



Investigation the phenomenon of sediment flushing under submerged condition in the upstream of dams using physical model

Mohammad Javad Nasr Esafahani ¹✉ , Roozbeh Riazi ² , Sara Bani Naima ³ 

¹ Corresponding Author, Ph. D graduated of water structures, Head of applied research department of Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: mo.isfahani@gmail.com

² Assistant professor, Department of Civil engineering, Islamic Azad University, Dehdasht branch, Dehdasht, Iran. Email: roozbehriazi@yahoo.com

³ Ph. D student of Hydrology and Meteorology, Faculty of Humanities, Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. Email: amiri.sara63@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

Today, the most serious risk for the early death of dams is the risk of sedimentation of their reservoirs. Among the conventional methods in the field of sediment management in reservoirs of dams, we can refer to damming, construction of short dams upstream, dredging and flushing. Since flushing is one of the most important and cheapest methods of recovering the lost volume of the tank, therefore, the investigation of this phenomenon and the investigation of various parameters on it, as well as the investigation of its feasibility, have been of interest to researchers and engineers. Hydraulic sediment washing is called a method in which by opening the lower drains of the bottom or a lower number, it is used to cause erosion of erodible sediments that have already been deposited inside the tank, this method is done in two ways:

1- Free hydraulic sediment washing, in this method, the water level of the tank is lowered by the bottom dischargers until the river flow takes place in the tank.

2-Hydraulic sediment washing under pressure, in this method, during sediment washing, the lower drains of the dam are usually opened for a certain period of time.

Methodology

To check the mentioned parameters in this research, a physical model with a length of 1 meter, a width of 1 meter and a height of 1.10 meters and by performing various tests using 2 water heights inside the tank, 3 water heights inside the pond and with 3 types of sediment granulation (in total 81 experiments) were investigated and studied. In the research process, after data collection, the next step involves data analysis. Data analysis is not only in a statistical way and there are many researches that lack statistical aspects and mainly rely on documents and rational perception and analysis. Such research also follows the complete process of scientific research and has an analysis stage. Therefore, analysis is generally of two types: quantitative analysis and qualitative analysis.

Some have classified quantitative analysis into descriptive analysis and explanatory (causal) analysis. At the level of descriptive quantitative analysis, the distribution of experimental data of each of the independent and dependent variables is expressed through appropriate statistical indicators.

At the level of explanatory analysis, we are dealing with causal analysis, and the causal relationship between variables is sought. Qualitative analysis can be done at three levels: description, explanation and interpretation. In carrying out the model tests, various options that are desired by the designer are studied and the values of scour holes are measured in each of them.

In fact, the experiments were carried out both quantitatively and qualitatively, and when necessary, photographs were taken of the steps. Each test was recorded in order to obtain more accurate results.

In order to process the results easily and quickly, it is better that the process and steps of measurement are the same for all experiments and in a repetitive manner, so that while increasing the speed of the measurement, the error can be reduced as much as possible.

Results and discussion

The results of this research show that in sediment washing under pressure, when the lower discharger returns for sediment washing, a sediment washing cone is formed in front of it. The dimensions of the formed sediment washing cone depend on the discharge from the lower discharger, the height of the water inside the tank and the diameter of the sediments accumulated inside the tank, so that the measurement results show that in order to keep the height of submerged water constant, the height of water inside the tank increases.

It increases the volume and length of the sediment washing cone. Also, for a fixed height of water inside the tank, increasing the height of submerged water causes an increase in the volume and length of the sediment washing cone.

Conclusions

In general, it can be concluded that in this research, there was a trend in drawing tables and graphs that can be used for analysis, similar research, for observation and quick conclusions, And with the increase of D_{50} , the amount of sediment washing decreases.

The amount of water height h_2/h_1 has a direct relationship with the amount of sediment washing. The height of the water upstream is directly proportional to the amount of sediment discharge, and the reason for this is the high output flow and ultimately the increase in kinetic energy.

In this research, it was found that the amount of sediment washing has a more direct relationship with D_{50} than with the PI of the material. For this purpose, it is recommended to the operators, when the tank is full and the flow is submerged, the amount of sediment washing is quantitatively higher than when the water level is at lower levels. Better sediment washing, sediment washing operation should be done. If the flow is supposed to be submerged, the best flushing is done when the water level downstream is at the lowest level.

