



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰

صفحه‌های ۷۲-۵۹

DOI: 10.22059/jwim.2021.312425.835

مقاله پژوهشی:

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان رسوبات پشت سد در رسوب‌شویی تحت فشار

علی‌اکبر رسولی^۱، امیرعباس کمان‌به‌دست^۲، محمد انصاری قوجقار^۳، علی سلاجقه^۴، احسان پارسی^۵
۱. کارشناس امور اجرایی طرح فاضلاب آبفا اهواز، اهواز، ایران.

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۵. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۳

چکیده

بهره‌برداری از سدهای مخزنی تاکنون با تأکید بر اهداف تأمین نیازهای آبی و مهار انرژی سیلاب و بهبود شرایط زیست‌محیطی صورت گرفته است و به مسأله خروج رسوبات از مخزن سد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه به منظور تعیین روشی جهت بهبود تخلیه رسوبات، یک سازه نیم‌استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش‌ها با ساخت ۱۶ مدل فیزیکی، با طول و عرض شکاف مختلف در چهار ارتفاع آب، سه قطر نیم‌استوانه و در مجموع ۲۰۸ آزمایش انجام پذیرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با کارگذاری سازه نیم‌استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی، حجم رسوب‌شویی افزایش می‌یابد. به عبارت بهتر یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم‌استوانه در دو طرف محور مرکزی دریاچه به وجود می‌آید که در این صورت نصب نیم‌استوانه به قطرهای مختلف، باعث افزایش چند برابری حجم و طول رسوب‌شویی، نسبت به مدل بدون استوانه می‌شود. به طوری که با افزایش چهار برابری ارتفاع شکاف، حجم و طول رسوب‌شویی ۱۰۱/۳ و ۲۷/۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که نصب نیم‌استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به طور متوسط به ترتیب ۵۸۷، ۷۳۲ و ۸۲۹ درصد افزایش حجم رسوب‌شویی را نسبت به مدل بدون استوانه در پی خواهد داشت. همچنین نصب نیم‌استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به طور متوسط به ترتیب ۹۴، ۱۰۶ و ۱۱۱ درصد افزایش طول رسوب‌شویی را نسبت به مدل بدون استوانه به همراه خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: تخلیه رسوب، جریان گردابی، سازه نیم‌استوانه، مخزن.

Laboratory Study of the Effect of Bottom Outlet Dimensions on the Amount of Sediment Discharge Behind the Dam in Pressure Flushing

Ali Akbar Rasouli¹, Amir Abbas Kamanbedast², Mohammad Ansari Ghojghar³, Ali Salajegheh⁴, Ehsan Parsi⁵

1. Ahvaz ABFA Sewerage Project Component Expert, Ahvaz, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

3. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Professor Department of Watershed Engineering Faculty of Natural Resources University of Tehran, Karaj, Iran.

5. Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

Received: November 07, 2020

Accepted: April 02, 2021

Abstract:

The operation of reservoir dams has so far been done with emphasis on the goals of meeting water needs and controlling flood energy and improving environmental conditions, and less attention has been paid to the issue of sediment removal from the reservoir of the dam. In this study, a semi-cylindrical structure in front of the lower discharge was tested to determine a method to improve sediment discharge. The experiments were performed by constructing 16 physical models with different lengths and widths of gaps in four water heights, three half-cylinder diameters and a total of 208 experiments. The results of the experiments showed that by placing a semi-cylindrical structure in front of the lower discharge, the volume of leaching sediment increases. In other words, a pair of rotating vortices is created inside the semi-cylindrical structure on both sides of the central axis of the valve, in which case the installation of a half-cylinder with different diameters increases the volume and length of scale washing compared to the model without a cylinder. So that by increasing the height of the gap four times, the volume and length of sedimentation increase by 101.3 and 27.2 percent. The results of this study showed that the installation of semi-cylinders with diameters of 12.7, 15.2 and 19.2 on average will result in an average of 587, 732 and 829 percent increase in sediment volume compared to the model without cylinders. Also, installing semi-cylinders with diameters of 12.7, 15.2 and 19.2 on average will increase the length of scouring by 94, 106 and 111 percent, respectively, compared to the model without cylinders.

Keywords: Deposition of sediment, Eddy current, Reservoir, Semi-cylindrical structure.

مقدمه

سدها به عنوان یکی از سازه‌های تنظیم و کنترل جریان آب، به دلیل اهمیت در تنظیم و کنترل سطح آب و دبی عبوری، تأثیر به‌سزایی در افزایش بازده و کاهش مصرف آب دارند (Seyedjavad and Mashal, 2015). آگاهی از ویژگی‌های رسوب و شرایطی که در آن رسوبات در محیط رودخانه‌ای ته‌نشین شده یا فرسایش می‌یابند، برای شناخت و مدیریت رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها و مخازن حائز اهمیت زیاد است (Samadi Boroujeni et al., 2019). گرادیان فشار جانبی، تنش برشی بستر و نیروی جانب مرکز ناشی از انحنای خطوط جریان، موجب ایجاد جریان ثانویه‌ای در طول آبگیر شد، موجب جاروب شدن رسوبات نزدیک بستر و ته‌نشین شدن رسوبات نزدیک بستر در دهانه آبگیر می‌شود که علاوه بر کاهش آب‌گذری، موجب واردآوردن خساراتی به شبکه‌های آبیاری و تأسیسات هیدروالکتریک می‌شود (Davoodi and Shafai Bejestan, 2012). با ورود جریان رودخانه به مخزن سد، شرایط هیدرولیکی به‌ویژه سرعت جریان بشدت کاهش می‌یابد و پتانسیل انتقال رسوب در بستر رودخانه کاهش می‌یابد که سبب می‌شود ذرات رسوبی به تدریج نهشته شوند. بار بستر و بخش درشت‌دانه بار معلق بلافاصله در مناطق ابتدایی مخزن نهشته شده و دلتا را تشکیل می‌دهند. درحالی‌که بخش ریزدانه بار معلق تا قسمت‌های عمیق مخزن و حتی تا نزدیکی سد هم نفوذ کرده و سپس نهشته می‌شود (Ghomeshi et al., 2012). پژوهش‌ها نشان می‌دهند، با افزایش عمر سد، به‌ویژه بعد از ۲۰ سال، با انباشت رسوب و نشست سد، میزان ریسک روگذری افزایش می‌یابد (Hekmat and Shafaei, 2006). امروزه بزرگ‌ترین خطری که در بحث مدیریت و نگهداری منابع آبی از جمله سد نقش به‌سزایی ایفا می‌کند، بحث ته‌نشین شدن رسوبات در مخازن

