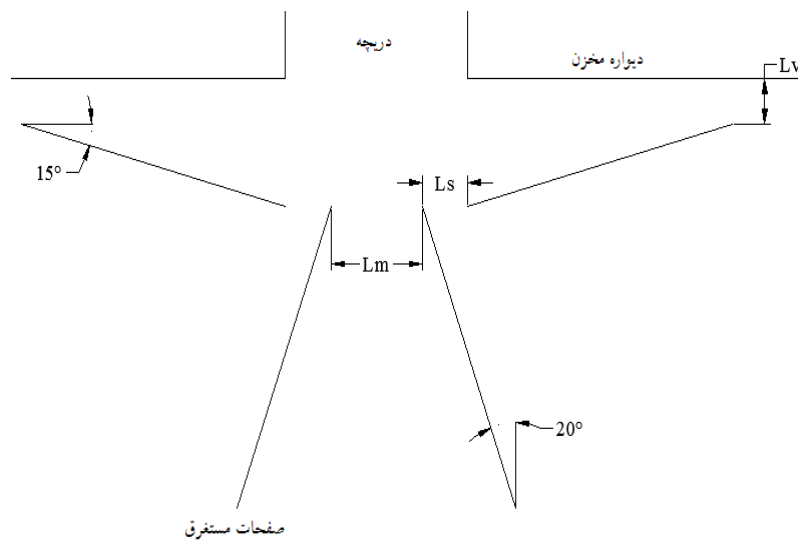
شکل ۱- نمایشی از مخزن رسوبات همراه با صفحه آرام‌کننده جریان و بستر رسوبی.

نوع آرایش مانند فاصله و نحوه قرار گرفتن صفحات انجام نگرفته است، بنابراین طرح اولیه آرایش شعاعی به صورت شکل ۲ در نظر گرفته شد. پارامترهای مورد بررسی در آرایش شعاعی صفحات شامل فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) و فاصله صفحات جانبی از صفحات اصلی (L_s) و فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v) بود (شکل ۳). در آرایش شعاعی، صفحات اصلی با زاویه ۲۰ درجه و صفحات جانبی با زاویه ۱۵ درجه در مقابل دریچه نصب شدند. در تمام آزمایش‌ها سه ارتفاع آب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر با دبی ثابت ۲ لیتر بر ثانیه به کار رفت. با توجه به این‌که کمترین ارتفاع آب ۲۰ سانتی‌متر بود، در تمام آزمایش‌ها صفحات به صورت مستغرق عمل کردند. در جدول ۱ محدوده پارامترهای آرایش شعاعی صفحات مستغرق و شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها ارائه شده است.

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق از ماسه شسته شده با d_{50} برابر ۰/۵۱ میلی‌متر به عنوان مواد رسوبی بستر استفاده گردید. به منظور تخلیه رسوبات مخزن از یک دریچه و شیر تخلیه به قطر تقریبی ۵ سانتی‌متر استفاده شد. دریچه در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از کف و در خط مرکزی مخزن نصب گردید و سطح بستر رسوبی منطبق بر تراز پایین دریچه بود. صفحات مستغرق مورد استفاده در آزمایش‌ها از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۱ میلی‌متر و به شکل مستطیل ساخته شدند. طول این صفحات ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع کل آن‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود (اودگارد و وانگ ۱۹۹۱). برای حفظ پایداری، صفحات بر روی ورق فلزی نصب گردید و بعد از ریختن رسوبات بستر، ارتفاع صفحات روی بستر رسوبی ۲/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که تاکنون تحقیقی در زمینه آرایش شعاعی صفحات مستغرق و پارامترهای مربوط به این



شکل ۲- آرایش شعاعی صفحات مستغرق در آزمایش‌ها.



شکل ۳- پارامترهای آرایش شعاعی صفحات مستغرق.

جدول ۱- محدوده پارامترهای صفحات مستغرق و شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها.

عمق آب مخزن (cm)	فاصله میانی صفحات اصلی (cm)	فاصله مابین صفحات جانبی و فاصله صفحات جانبی از دریچه (cm)	اصلی (cm)	دریچه (cm)
۲۰، ۳۰، ۴۰	۲/۵، ۵، ۷/۵	۰، ۱/۲۵، ۲/۵، ۳/۷۵	۰، ۱، ۲، ۳	