As mentioned, sediment washing usually causes water wastage, so for better sediment washing, first, past research on this matter should be used and then action should be taken. The results showed that with a 50% increase in the height of the water inside the tank for the constant water height inside the pond, the scour rate will also increase by approximately 50%. Also, for a 66% increase in the height of the water in the pond,

the amount of scour decreased by approximately 19% in the half-full state of the reservoir and 35% in the full-filled state. This increase and decrease were observed for all three soil samples used in the experiments.

Keywords: Sediment flushing, Submerged condition, dams, Physical model

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 07 October 2022 **Revised:** 21 November 2022 **Accepted:** 06 December 2022 **ePublished:** 28 February 2023

Cite this article: Nasr Esafahani, M.J., Riazi, R., & Bani Naima, S. (2023). Investigation the phenomenon of sediment flushing under submerged condition in the upstream of dams using physical model, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 50 -67 . DOI: <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.8057.1024>

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی پدیده رسوبشویی تحت جریان مستغرق در تخلیه رسوبات بالادست سدها با استفاده از مدل فیزیکی

محمدجواد نصر اصفهانی^۱✉، روزبه ریاضی^۲، سارا بنی نعیمه^۳

^۱ نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی، رئیس گروه نوآوری و توسعه فناوری سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: mo.isfahani@gmail.com
^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دهدشت، دهدشت، ایران. رایانامه: roozbehriazi@yahoo.com
^۳ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: amiri.sara63@gmail.com

چکیده

در روش رسوبشویی تحت جریان مستغرق، مقدار حجم رسوبات تخلیه شونده به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که می‌توان به عمق آب داخل مخزن، عمق آب داخل حوضچه، دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن اشاره نمود. برای بررسی پارامترهای مذکور در این پژوهش از یک مدل فیزیکی به طول ۱ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۱ متر و با اجرای آزمایش‌های مختلف با استفاده از ۲ ارتفاع آب داخل مخزن، ۳ ارتفاع آب داخل حوضچه و با ۳ نوع دانه‌بندی رسوب (در مجموع ۸۱ آزمایش) استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در رسوبشویی تحت فشار زمانی که تخلیه کننده تحتانی برای رسوبشویی باز گردد، جلوی آن یک مخروط رسوبشویی تشکیل می‌شود. ابعاد مخروط رسوبشویی تشکیل شده به دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن بستگی دارد به طوری که ثابت نگه‌داشتن ارتفاع آب مستغرق و افزایش ارتفاع آب داخل مخزن، موجب افزایش حجم و طول مخروط رسوبشویی می‌گردد. همچنین به ازای یک ارتفاع آب ثابت در داخل مخزن، افزایش ارتفاع آب مستغرق موجب افزایش میزان حجم و طول مخروط رسوبشویی می‌شود. نتایج نشان داد با افزایش ۵۰ درصدی ارتفاع آب داخل مخزن به ازای ارتفاع آب ثابت داخل حوضچه، میزان آب شستگی نیز افزایش تقریبی ۵۰ درصدی خواهد داشت. همچنین به ازای افزایش ۶۶ درصدی ارتفاع آب داخل حوضچه، میزان آب شستگی به میزان تقریبی ۱۹ درصد در حالت مخزن نیمه‌پر و ۳۵ درصد در حالت مخزن پر کاهش یافت. این افزایش و کاهش برای هر سه نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها مشاهده گردید.

واژه های کلیدی: رسوبشویی، جریان مستغرق، سد، مدل فیزیکی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۵ مهر ۱۴۰۱ اصلاح: ۳۰ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۵ آذر ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: نصر اصفهانی، م.ج، ریاضی، ر.، بنی نعیمه، س. (۱۴۰۱). بررسی پدیده رسوبشویی تحت جریان مستغرق در تخلیه رسوبات بالادست سدها با استفاده از مدل فیزیکی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۱)، ۶۷-۵۰. شناسه دیجیتال: <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.8057.1024>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