می‌باشد (Elahi and Kasefipour, 2016). ته‌نشینی رسوبات در مخازن سدها خطر کاهش حجم مخزن سد و پدیده‌های مخربی چون روگذری جریان را به‌همراه خواهد داشت. لذا برای جلوگیری از این خطر می‌باید عملیات رسوب‌شویی و رسوب‌برداری در مخازن سدها انجام پذیرد. در برخی موارد ممکن است هزینه عملیات رسوب‌شویی و رسوب‌برداری خیلی بیش‌تر از ساخت یک سد جدید شود و در نهایت احداث یک سد جدید کم‌هزینه‌تر باشد. بنابراین در مواردی که هزینه‌های رسوب‌شویی کم‌تر از هزینه‌های ساخت یک سد جدید باشد، عملیات رسوب‌شویی و رسوب‌برداری کاملاً توجیه‌پذیر خواهد بود (Powell, 2007). رسوب‌شویی شامل رسوب‌شویی آزاد و رسوب‌شویی تحت فشار می‌باشد. در رسوب‌شویی آزاد آب پشت مخزن سد را به‌طور کامل تخلیه کرده و ارتفاع آب پشت سد به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد که تراز سطح آب هم‌تراز خروجی‌های تحتانی یا همان دریچه‌های تحتانی می‌شود. در مخزن سد یک جریان رودخانه‌ای و مستقیم برقرار می‌شود که این خود باعث رسوب‌شویی همانند یک جریان رودخانه‌ای می‌شود. اما در رسوب‌شویی تحت فشار ارتفاع آب بالاتر از تخلیه‌کننده‌های تحتانی می‌باشد و بعد از گشودن دریچه‌ها آب به‌صورت تحت فشار از مخزن سد خارج می‌شود که در شکل (۱) نشان داده شده است (Abdollahpour and Hossein Zadeh, 2013). در رسوب‌شویی تحت فشار در طول مدت انجام رسوب‌شویی، تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد برای مدت زمان معینی باز شده و سطح آب مخزن تقریباً ثابت می‌باشد. زمان باز شدن تخلیه‌کننده‌های تحتانی، حرکت عمومی جریان آب به سمت دریچه‌ها موجب ایجاد نیروی فرساینده روی رسوبات نهشته‌شده می‌شود، لذا همراه جریان آب خروجی از آن، رسوبات نهشته‌شده از طریق تخلیه‌کننده‌های تحتانی از سد خارج می‌گردد (Morris and Fan, 1997).

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان رسوبات پشت سد در رسوب‌شویی تحت فشار

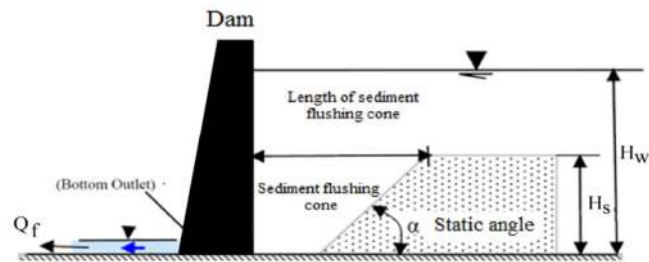


Figure 1. A schematic of the cone flushing in the flushing pressure (Emamgholizadeh *et al.*, 2007)

بیان نمودند که ابعاد مخروط رسوب‌شویی و مدت زمان لازم برای تشکیل و پایدارشدن ژئومتری آن، بستگی به عمق آب داخل مخزن، دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع رسوبات و نوع رسوبات تجمع‌یافته دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز ادامه یابد. Talebbeydokhti and Naghshineh (2004) در پژوهشی که در دانشگاه شیراز روی مدلی با اندازه متوسط ذرات پلیمر ۲/۴ میلی‌متر انجام دادند بیان نمودند که میزان شسته‌شدن رسوبات با افزایش دبی جریان ارتباط مستقیم دارد. Hekmat and Shafaei (2006) Bejestan ناگهانی در سه نمونه رسوبات انجام دادند و بیان کردند در موج‌های ابتدایی پیوند بین ذرات سست شده و موج‌های بعدی باعث می‌شود رسوبات با سرعت بیش‌تر تخلیه شود. Emamgholizadeh *et al.* (2007) در بررسی که انجام دادند عواملی همچون عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده، ابعاد تخلیه‌کننده، ژئومتری مخزن، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته را در تخلیه رسوبات مؤثر دانستند و بیان کردند در کم‌ترین ارتفاع آب، بیش‌ترین ظرفیت تخلیه رسوبات اتفاق می‌افتد. Meshkati *et al.* (2009) تأثیر ابعاد دریچه تحتانی را روی حجم و ابعاد مخروط رسوب‌شویی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش قطر دریچه راندمان رسوب‌شویی را افزایش می‌دهد. Althous (2011) تأثیر قرارگیری جت آب را در مخزن رسوبات بر افزایش میزان رسوبات تخلیه‌شده مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که در حالت بدون اعمال جت آب، مدت زمان لازم

White and Bettes (1984) به‌منظور به‌دست‌آوردن حد فاصله رسوب‌شویی در مدت زمان انجام رسوب‌شویی تحت فشار مطالعاتی انجام دادند. آن‌ها اظهار داشتند گسترش طولی مخروط رسوب‌شویی بستگی به عمق آب داخل مخزن و دبی خروجی از سد دارد، به‌طوری‌که به‌ازای یک دبی ثابت هرچه مقدار ارتفاع آب داخل مخزن کاهش یابد، میزان گسترش طولی مخروط رسوب‌شویی به سمت بالادست افزایش می‌یابد.

در حالتی که رسوب‌شویی رودخانه‌ای اتفاق بیافتد (تراز سطح آب در مخزن تا تراز دریچه رسوب‌شویی پایین آورده شود)، سرعت‌های حاصله در مخزن به بیش‌ترین مقادیر ممکن خواهند رسید (تنها در مجرای اصلی جریان) و به این ترتیب کارایی عملیات رسوب‌شویی حداکثر خواهد شد. در حالت کلی به هنگام انجام رسوب‌شویی آزاد در مخازن، رسوبات موجود در مجرای اصلی جریان با نرخ زیاد به خارج از مخزن منتقل خواهند شد و یک کانال عمیق (و در عین حال معمولاً باریک) در میان مخزن تشکیل و جریان رودخانه‌ای در داخل آن برقرار خواهد شد. براساس مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از رسوبات شنی با قطر متوسط ۰/۱۵ میلی‌متر گزارش شد که شیب طولی و جانبی مخروط رسوب‌شویی در حالت تعادل تقریباً مساوی یکدیگر می‌باشد. در این پژوهش شیب در جهت طولی برابر با ۳۱/۵ درجه به‌دست آمد که مقداری کم‌تر از زاویه ایستایی برای رسوب مذکور (۳۲/۵) می‌باشد (Abdollahpour and Hossein Zadeh Dalir, 2013). Morris and Fan (1997)

پشت سد در رسوب شویی تحت فشار توجه کمتری شده است. هم‌چنین مطالعات اندکی نیز روی اثر سازه بر الگوی تخلیه رسوبات انجام پذیرفته است. هدف این پژوهش ارزیابی اثر هندسه سازه نیم‌دایره بر میزان و الگوی تخلیه رسوبات پشت سد در رسوب شویی تحت فشار می‌باشد. تفاوت اساسی این پژوهش با مطالعات پیشین، تغییرات هندسی سازه‌های نیم‌دایره و هم‌چنین تخلیه‌کننده تحتانی است که نوآوری این پژوهش نیز محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر برای دستیابی به اهداف این پژوهش و شناخت پدیده رسوب شویی تحت فشار، مدل فیزیکی در نظر گرفته شد، که پس از آنالیز ابعادی اقدام به ساخت آن گردید و با انجام آزمایش‌های مختلف به بررسی و مطالعه موضوع پژوهش حاضر پرداخته شد. در شکل (۲) نمایی از مدل هیدرولیکی پژوهش حاضر نشان داده شده است.