باز کردن شیر تخلیه کننده تحتانی، رسوبات تحت فشار آب از دریچه تحتانی خارج می‌شد. در لحظات اولیه، رسوبات با غلظت خیلی زیاد از تخلیه کننده خارج می‌شد و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش می‌یافت. مخلوط آب و رسوب خروجی از تخلیه کننده تحتانی وارد حوضچه مستطیلی شکل که در پایین دست قرار داشت، می‌گردید. آزمایش‌ها تا زمانی که حفره رسوب‌شویی به تعادل برسد ادامه می‌یافت. آزمایش‌ها بعد از باز شدن دریچه و خروج رسوبات از آن، حدوداً به مدت ۱ ساعت انجام می‌شد. پس از پایان یافتن هر آزمایش، ابتدا دریچه تخلیه کننده تحتانی رسوبات بسته می‌شد. سپس شیر ورودی به مدل را بسته و شیر تخلیه قسمت آرام‌کننده مخزن به صورت خیلی آرام باز می‌شد. در نهایت به منظور بررسی عملکرد رسوب‌شویی صفحات، رسوبات شسته شده جمع‌آوری و پس از خشک کردن توزین می‌شدند.

نحوه انجام آزمایش به این صورت بود که بعد از کارگذاری صفحات در جلوی تخلیه کننده تحتانی و بعد از رسیدن رسوبات به ارتفاع مشخص، به وسیله یک قطعه چوبی ضربات منظمی به سطح بستر وارد می‌شد. در نهایت سطح بستر به وسیله همین قطعه چوبی صاف می‌گردید. سپس با استفاده از یک تراز بنایی از صاف بودن بستر اطمینان حاصل می‌گردید. در ابتدا شیر تخلیه تحتانی کاملاً بسته می‌شد. به منظور جلوگیری از تخریب اولیه بستر رسوبی، ابتدا شیر آب لوله ورودی به مدل خیلی آرام باز می‌شد و جریان آب به صورت خیلی آرام وارد مخزن 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 می‌گردید. بعد از رسیدن ارتفاع سطح آب به ارتفاع مورد نظر آزمایش، شیر تخلیه کننده تحتانی باز می‌گردید. با

تحلیل ابعادی

شد که شامل سه اندیس می‌باشد. اندیس‌ها به ترتیب از چپ به راست شامل ارتفاع صفحات (H_v) ، آرایش شعاعی یا موازی $(P$ یا $R)$ و اندیس سوم پارامتری است که در سری آزمایش تغییر می‌کند (L_s, L_m) و یا (L_v) .

نتایج و بحث

الف- تأثیر فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v)

در شکل ۴ تغییرات مقادیر بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به فاصله بی‌بعد صفحات جانبی از دریچه (L_v/D) در عمق‌های نسبی آب مخزن (H_w/D) ارائه شده است. مطابق شکل، مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) با افزایش L_v/D ، برای هر سه عمق آب در ابتدا روند صعودی دارد، به طوری که در $L_v/D=0.2$ به حداکثر مقدار خود رسیده است. در این حالت در عمق آب مخزن ۴۰ سانتی‌متر، میزان تخلیه رسوب در حدود ۱۸ برابر نسبت به مدل شاهد افزایش یافته است. از مقدار $L_v/D=0.2$ به بعد، مقدار رسوب‌شویی روند نزولی به خود گرفته و از $L_v/D=0.4$ و بیشتر از آن، تقریباً عملکرد رسوب‌شویی تغییر محسوسی نداشته است. در این شرایط، به علت دور شدن مجموعه صفحات جانبی و اصلی از مقابل دریچه تخلیه، صفحات مستغرق کمتر تحت تأثیر جریان اطراف دریچه قرار گرفته‌اند و در نتیجه با تضعیف قدرت جریان‌های گردابی، عملکرد رسوب‌شویی کاهش یافته است. مطابق شکل ۴، مقدار بهینه L_v/D برابر ۰/۲ به دست آمد و این فاصله برای آزمایش‌های بعدی ثابت در نظر گرفته شد. نتایج این بخش تقریباً هم‌خوانی خوبی با یافته‌های عبدالله‌پور و همکاران (۱۳۹۴) دارد که نشان دادند بیشترین میزان رسوبات تخلیه شده در صفحات مستغرق موازی دو ردیفه مربوط به حالتی است که فاصله صفحات از دیواره پایین‌دست (دریچه) نسبت به قطر دریچه تخلیه کننده برابر ۰/۳ باشد.