آنچه باید توجه داشت ابعاد هندسی مدل است و باید به‌گونه‌ای باشد که وقتی تخلیه‌کننده تحتانی به‌منظور رسوب شویی باز می‌شود، حد تأثیر رسوب شویی به دیواره‌های مدل نرسد. مدل اصلی شامل پنج بخش است که در شکل (۳) قابل مشاهده است. مخزن تأمین آب و پمپ که شامل قسمت ورودی مدل (آرام‌کننده)، مخزن مدل، حوضچه ته‌نشینی رسوبات و سیستم اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل می‌باشد. شکل (۳) شماتیک مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در این پژوهش جهت به‌منظور تعیین حجم مخروط رسوب شویی از ارتفاع سنج نقطه‌ای با قابلیت جابه‌جایی به‌صورت عرضی و طولی روی تاج مدل استفاده شد. هم‌چنین جهت دستگاه تعیین حدود اثر برگ نیز از دستگاه کازاگرانده به‌همراه ابزار تعبیه شیار استفاده شد.

برای رسوب شویی دو برابر حالتی است که جت آب در مخزن کار گذاشته شود. هم‌چنین در این مدت، در حالت بدون جت آب، ۸۰ درصد رسوبات نسبت به حالت با جت تخلیه می‌شود. (Jalili and Hoseinzadeh Dalir (2012) پژوهش‌هایی در مورد رسوب شویی تحت فشار روی مدل آزمایشگاهی انجام دادند. ایشان با به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه و ایجاد یک اندازه شکاف روی سازه نیم‌استوانه پژوهش‌هایی انجام دادند سازه جلوی تخلیه‌کننده تحتانی کارگذاری شده و از بالای دریچه شروع شده و تا کف مخزن ادامه داشت. آن‌ها بیان نمودند که با افزایش قطر سازه نیم‌استوانه مقدار تخلیه رسوبات افزایش می‌یابد و مقدار رسوب شویی حدود ۱۵ برابر بیش‌تر از حالت بدون کارگذاری آن است. Ahn et al. (2013) مدل کامپیوتری GSTARS4 را برای مدل‌سازی فرایندهای فرسایشی حین رسوب شویی در یک مخزن در کشور آمریکا به‌کار بردند. Emamgholizadeh and Fathi Moghdam (2014) با استفاده از نتایج تجربی، دو معادلات برای برآورد حجم و طول مخروط آب‌شستگی با پارامترهای جریان و رسوبات ارائه دادند. Madadi et al. (2017) در مطالعات خود با استفاده از مدل فیزیکی، دریافتند که کارگذاری سازه نیم‌استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی، راندمان حذف رسوب به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. Spuy et al. (2019) نیز در پژوهش خود روی شست‌وشوی رسوبات در سدهای نیروگاه‌های آبی، از سازه نیم‌استوانه در مدل فیزیکی خود بهره بردند. نتایج پژوهش آن‌ها به‌صورت دستورالعمل طراحی این سازه در شرایط مختلف و با در نظر گرفتن مکان سازه، سطح آب بالادست و پایین‌دست، اندازه و نوع رسوب ارائه شد.

تاکنون مطالعات زیادی روی سدهای مخزنی صورت گرفته است که بیش‌تر با اهداف تأمین نیازهای آبی، انرژی مهار سیلاب و بهبود شرایط زیست‌محیطی بوده است. در این پژوهش‌ها به موضوع میزان و الگوی تخلیه رسوبات

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان رسوبات پشت سد در رسوب‌شویی تحت فشار



Figure 2. View of the hydraulic model

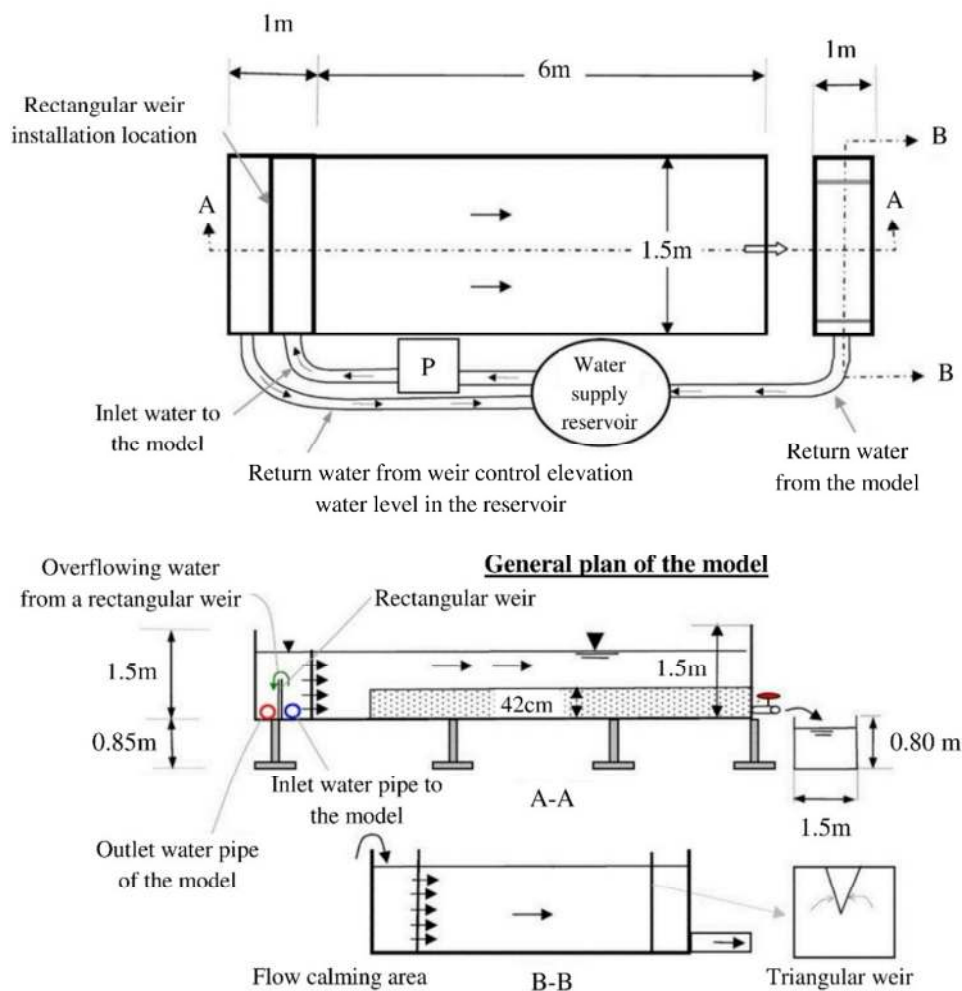


Figure 3. Schematic plan and longitudinal profile of the laboratory model with its specifications (Abdollahpour and Hossein zاده dalir, 2013)

دانه بندی انجام آزمایشات و تجزیه و تحلیل استفاده خواهد شد. حجم مخروط رسوب شویی (V_f) به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که مهم ترین 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) $(A = L_a \times H_a)$ ، قطر نیم استوانه D_a ، اندازه رسوب (D_{50})، وزن مخصوص رسوبات نهشته شده (γ_s)، وزن مخصوص آب (γ_w) و شتاب ثقل (g) که به عبارت ریاضی می توان نوشت:

$$V_f = f(Q_f \cdot D_a \cdot D_{50} \cdot g \cdot H_w - H_s \cdot H_s \cdot \gamma_w \cdot \gamma_s - \gamma_w) \quad (1)$$

تابع نهایی که با کمک تئوری باکینگهام به دست می آید به صورت زیر می باشد:

$$f\left(\frac{H_w}{H_s} \cdot \frac{L_a}{D_a} \cdot \frac{H_a}{D_a} \cdot \frac{D_a}{D_{gate}} \cdot N\right) = 0 \quad (2)$$

به طور کلی متغیرهای بررسی شده عبارتند از:

ارتفاع آب H_w (۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۶۵ سانتی متر)، قطر نیم استوانه D_a (۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ سانتی متر)، ارتفاع شکاف H_a (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۱ و ۰/۴۱)، طول شکاف L_a (۱، ۰/۸، ۰/۶۷ و ۰/۵) می باشند.

به منظور تعیین حجم و طول مخروط رسوب شویی در بالادست خروجی مخزن، یک سازه نیم استوانه که در زیر آن یک شکاف خروجی تعبیه شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی مورد آزمایش قرار گرفت. این نیم استوانه باعث می شود که با کارگذاری آن در جلوی تخلیه کننده تحتانی یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم استوانه در دو طرف محور مرکزی درجه به وجود می آید که در تخلیه رسوبات مؤثر است. شکل (۴) ابعاد مدل این پژوهش را نشان می دهد. آزمایش ها با ساخت ۱۶ مدل صورت گرفت. متغیرهای طرح شامل طول و عرض شکاف مختلف (هر کدام چهار حالت)، در چهار ارتفاع آب و سه قطر نیم استوانه در مجموع ۲۰۸ آزمایش انجام پذیرفت.

آزمایش ها با دبی ثابت به طور کلی شامل انجام آزمایش ها با قطرهای مختلف نیم استوانه، با عرض و طول شکاف مختلف و بررسی فاکتور مؤثرتر و بررسی آزمایش ها در ارتفاع های آب مختلف می باشد.

تئوری و آنالیز ابعادی

در این پژوهش از رسوبات غیرچسبنده و از یک نوع

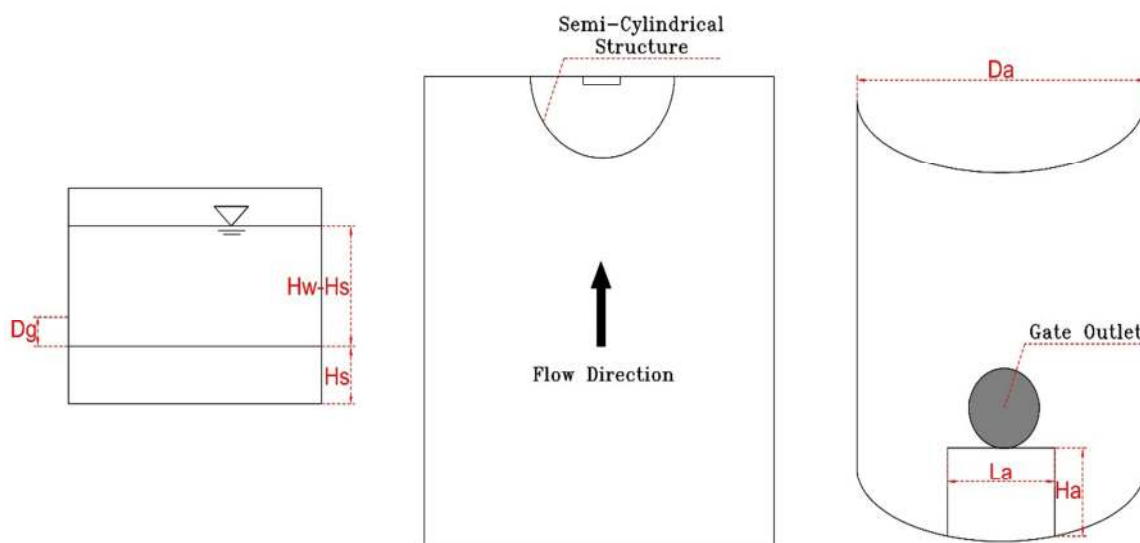


Figure 4. Dimensions of the model for research

اینچ) در قسمت جلوی مدل، یکی در خط مرکزی مدل و دیگری در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از کناره بدنه مدل در نظر گرفته شد. دو تخلیه‌کننده به فاصله ۱۰ سانتی‌متری بالاتر از کف مدل قرار داده شدند. حوض‌چه ته‌نشینی رسوبات به‌منظور جمع‌آوری رسوبات خارج‌شده از تخلیه‌کننده تحتانی، مخزن مکعب‌مستطیل شکل با ابعادی به طول ۱/۵ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۸۰ متر ساخته شد. مخزن مذکور در پایین‌دست مدل قرار داده شد. سیستم اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل به‌منظور اندازه‌گیری خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، از یک سرریز ۲۶ درجه استفاده شد. سرریز مذکور در داخل مخزن مکعب‌مستطیل شکل (حوض‌چه ته‌نشینی رسوبات) در فاصله ۱/۳۰ متری از ابتدای مخزن مستطیلی قرار داده شد. به‌منظور اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل لازم بود تلاطم جریان آن گرفته شود. بدین منظور در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از ابتدای مخزن، صفحه مشبک فلزی قرارداده شد. آب خروجی از مدل پس از اندازه‌گیری و سرریز شدن از روی سرریز مثلی شکل، به‌وسیله یک لوله ۵ اینچ به مخزن اصلی تأمین آب آزمایشگاه برگشت داده می‌شد. شیوه انجام آزمایش به این گونه است که بعد از رسیدن آب مخزن به ارتفاع نهایی، شیر لوله ورودی به مدل باز شده و جریان آب به‌صورت خیلی آرام وارد مدل می‌شود. پس از تنظیم ارتفاع آب موردنظر در مدل، تخلیه‌کننده انتهایی باز می‌گردد. انتظار می‌رود که در شروع آزمایش، رسوبات تحت فشار آب همراه جریان آب با غلظت خیلی بالا از دریچه خارج شده و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش یابد. تمام آزمایش‌ها را تا زمانی ادامه خواهیم داد که حفره رسوب‌شویی به تعادل برسد. پس از پایان آزمایش با استفاده از متر لیزری، برداشت مقاطع عرضی در مدل انجام می‌شود. به‌منظور اندازه‌گیری خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، از یک سرریز

در جدول (۱) تعداد آزمایش‌ها هر یک از متغیرها بیان شده است.