میزان رسوبات تخلیه شده (Q_s) در آرایش شعاعی صفحات مستغرق تابعی از ارتفاع آب داخل مخزن (H_w) ، شتاب ثقل (g) ، وزن مخصوص آب (ρ_w) ، اندازه ذرات رسوبی (d_{50}) ، قطر دریچه تخلیه کننده تحتانی (D) ، لزوجت دینامیکی سیال (μ) ، وزن مخصوص رسوبات (ρ_s) ، فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v) ، زاویه صفحات (α) ، فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) ، فاصله بین صفحات اصلی و جانبی (L_s) ، ارتفاع صفحات (H_v) و طول آن‌ها (L) می‌باشد. پس رابطه تابعی زیر را می‌توان نوشت:

$$f(Q_s, H_w, g, \rho_w, \rho_s, \mu, d_{50}, D, L_v, L, \alpha, L_s, H_v, L_m) = 0 \quad [1]$$

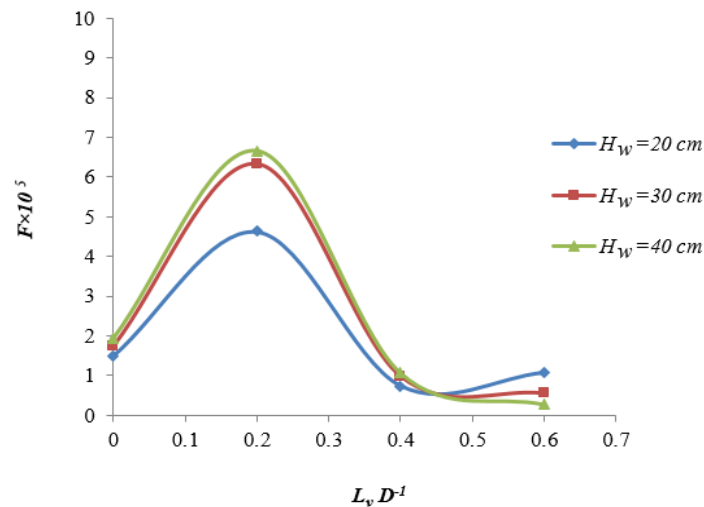
با کاربرد روش π -باکینگهام، رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$f\left(\frac{H_w}{D}, \frac{\rho_w}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{L_v}{D}, \frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}}, \frac{\mu}{\rho_w g^{0.5} D^{1.5}}, \frac{H_v}{D}, \frac{L}{D}, \frac{L_s}{D}, \frac{L_m}{D}, \alpha\right) = 0 \quad [2]$$

با توجه به ثابت بودن پارامترهای $\alpha, d_{50}, \rho_w, \rho_s$ و H_v و L در تمام آزمایش‌ها، می‌توان از پارامترهای بی‌بعد مربوط صرف‌نظر کرد. لذا رابطه نهایی به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$F = \frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}} = f\left(\frac{H_w}{D}, \frac{L_v}{D}, \frac{L_s}{D}, \frac{L_m}{D}\right) \quad [3]$$

با توجه به رابطه فوق، میزان بی‌بعد رسوبات تخلیه شده $(F = \frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}})$ تابعی از پارامترهای ارتفاع بی‌بعد آب داخل مخزن (H_w/D) ، فاصله بی‌بعد صفحات جانبی از دریچه (L_v/D) ، فاصله میانی بی‌بعد صفحات اصلی (L_m/D) و فاصله بی‌بعد بین صفحات اصلی و جانبی (L_s/D) ، می‌باشد. آزمایش‌های صفحات مستغرق موازی دو ردیفه (ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر، زاویه ۲۰ درجه، طول ۷/۵ و فاصله میانی ۵ سانتی‌متر) در شرایط هیدرولیکی یکسان به منظور مقایسه عملکرد آرایش شعاعی صفحات انجام گردید. با توجه به استفاده از صفحات مستغرق به‌عنوان سازه تشدید کننده رسوب-شویی، نام آزمایش‌ها با حرف اختصاری V نشان داده



شکل ۴- تغییرات مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به فاصله بی‌بعد صفحات جانبی تا دریچه (L_v/D) در عمق‌های مختلف آب مخزن (H_w).

البته این حالت به لحاظ پایداری و طراحی سازه‌ای چندان توصیه نمی‌شود.

ب- تأثیر فاصله میانی صفحات اصلی (L_m)