Table 1. Experiment variables

H _w	D _a	H _a	L _a	Witness experiments	Total number of tests
4	3	4	4	16	208

انجام آزمایش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام گرفت. قسمت ورودی مدل دارای ابعادی به طول ۱ متر، عمق ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر می‌باشد. این قسمت از مدل از دو بخش به طول ۰/۵ متر تشکیل شده است. به‌منظور کنترل ارتفاع آب داخل مخزن از سرریز مستطیل شکل استفاده شود. بدین منظور در فاصله ۰/۵ از ابتدای داخل مدل، محلی برای قرارگرفتن سرریز سرتاسری در عرض مدل در نظر گرفته شد. آب مازاد ورودی به مدل پس از سرریز شدن از روی سرریز مستطیلی وارد لوله ۳ اینچی شده و به‌وسیله آن به مخزن اصلی تأمین آب برگشت داده می‌شد. همچنین در این قسمت تلاطم جریان ورودی به مدل گرفته شده و جریان به‌صورت آرام وارد قسمت اصلی مدل (مخزن) می‌شد. بدین منظور برای از بین بردن تلاطم جریان ورودی به مدل، به فاصله یک متری از ابتدای مدل، از صفحه مشبک فلزی استفاده شد. قسمت اصلی مخزن قسمت اصلی مخزن دارای طول ۶ متر، ارتفاع ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر می‌باشد. با توجه به فشار بالای ناشی از وزن آب و رسوب، جنس بدنه و کف مدل از فلز ساخته شد، منتهی برای مشاهده پدیده رسوب‌شویی و همچنین اندازه‌گیری شرایط هیدرولیکی جریان، قسمت جلو و قسمت انتهایی بدنه مدل به طول ۱/۵ متر از جنس پلکسی گلاس ساخته شد. به‌منظور انجام رسوب‌شویی و تخلیه رسوبات، دو تخلیه‌کننده با مقطع دایره‌ای شکل (شیر دو

انباشته شده در مخزن باشد. در ابتدای هر آزمایش پس از پرشدن تدریجی مخزن و رسیدن آب به ارتفاع موردنظر، تخلیه کننده تحتانی باز می شود. در مراحل اولیه آزمایش رسوبات با غلظت بیشتری از دریاچه خارج شد و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش یافت، به طوری که تغییرات ابعاد حفره بعد از گذشت ۶۰ دقیقه ناچیز بود. آزمایش ها تا زمانی که حفره رسوب شویی به تعادل برسد ادامه یافت، براساس نظر Kumar et al. (1999) زمان تعادل زمانی است که در مدت زمان سه ساعت تغییرات کم تر از یک میلی متر باشد. هرچه ارتفاع سطح آب کم تر می شد زمان تعادل برای شکل گیری مخروط رسوب شویی نیز کاهش می یافت. لذا با در نظر گرفتن ارتفاع سطح آب ۶۵ سانتی متر (بیشترین ارتفاع سطح آب) زمان تعادل برای تمام آزمایش ها ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از اتمام هر آزمایش برای این که شکل مخروط رسوب شویی تغییر نکند، ابتدا شیر ورودی به مخزن را بسته سپس دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی با کم کردن دور شیر خروجی کاهش می یافت. زه کشی مخزن توسط شیر آب خروجی که در انتهای مخزن در قسمت آرام کننده قرار داشت، انجام می شد.

نتایج و بحث

همان طور که گفته شد کارگذاری سازه های نیم استوانه جلوی تخلیه کننده تحتانی باعث می شود که قبل از اینکه بخشی از حجم مرده مخزن که در مقابل دریاچه قرار می گیرد، پر شود و دریاچه غیرقابل استفاده شود رسوبات جلوی دریاچه شسته شود. جریان های شعاعی با سرعت زیاد در بالادست دریاچه وجود دارد که باعث انتقال رسوبات می شود. با کارگذاری این سازه نزدیک دریاچه، زمانی که جریان های شعاعی با سرعت بالا به دریاچه نزدیک می شوند با گذر از شکاف سازه نیم استوانه به

مثلی با زاویه رأس ۲۶ درجه استفاده شد. سرریز مذکور در داخل مخزن مکعب مستطیل شکل (حوضچه ته نشینی رسوبات) در فاصله ۱/۳۰ متری از ابتدای مخزن مستطیلی قرار داده شد. به منظور اندازه گیری جریان خروجی از مدل لازم بود تلاطم جریان آن گرفته شود. بدین منظور در فاصله ۳۰ سانتی متری از ابتدای مخزن، صفحه مشبک فلزی قرار داده شد. آب خروجی از مدل پس از اندازه گیری و سرریز شدن از روی سرریز مثلی شکل، به وسیله یک لوله پنج اینچ به مخزن اصلی تأمین آب آزمایشگاه برگشت داده می شد. برای انجام آزمایش ها از رسوبات غیرچسبنده با قطر متوسط ۰/۵۱ میلی متر و با جرم مخصوص ۱۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده گردید. در ارتفاع سطح آب ۱۵ سانتی متر با تمام بازشدگی دریاچه تحتانی (شیر فلکه ۲ اینچی) حداکثر دبی دو لیتر بر ثانیه از آن می توان تخلیه کرد. بنابراین تمام آزمایش ها با دبی ثابت دو لیتر بر ثانیه انجام گرفت. در این آزمایش ها برای ایجاد و تقویت جریان گردابی در جلوی تخلیه کننده تحتانی از سازه نیم استوانه ای استفاده شد. با قرارگیری این سازه، جریان گردابی با قدرت بیشتری تشکیل شده و رسوبات بیشتری را از جلوی تخلیه کننده تحتانی به پایین دست منتقل می کند. آزمایش ها با قرارگیری سازه در جلوی محور مرکزی تخلیه کننده تحتانی و چسبیده به بدنه بالادست دیواره مخزن انجام گرفت. سازه های نیم استوانه از جنس پی وی سی انتخاب گردید. برای ایجاد جریان گردابی شکافی در سطح نیم استوانه ها ایجاد شد. ابتدا آزمایش ها روی نیم استوانه ها با ایجاد شکاف هایی با طول متفاوت (La) و ارتفاع متفاوت (Ha) انجام پذیرفت و طول قوس بهینه ای که در آن بیشترین مقدار رسوب شویی اتفاق می افتد تعیین شد. سپس در طول قوس بهینه ارتفاع شکاف ها تغییر داده شد، به طوری که در هر آزمایش بالای شکاف مماس و هم سطح رسوبات

مخروط با نیم‌استوانه نسبت به طول شکاف مختلف، گروه دوم تغییرات حجم و طول مخروط با نیم‌استوانه نسبت به عرض شکاف مختلف و گروه سوم بررسی حجم و طول مخروط نسبت به قطر نیم‌استوانه. شکل‌های (۶) و (۷) تغییرات حجم و طول رسوب‌شویی با نیم‌استوانه نسبت به طول شکاف مختلف را نشان می‌دهد.

جریان گردابی تغییر شکل داده و رسوبات ته‌نشین شده را از بستر جدا می‌سازند. (Jalili and Hosseinzadeh Dalir, 2012). براساس پژوهش‌های Powell (2007) دو عدد گرداب چرخشی از زیر دریچه در دو طرف محور مرکزی ایجاد می‌شود که این گرداب‌ها برای بالابردن رسوبات از کف مخزن کمک می‌کند. شکل (۵) نیز نمای شماتیک دریچه تخلیه و نیم‌استوانه نشان می‌دهد.