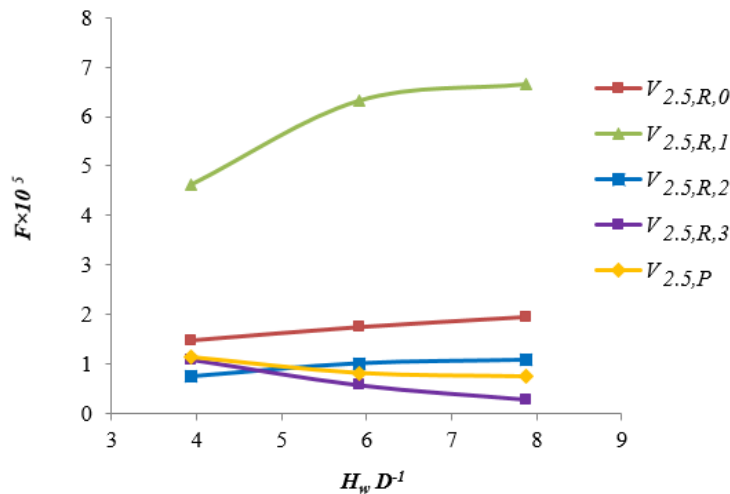
در شکل ۶ تغییرات مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به فاصله میانی بی‌بعد صفحات اصلی (L_m/D) در عمق‌های نسبی آب مخزن (H_w/D) نشان داده شده است. بیشترین مقدار رسوب‌شویی مربوط به فاصله بی‌بعد L_m/D برابر ۰/۵ می‌باشد. مطابق این شکل، مقدار رسوب‌شویی با افزایش L_m/D روند نزولی داشته و از L_m/D برابر ۱ به بعد، تغییرات مقدار رسوب‌شویی ناچیز شده است. به نظر می‌رسد با افزایش فاصله میانی صفحات اصلی، عملکرد صفحات مستغرق در ایجاد جریان‌های گردابی کاهش یافته و در نتیجه میزان تخلیه رسوبات کاهش یافته است. با توجه به این‌که در مقدار $L_m/D = ۰/۵$ حداکثر مقدار رسوب‌شویی اتفاق افتاد، این مقدار به‌عنوان پارامتر بهینه و ثابت انتخاب شد.

در شکل ۷ تأثیر عمق بی‌بعد آب مخزن (H_w/D) بر میزان بی‌بعد رسوب‌شویی (F) در فاصله میانی مختلف صفحات اصلی (L_m) ارائه شده است. در نام-گذاری آرایش شعاعی، اندیس سوم مربوط به فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) می‌باشد. در بهترین مدل صفحات شعاعی یعنی L_m برابر ۲/۵ سانتی‌متر، با

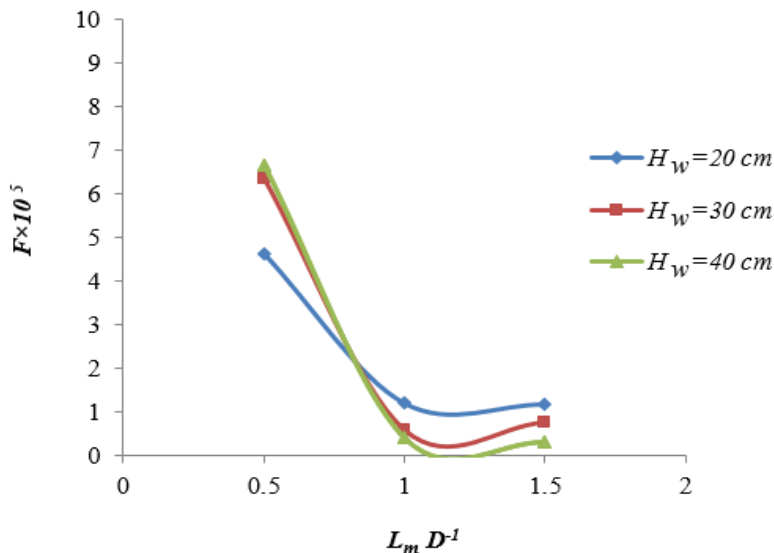
در شکل ۵ تأثیر عمق بی‌بعد آب مخزن (H_w/D) روی مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) در فواصل مختلف صفحات جانبی از دریچه (L_v) ارائه شده است. در نام-گذاری آرایش شعاعی، اندیس سوم مربوط به فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v) می‌باشد. در همه مدل‌های آرایش شعاعی به غیر از $V_{۲/۵, R, ۲}$ (آرایش شعاعی با فاصله ۳ سانتی‌متری صفحات جانبی از دریچه تخلیه)، با افزایش عمق بی‌بعد آب مخزن، مقدار رسوب‌شویی مخزن افزایش یافته است. البته در مدل $V_{۲/۵, R, ۱}$ (آرایش شعاعی با فاصله ۱ سانتی‌متری صفحات جانبی از دریچه) روند افزایشی مذکور شدیدتر شده است. این شرایط یعنی رسوب‌شویی بیشتر در عمق بالا، یک مزیت نسبی برای اجرای رسوب‌شویی است، یعنی عملیات رسوب‌شویی در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیاز به تخلیه آب مخزن نیست. شایان ذکر است مدل $V_{۲/۵, R, ۰}$ (صفحات جانبی چسبیده به دیواره، نسبت به مدل‌های $V_{۲/۵, R, ۲}$ و $V_{۲/۵, R, ۳}$) (صفحات در فاصله ۲ و ۳ سانتی‌متر از دریچه) عملکرد بهتری نشان داده است. در این مدل با چسبیدن صفحات جانبی به دیواره، این صفحات به‌عنوان دیواره هدایت‌کننده عمل کرده و باعث هدایت جریان به جلوی دریچه شده‌اند.