Table 2. Numerical results of experiments

Da (Cm)	(Cm) H_w			
	15	30	50	65
12.7	749	353	238	213
	756	362	268	240
	782	374	291	260
	853	379	296	264
	821	369	328	293
	859	386	344	306
	902	406	361	321
	947	426	379	337
	931	620	591	520
	974	649	619	544
	1023	681	650	571
	1074	715	682	599
	1244	877	826	722
	1302	918	864	755
1367	964	908	792	
1435	1012	953	831	
15.2	665	594	238	213
	765	682	285	255
	876	744	321	286
	976	776	338	301
	816	642	526	464
	948	745	611	537
	1063	836	685	601
	1141	897	735	644
	1126	623	552	486
	1308	724	641	563
	1466	811	718	630
	1574	871	771	675
	1494	766	631	555
	1735	890	733	642
1945	998	822	718	
2088	1071	882	770	
19.2	590	500	238	213
	774	642	303	270
	981	740	354	315
	1117	794	386	343
	1032	726	421	368
	1046	719	542	472
	1252	860	649	563
	1375	842	713	616
	1362	941	515	454
	1756	961	663	583
	2050	967	794	695
	2100	1061	872	761
	2210	877	826	722
	2312	918	864	755
2768	964	908	792	
3038	1012	953	831	

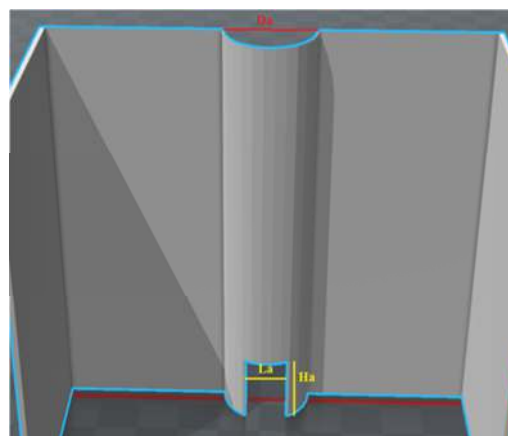
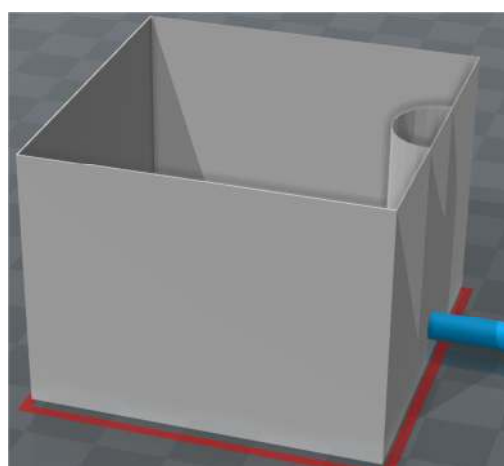


Figure 5. Schematic of drain valve and semi-cylindrical structure

در جدول (۲) حجم حفره رسوب‌شویی، برای تمامی آزمایش‌ها بر حسب سانتی‌متر مکعب نشان داده شده است. نتایج اندازه‌گیری حجم و طول حفره رسوب‌شویی شامل سه گروه می‌باشد. گروه اول تغییرات حجم و طول

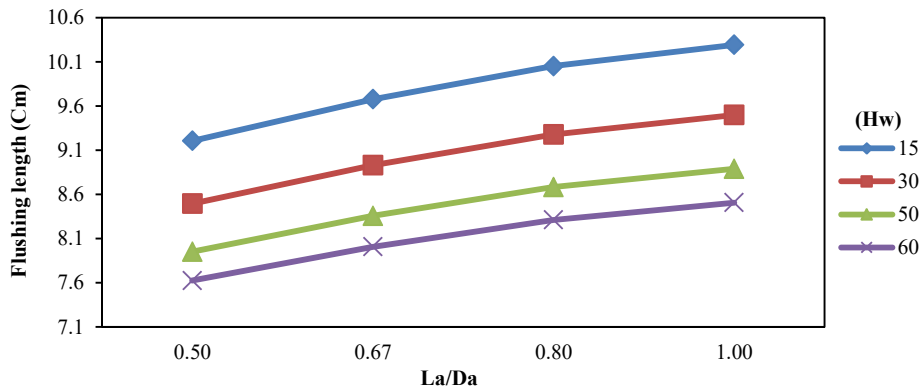


Figure 7. Half-cylinder flushing volume changes versus (L_a / D_a)

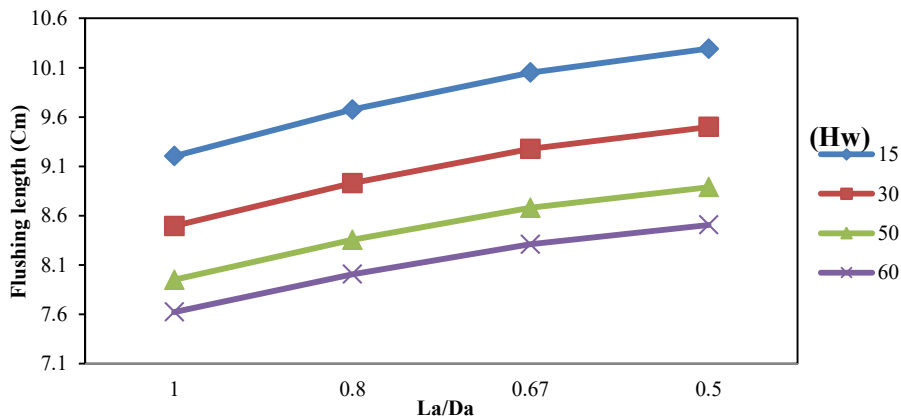


Figure 7. Half-cylinder flushing length changes versus (L_a / D_a)

سانتی متر حجم و طول رسوب شویی به میزان $13/9$ و $4/4$ درصد افزایش می یابد، با کاهش ارتفاع آب از 60 به 30 سانتی متر حجم و طول رسوب شویی به میزان $31/9$ و $11/6$ درصد افزایش می یابد و با کاهش ارتفاع آب از 60 به 15 سانتی متر حجم و طول رسوب شویی به میزان $76/9$ و $20/9$ درصد افزایش می یابد. علت افزایش حجم و طول رسوب شویی در اثر کاهش ارتفاع آب، خروج سازه از حالت استغراق می باشد. در این حالت گرداب های چرخشی به صورت آزادانه می توانند حرکت کرده به همین دلیل دارای قدرت بیش تری بوده و رسوبات بیش تری را منتقل می کنند. در ارتفاع 15 سانتی متر جریان از حالت مستغرق خارج شده و به سمت آب شویی آزاد می رفت که در نتیجه افزایش حجم و طول مخروط را به همراه داشت.

همان طور که در نمودار شکل (6) و (7) مشاهده می شود مقدار حجم و طول رسوب شویی نسبت به افزایش طول قوس (L_a) کاهش پیدا کرده است. با کاهش (L_a/D_a) از 1 به $0/5$ تغییرات حجم و طول رسوب شویی $39/4$ و $11/7$ درصد افزایش نشان می دهد. زیرا کاهش طول در دبی ثابت سرعت خروجی از شکاف و در نتیجه تخلیه تحتانی را افزایش می دهد که نهایت افزایش حجم و طول مخروط رسوب شویی را بدنبال دارد. این موضوع با پژوهش های Abdollahpour and Hossein Zadeh Dalir (2013) مطابقت دارد. لازم به ذکر است که تغییرات حجم مخروط رسوب شویی نسبت به طول مخروط در این حالت بیش تر می باشد. در مقایسه عملکرد طول قوس مشاهده می شود به ازای کاهش ارتفاع آب از 60 به 50

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی بر میزان رسوبات پشت سد در رسوب‌شویی تحت فشار

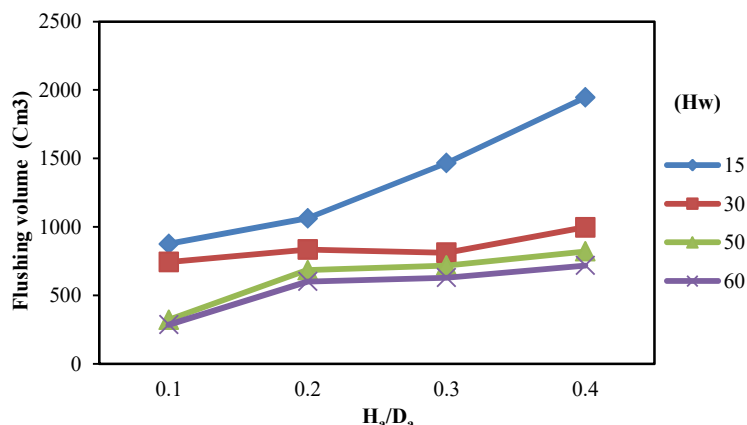


Figure 8. Half-cylinder flushing volume changes versus (H_a/ D_a)

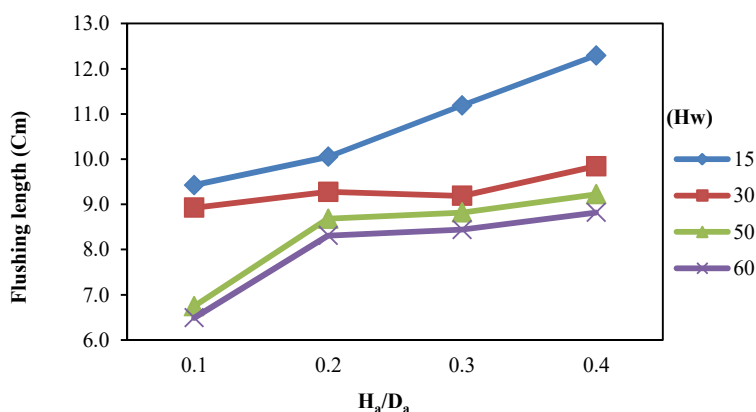


Figure 9. Half-cylinder flushing length changes versus (H_a/ D_a)

ارتفاع شکاف‌ها) باعث می‌شد که هنگام بازشدن دریچه، جریان آب با فشار زیاد وارد نیم‌استوانه شود و قدرت جریان گردابی چند برابر شده و رسوبات بیش‌تری از دریچه خارج شود. هم‌چنین علت بالابودن درصد افزایش شست‌وشوی سطح آب ۱۵ سانتی‌متر از دیگر سطوح آب می‌تواند این باشد که با انتخاب ارتفاع سازه‌های نیم‌استوانه به اندازه دو برابر قطر نیم‌استوانه، در ارتفاع سطح آب ۶۰ و ۳۰ سانتی‌متر، سازه‌ها در آب مستغرق بوده ولی در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر مستغرق نبوده و سطح بالای نیم‌استوانه به حالت باز و آزاد می‌باشد و گرداب‌های چرخشی به‌صورت آزادانه می‌توانند حرکت کرده به همین دلیل دارای قدرت بیش‌تری بوده و رسوبات بیش‌تری را منتقل می‌کنند

همان‌طورکه در شکل‌های (۸) و (۹) مشاهده می‌شود مقدار حجم و طول رسوب‌شویی نسبت به افزایش ارتفاع شکاف (H_a) افزایش پیدا کرده است. با افزایش (H_a/D_a) از ۰/۱ به ۰/۴ تغییرات حجم و طول رسوب‌شویی ۱۰۱/۳ و ۲۷/۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. در مقایسه عملکرد ارتفاع شکاف مشاهده می‌شود به‌ازای کاهش ارتفاع آب از ۶۰ به ۵۰ سانتی‌متر حجم و طول رسوب‌شویی به میزان ۱۳/۹ و ۴/۴ درصد افزایش می‌یابد، با کاهش ارتفاع آب از ۶۰ به ۳۰ سانتی‌متر حجم و طول رسوب‌شویی به میزان ۵۱/۶ و ۱۶/۱ درصد افزایش می‌یابد و با کاهش ارتفاع آب از ۶۰ به ۱۵ سانتی‌متر حجم و طول رسوب‌شویی به میزان ۱۳۹/۴ و ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. در این شکاف‌ها با افزایش H_a

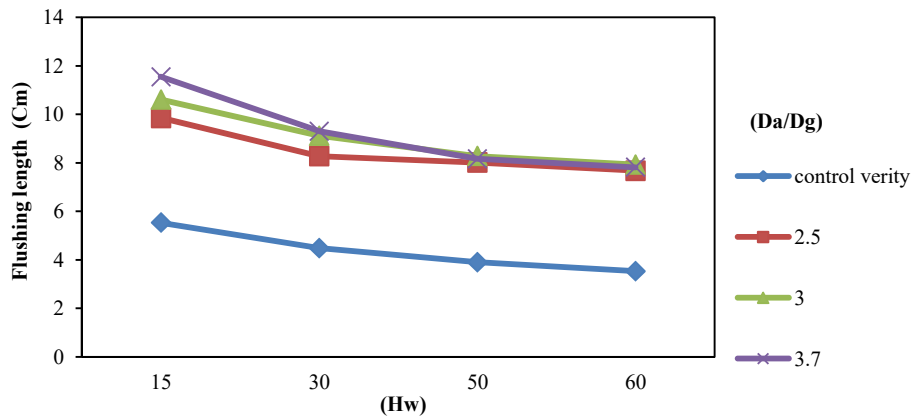


Figure 10. Half-cylinder flushing length changes versus (Hw)

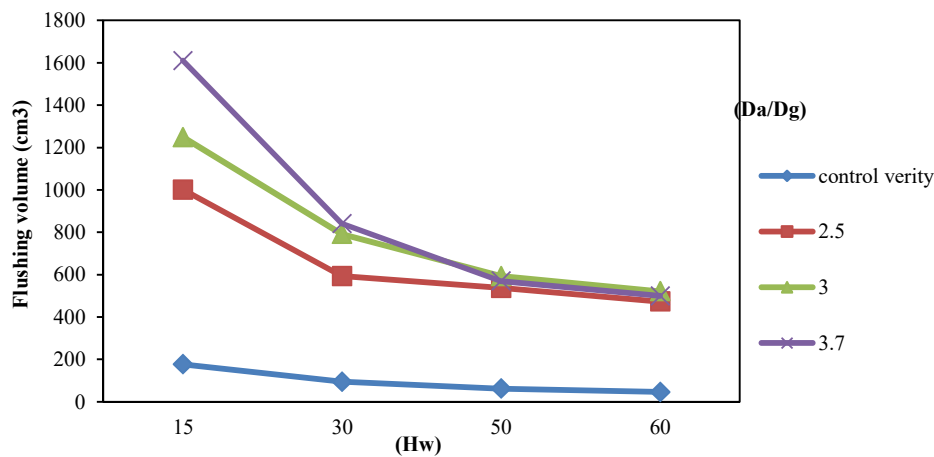


Figure 11. Half-cylinder flushing volume changes versus (Hw)

طول رسوب شوشویی را نسبت به مدل بدون استوانه افزایش می دهد. نمودارها و بررسی ها نشان می دهد که در قطرهای بزرگ نیم استوانه، رسوبات کم تری به پایین دست منتقل می شود و این موضوع در ارتفاع آب بالاتر (۶۰ سانتی متر) بیش تر مشهود است که این مسأله با تشکیل گرداب های ضعیف تر در داخل سازه (به دلیل بزرگ بودن قوس نسبت به گرداب ها) در ارتباط بوده باشد. به طور کلی با افزایش قطر ۲/۵ برابر قطر تخلیه کننده تحتانی حجم حفره به طور چشم گیری افزایش می یابد. در نهایت می توان نتیجه گرفت که قطر سازه نصب شده نباید بیش تر از سه برابر قطر تخلیه کننده و نیز هم چنین کم تر از ۲/۵ برابر تخلیه کننده تحتانی