تقریباً صفحات جانبی عملکرد خود را از دست داده‌اند؛ در نتیجه روند رسوب‌شویی دو مدل با L_m برابر ۵ و ۷ سانتی‌متر مشابه عملکرد صفحات موازی دو ردیفه با ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر ($V_{2/5,P}$) شده است.

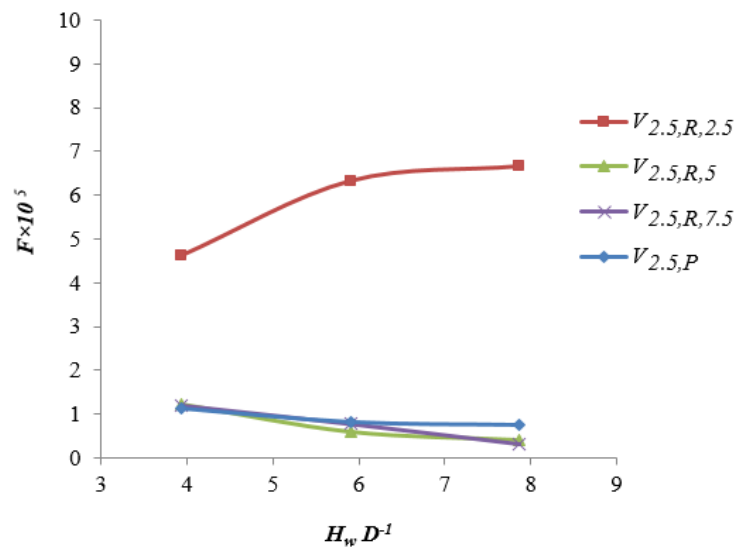
افزایش عمق آب مخزن، عملکرد رسوب‌شویی افزایش یافته است. این درحالی است که در دو مدل دیگر عملکرد رسوب‌شویی روند کاهشی دارد. به نظر می‌رسد با افزایش فاصله میانی صفحات اصلی، به علت دور شدن هم‌زمان صفحات جانبی از اطراف دریچه،



شکل ۵- تغییرات مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به عمق بی‌بعد آب مخزن (H_w/D) در فواصل مختلف صفحات جانبی از دریچه (L_v).



شکل ۶- تغییرات مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به فاصله میانی بی‌بعد صفحات اصلی (L_m/D) در عمق‌های مختلف آب مخزن (H_w).

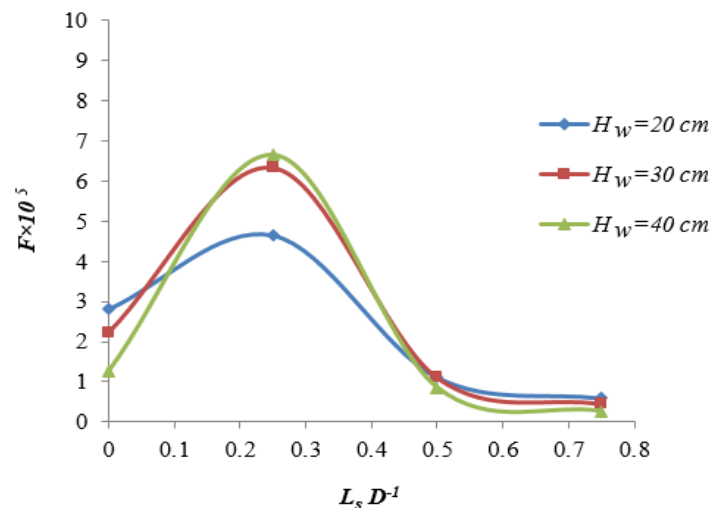


شکل ۷- تغییرات میزان بی بعد رسوب شویی (F) نسبت به عمق بی بعد آب مخزن (H_w/D) در فواصل میانی مختلف صفحات اصلی (L_m).