با توجه به شکل های (۱۰) و (۱۱) می توان مشاهده کرد با نصب نیم استوانه ها حجم و طول رسوب شوشویی به طور محسوسی افزایش یافته است. در عمق های پایین تا ۵۰ سانتی متر افزایش قطر نیم استوانه باعث افزایش رسوب شوشویی شده، اما از عمق ۵۰ سانتی متر بیش تر تفاوت محسوسی در رسوب شوشویی دیده نشد. نصب نیم استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به طور متوسط به ترتیب ۵۸۷، ۷۳۲ و ۸۲۹ درصد افزایش حجم رسوب شوشویی را نسبت به مدل بدون استوانه به همراه خواهد داشت. هم چنین نصب نیم استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به طور متوسط به ترتیب ۹۴، ۱۰۶ و ۱۱۱ درصد

از سه برابر قطر تخلیه‌کننده باشد. طبق نتایج این پژوهش، نصب سازه نیم‌استوانه‌ای جهت بهبود و افزایش رسوب‌شویی در جهت حفظ حجم ذخیره مخزن سد پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

دسترسی به داده‌ها

aa_rasouli@yahoo.com
ehsan-parsi@iauhvaz.ac.ir

منابع

1. Abdollahpour, M., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2013). Effect of Semi-Cylinder Structure Position on Pressurized Flushing Efficiency of Reservoirs. *Water and Soil Science*, 23 (2), 269-282. (In Persian).
2. Ahn, J., Yang, C. T., Boyd, P. M., Pridal, D. B., & Remus, J. I. (2013). Numerical modeling of sediment flushing from Lewis and Clark Lake. *International Journal of Sediment Research*, 28 (2), 182-193.
3. Althous, J. (2011). *Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet induced flow*. PhD Thesis. Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Swiss.
4. Davoodi, L., & Shafai Bejestan, M. (2012). Application of submerged vanes for sediment control at Intakes from Irrigation trapezoidal channels. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(2), 59-71. (In Persian).
5. Elahi, A., & Kasefipour, M. (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 (JISE)*, 39 (2), 27-37. (In Persian).
6. Emamgholizadeh, S., Bina, M., Ghomeshi, M., & Jahani, H. (2007). The Investigation and Evaluation of the Pressure Flushing through Storage Reservoirs Using Physical Models. *Iran-Water Resources Research (IR-WRR)*, 3 (1), 68-79. (In Persian).
7. Emamgholizadeh, S., & Fathi Moghdam, M. (2014). Pressure Flushing of Cohesive Sediment in Large Dam Reservoirs. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 (4), 674-681.

باشد تا بیش‌ترین عملکرد را داشته باشد. لازم به ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، با نتایج پژوهش‌های Madadi et al. (2012) Jalili and Hoseinzadeh Dalir (2017) و Spuy et al. (2019) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با کارگذاری سازه نیم‌استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی حجم رسوب‌شویی افزایش می‌یابد. به‌عبارت بهتر یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم‌استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه به‌وجود می‌آید. در این پژوهش به تأثیر استفاده از سازه نیم‌استوانه در استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی پرداخته شد. بررسی تأثیر طول قوس (L_a) بر حجم و طول رسوب‌شویی نشان داد که با کاهش (L_a/D_a) از ۱ به ۰/۵ تغییرات حجم و طول رسوب‌شویی ۳۹/۴ و ۱۱/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. هم‌چنین با افزایش (H_a/D_a) از ۰/۱ به ۰/۴ تغییرات حجم و طول رسوب‌شویی ۱۰۱/۳ و ۲۷/۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. با کاهش ارتفاع آب از ۶۰ به ۱۵ سانتی‌متر حجم و طول رسوب‌شویی به‌طور متوسط به میزان ۱۳۹/۶ و ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. نصب نیم‌استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۵۸۷، ۷۳۲ و ۸۲۹ درصد افزایش حجم رسوب‌شویی را نسبت به مدل بدون استوانه در پی خواهد داشت. هم‌چنین نصب نیم‌استوانه به قطرهای ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۹/۲ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۹۴، ۱۰۶ و ۱۱۱ درصد افزایش طول رسوب‌شویی را نسبت به مدل بدون استوانه به‌همراه خواهد داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در قطرهای بزرگ نیم‌استوانه، رسوبات کم‌تری به پایین‌دست منتقل می‌شود و این موضوع با تشکیل گرداب‌های ضعیف‌تر در داخل سازه (به‌دلیل بزرگ‌بودن قوس نسبت به گرداب‌ها) در ارتباط می‌باشد که در این صورت قطر سازه نصب‌شده نباید بیش‌تر

8. Ghomeshi, M., Jahanshahi, M., & Zayeri, M.R. (2012). Simulation of Sediment Deposition in Jiroft Reservoir Using GSTARS3 Model. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 35 (3), 1-10. (In Persian).
9. Hekmat, K., & Shafaei Bejestan, M. (2006). Conditions for the discharge of sticky sediment from pressurized ducts using a sudden wave. *In: Proceeding of 7th International River Engineering Conference*. Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz. Iran. (In Persian).
10. Jalili, H., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2012). Extend the vortex flow around the reservoirs sluice gate, *Proceeding of the First International Conference on Dams and Hydropower*. 7-9 February, Tehran, IRAN. (In Persian).
11. Kumar, V., Rango Raju, K.G., & Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulics Engineering*, 125(12), 1302-1305.
12. Madadi, M.R., Rahimpour, M., & Qaderi, K. (2017). Improving the Pressurized Flushing Efficiency in Reservoirs: An Experimental Study. *Water Resources Management*, 31, 4633-4647.
13. Meshkati, M.A., Dehghani, A.A., Emamgholizadeh, S., & Ebrahimi, F. (2009). Influence of pressurized valve dimensions and melting mixture dimensions on pressurized flushing. *08th International River Engineering Conference*. Shahid Chamran University of Ahvaz, Water utility company in Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian).
14. Morris, L. M., & Fan, J. (1997). *Reservoir Sedimentation Handbook, design and management of dams, reservoirs and watershed for sustainable use*. New York, McGraw Hill.
15. Powell, N. D. (2007). *Sediment transport upstream of orifice*. Ph.D. thesis, Clemson University. South Carolina UMI.
16. Samadi Boroujeni, H., Khastar, M., Fattahi, R., Ghasemi, M., & Taheri, Z. (2019). Experimental Study on the Threshold Shear Stress of fine sediments (Case Study: Karkeh Reservoir Dam Sediments). *Journal of Hydraulics*, 13 (3), 107-115. (In Persian).
17. Seyedjavad, M. S., & Mashal, M. (2015). Evaluation of hydraulic sensitivity indicators for Baffle modules (Case study: Varamin Irrigation and drainage network). *Journal of Water and Irrigation Management*, 4 (2), 229-242. (In Persian).
18. Spuy, L.R.V.D. (2019) Basson, G.R. Bosman, D.E. Flushing of sediments at hydropower plant dams. *Conference: HYDRO*, At: Porto, Portugal.
19. Talebbeydokhti, N., & Naghshineh, A. (2004). Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science & Technology Transaction*, B(28), 119-136.
20. White, W.R., & Bettess, R. (1984). The feasibility offlushing sediments through reservoirs. *International Association of Hydrological Sciences*, 144, 577-587.