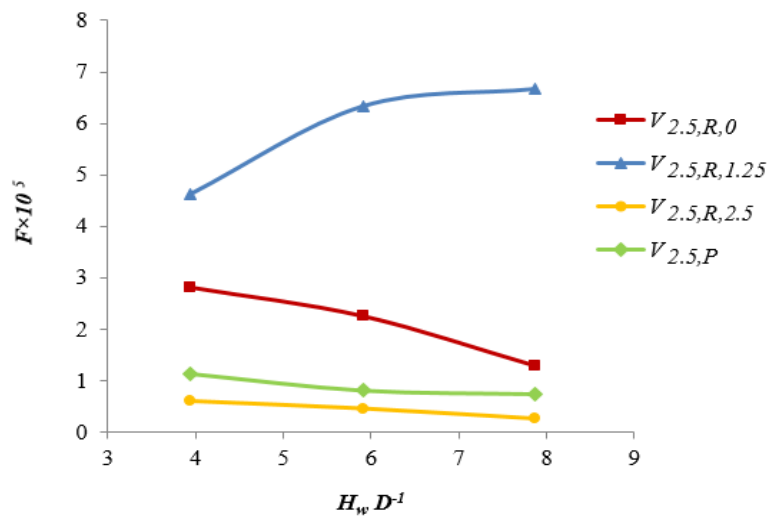
در L_s/D برابر 0.25 به حداکثر مقدار خود رسیده است. در ادامه با افزایش L_s/D مقدار رسوب شویی روند نزولی به خود گرفته و تقریباً از L_s/D برابر 0.6 به بعد، مقدار رسوب شویی تغییر محسوسی ندارد؛ یعنی افزایش L_s/D روی میزان رسوب شویی بی تأثیر شده است. مطابق این شکل، مقدار بهینه L_s/D برابر 0.25 به دست آمد.

ج- تأثیر فاصله مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s)

در شکل ۸ تغییرات مقدار بی بعد رسوب شویی (F) نسبت به فاصله بی بعد مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s/D) در عمق های بی بعد آب مخزن (H_w/D) ارائه شده است. در ابتدا با افزایش L_s/D مقدار رسوب شویی برای همه مدل ها روند صعودی داشته، به طوری که در



شکل ۸- تغییرات مقدار بی بعد رسوب شویی (F) نسبت به فاصله بی بعد مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s/D) در عمق های مختلف آب مخزن (H_w).



شکل ۹- تغییرات مقدار بی‌بعد رسوب‌شویی (F) نسبت به عمق بی‌بعد آب مخزن (H_w/D) در فواصل مختلف مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s).

عملکرد آرایش شعاعی در رسوب‌شویی کاهش یافته است. شایان ذکر است مدل $V_{2/5, R, 0}$ (صفحات اصلی و جانبی به هم چسبیده) به عنوان صفحات زاویه‌دار عمل کرده و عملکرد بهتری نسبت به دو مدل $V_{2/5, R, 2/5}$ و $V_{2/5, R, 2/75}$ داشته است.

در مجموع براساس بررسی پارامترهای مختلف آرایش شعاعی شامل فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v)، فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) و فاصله مابین صفحات اصلی و جانبی (L_s)، مقادیر بهینه پارامترهای آرایش شعاعی صفحات به ترتیب برابر $L_v/D=0/2$ ، $L_m/D=0/5$ و $L_s/D=0/25$ به دست آمد. در شرایط هیدرولیکی مختلف، بهترین آرایش شعاعی صفحات مستغرق مقدار رسوب‌شویی را به طور متوسط $11/33$ برابر افزایش داد. البته در بهترین شرایط هیدرولیکی این مدل (عمق آب مخزن برابر ۴۰ سانتی‌متر)، میزان تخلیه رسوب در حدود ۱۸ برابر نسبت به مدل شاهد افزایش یافت.

در شکل ۹ تأثیر عمق بی‌بعد آب مخزن (H_w/D) بر مقادیر بی‌بعد رسوب‌شویی (F) در حالت فاصله‌های مختلف مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s) ارائه شده است. در نام‌گذاری آرایش شعاعی، اندیس سوم مربوط به فاصله مابین صفحات جانبی و اصلی (L_s) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها مدل $V_{2/5, R, 1/25}$ (آرایش شعاعی با فاصله ۱/۲۵ سانتی‌متری مابین صفحات جانبی و اصلی) نسبت به افزایش عمق آب حساسیت نشان داده، به طوری که با افزایش عمق آب مخزن، روند صعودی به خود گرفته است. در دو مدل $V_{2/5, R, 2/75}$ و $V_{2/5, R, 2/5}$ (فاصله ۲/۷۵ و ۲/۵ سانتی‌متری مابین صفحات جانبی و اصلی)، تغییرات رسوب‌شویی نسبت به افزایش عمق آب محسوس نیست. همچنین با افزایش فاصله مابین صفحات جانبی و اصلی، عملکرد رسوب‌شویی کاهش یافته است. به نظر می‌رسد با افزایش فاصله صفحات جانبی و اصلی و در نتیجه دور شدن صفحات جانبی از میدان جریان اطراف دریچه،



شکل ۱۰- حفره رسوب‌شویی در انتهای آزمایش مربوط به در حالت بهینه آرایش شعاعی.

رسوب‌شویی مخزن سد، نشان دادند که راندمان رسوب‌شویی این سازه در مقایسه با حالت شاهد ۴/۵۷ برابر شد. مقایسه عملکرد رسوب‌شویی مدل بهینه آرایش شعاعی با نتایج تحقیقات محققین دیگر نشان می‌دهد عملکرد قابل قبول آرایش شعاعی صفحات مستغرق در افزایش رسوب‌شویی مخزن سد به همراه سهولت نصب و بهره‌برداری آسان، مزیت استفاده از آن‌ها را دوچندان می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تأثیر آرایش شعاعی صفحات مستغرق در افزایش عملکرد رسوب‌شویی مخزن سد به صورت آزمایشگاهی مطالعه شد. پارامترهای آرایش شعاعی شامل فاصله صفحات جانبی از دریچه (L_v)، فاصله صفحات جانبی و اصلی (L_s)، فاصله میانی صفحات اصلی (L_m) بررسی شدند. براساس نتایج آزمایش‌ها، نتیجه‌گیری کلی زیر حاصل شد:

- بیشترین حجم تخلیه رسوب در فاصله بهینه بی‌بعد صفحات جانبی از دریچه (L_v/D) برابر ۰/۲ مشاهده شد (فاصله صفحات جانبی از دریچه برابر ۱ سانتی‌متر).

در شکل ۱۰ تصویر حفره رسوب‌شویی تشکیل شده در انتهای آزمایش حالت بهینه آرایش شعاعی نشان داده شده است. طبق مطالعه عبدالله‌پور و همکاران (۱۳۹۴)، عملکرد رسوب‌شویی مخزن با نصب صفحات مستغرق یک ردیفه موازی در بهترین شرایط هیدرولیکی، ۴۸۱ درصد افزایش داشته است. مقایسه نتایج عبدالله‌پور و همکاران (۱۳۹۴) با نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که شعاعی نمودن آرایش صفحات مستغرق به میزان زیادی توانسته است عملکرد رسوب‌شویی صفحات را افزایش دهد (در حدود ۲۷۵ درصد). همچنین مطالعه عبدالله‌پور و حسین‌زاده دلیر (۱۳۹۲) نشان داد که در بهترین مدل سازه نیم‌استوانه (قطر سازه ۲/۵ برابر قطر دریچه تحتانی)، حجم رسوب‌شویی نسبت به مدل شاهد ۳۰ برابر گردید. محمدی و همکاران (۱۳۹۳) با به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه درپوش دار در مقابل دریچه تحتانی، گزارش کردند که ظرفیت رسوب‌شویی تا ۱۰ برابر نسبت به حالت بدون سازه افزایش یافت. همچنین طبق نتایج ایشان تأثیر تغییر عمق آب مخزن بر میزان رسوب‌شویی تقریباً ناچیز است. مددی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی عملکرد سازه PBC در

شد، به طوری که عملکرد رسوب‌شویی نسبت به مدل شاهد و مدل آرایش موازی به ترتیب ۱۸ و ۸ برابر افزایش نشان داد.

- در مدل آرایش شعاعی، با افزایش عمق آب مخزن روند رسوب‌شویی شدیدتر شد. این شرایط یعنی رسوب‌شویی بیشتر در عمق بالا، یک مزیت نسبی برای اجرای رسوب‌شویی است، یعنی عملیات رسوب‌شویی در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیاز به تخلیه آب مخزن نیست.

نتایج این بخش همخوانی خوبی با نتایج عبدالله‌پور و همکاران (۱۳۹۴) داشت.

- فاصله بهینه بی‌بعد مابین صفحات جانبی و اصلی (L_w/D) برابر ۰/۲۵ به دست آمد (فاصله مابین صفحات جانبی و اصلی برابر ۱/۲۵ سانتی‌متر).

- فاصله بهینه بی‌بعد مابین صفحات اصلی (L_m/D) برابر ۰/۵ به دست آمد (فاصله میانی صفحات اصلی برابر ۱/۲۵ سانتی‌متر).

- بیشترین میزان رسوب‌شویی مدل بهینه آرایش شعاعی صفحات در بالاترین عمق آب مخزن مشاهده

منابع مورد استفاده

- Abdolahpour M and Hosseinzadeh Dalir A, 2013. Effect of semi-cylinder structure position on pressurized flushing efficiency of reservoirs. *Journal of Water and Soil Science* 23(2): 269-282. (In Persian)
- Abdolahpour M, Hosseinzadeh Dalir A and Farsadzadeh D, 2015. Application of pile and submerged vanes to remove sediments from dam reservoirs in pressurized flushing. *Iranian Water Research Journal* 9(4): 165-169. (In Persian)
- Althous J, 2011. Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet induced flow. PhD Thesis, Laboratory of Hydraulic Constructions, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Dewals BJ, Brasseur N, Erpicum S, Archambeau P and Piroton M, 2009. Flushing operations with limited sediment availability. Pp. 4289-4296. *Proceedings of the 33rd IAHR Congress: Water Engineering for A Sustainable Environment*. August 9-14, Vancouver, Canada.
- Di Silvio G, 1990. Modeling desiltation of reservoirs by bottom-outlet flushing. Pp. 159-171. In: Shen HW (ed). *Movable Bed Physical Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Elahi A and Kashefipour SM, 2016. Laboratory analysis of the flushing cone dimensions at the upstream bottom outlets of dam reservoir for different entrance shape of bottom outlets using pressure flushing. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 39(2): 27-37. (in Persian)
- Emamgholizadeh S, 2008. The Experimental investigation of the effects of pressure flushing on flushed sediment through storage reservoir. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 15(4): 219-234. (In Persian)
- Fan j, 1985. Method of preserving reservoir capacity. Pp. 65-164. In: Bruk S (ed). *Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoirs*. Unesco, Paris.
- Fang D and Cao S, 1996. An experimental study on scour funnel in front of a sediment flushing outlet of a reservoir. Pp. 78-84. *Proceedings of the 6th Federal Interagency Sedimentation Conference*. March 10-14, Las Vegas, USA.
- Fathi Moghadam M, Emamgholizadeh S, Bina M and Ghomeshi M, 2010. Physical modelling of pressure flushing for desilting of non-cohesive sediment. *Journal of Hydraulic Research* 48(4): 509-514.
- Jalili H and Hosseinzadeh Dalir A, 2012. Extend the vortex flow around the reservoirs sluice gate. Pp. 1-13. *Proceeding of the First International Conference on Dams and Hydropower*. February 7-9, Tehran, Iran.
- Lai JS and Shen HW, 1996. Flushing sediment through reservoirs. *Journal of Hydraulic Research* 34(2): 237-255.
- Lai JS and Chang F, 2001. Physical modeling of hydraulic desiltation in Tapu reservoir. *International Journal of Sediment Research* 16(3): 363-379.

- Madadi MR, Rahimpour M and Qaderi K, 2016. Improving the reservoir's pressurized flushing efficiency by connecting PBC structure to the dam bottom outlet. *Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering* 17(66): 71-86. (in Persian)
- Mohammadi MN, 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. *Journal of Water and Soil Science* 24(2): 21-30. (in Persian)
- Morris GL and Fan j, 1997. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams Reservoirs and Watershed for Sustainable Use*. McGraw-Hill, New York.
- Odgaard AJ and Wang Y, 1991. Sediment management with submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering* 117(3): 267-283.
- Powell DN and Khan A, 2015. Flow field upstream of an orifice under fixed bed and equilibrium scour conditions. *Journal of Hydraulic Engineering* 141(2): 267-283.
- Salehi Neyshabouri AA, Gholami Elm I and Daemi AR, 2005. Study on some effective parameters in the design and efficiency of sluiceway. *Modares Technical and Engineering* 21: 23-35. (in Persian)
- Samadi Rahim A and Ayyubzadeh SA, 2016. Investigating the effect of bottom outlet shape on sediment discharge rate under pressure flushing. *Iranian Water Research Journal* 9(4): 49-57. (in Persian)
- Shahirnia M, Ayyubzadeh SA and Samani JMV, 2014. Investigation of the effect of sediment level on the pressure flushing efficiency. *Journal of Hydraulic* 9(1): 11-25. (in Persian)
- Talebbeydokhti N and Naghshineh A, 2004. Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science and Technology: Transaction B* 28(B1): 119-136.
- Tofighi S, Samani JMV and Ayyubzadeh SA, 2015. Pressure flushing with expanding bottom outlet channel within dam reservoir. *Modares Journal of Civil Engineering* 15(2): 127-136. (in Persian)
- White WR and Bettess R, 1984. The feasibility of flushing sediments through reservoirs. *Challenges in African Hydrology and Water resources*. Pp. 577-587. Proceedings of the Harare Symposium. July 23-27, Harare, Zimbabwe.