مواد رسوبی که وارد مخازن سدها می‌شوند، حاصل عمل فرسایش پوسته زمین است که توسط رودخانه حمل و به مخزن وارد می‌شوند. میزان فرسایش به عوامل متعددی همچون شرایط آب و هوایی، خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع کاربرد اراضی و مشخصات رودخانه دارد. از این رو میزان فرسایش خاک ممکن است از ۰/۰۶ میلی‌متر در سال تا ۰/۱۶ میلی‌متر تغییر کند، به‌طور متوسط در حدود ۱۳۲ تن رسوب در هر کیلومترمربع در هر سال تولید می‌شود، (بنی‌هاشمی، ۱۳۸۷). بیشتر مواد رسوبی فرسایش شده به‌صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر توسط رودخانه حمل و در مخازن سدها به دلیل تغییر شرایط هیدرولیکی جریان ترسیب می‌شود. مخازن سدها می‌تواند تا صد درصد از رسوبات را در خود ذخیره نماید. جمعیت جهان تا سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۴) در حدود شش میلیارد و سیصد و پنجاه میلیون نفر بوده است که تا سال ۱۳۳۰ (۲۰۵۰) به ده میلیارد نفر خواهد رسید. این مسئله باعث افزایش تقاضا برای مصرف آب بخصوص آب‌های سطحی می‌گردد. جدول ۱، وضعیت منابع آب در مناطق مختلف جهان در سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد. هرچند که به‌طور متوسط ۱۲ درصد از حجم منابع آب تجدیدشونده طبیعی در مخزن سدها ذخیره می‌شود، ولی این میزان در مناطقی نظیر خاورمیانه تا ۶۰ درصد هم می‌رسد. این جدول اهمیت حفظ و نگهداری مخازن موجود و نیاز به ساخت مخازن جدید را نشان می‌دهد، (هالی و همکاران، ۲۰۱۰). مخازن سدها باهدف ذخیره کردن بخشی از جریان‌های سیلابی رودخانه و به‌منظور کنترل سیل، ذخیره آب برای مصارف پایین‌دست، تولید انرژی و یا تفریحات احداث می‌شوند، ترسیب رسوب در آن‌ها باعث از دست رفتن حجم مفید مخزن می‌گردد. نرخ متوسط ترسیب سالانه درصد حجمی از مخزن که توسط رسوب اشغال می‌شود، در مناطق مختلف جهان متفاوت است. مطابق با جدول ۲، هر ساله به‌طور متوسط بین ۱ تا ۳٪ از حجم کل ذخیره مخازن سدهای جهان در اثر رسوب‌گذاری از دست می‌رود. متأسفانه در کشورهایی نرخ رسوب‌گذاری بالا است که جمعیت بالاتری دارند (ریکی و همکاران^۲، ۱۹۹۷). به‌منظور تأمین نیاز آبی جمعیت و جبران بخشی از حجم مخازن ازدست‌رفته، نیاز به ساخت مخازن جدید است. جدول ۳ تقاضا برای ساخت مخازن جدید را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد، (موریس و فان^۳، ۱۹۹۷).

جدول ۱. وضعیت منابع آب تجدیدشونده در مناطق مختلف جهان (تا سال ۲۰۰۴) (هالی و همکاران، ۲۰۱۰)

منطقه	جمعیت (میلیون نفر)	منابع آبی تجدیدشونده داخلی (سال/کیلومتر مکعب)	منابع آبی تجدیدشونده طبیعی (سال/کیلومتر مکعب)	منابع آبی تجدیدشونده طبیعی برای هر نفر (سال/مترمکعب)	حجم مخازن (کیلومتر مکعب)	درصد منابع آب تجدیدشونده طبیعی که در مخزن نگهداری می‌شود
آسیا	۳۵۷۴	۱۱۱۱۷	۱۴۵۰۸	۴۰۵۹	۱۲۶۲	۹
اروپا	۷۲۹	۶۵۹۲	۷۷۷۱	۱۰۶۵۶	۱۰۸۳	۱۴
خاورمیانه و شمال	۴۳۵	۵۱۷	۶۵۴	۱۵۰۴	۳۹۲	۶۰
آمریکای شمالی	۳۲۶	۵۶۵۰	۵۹۵۳	۱۸۲۸۷	۱۸۴۵	۳۱
آمریکای مرکزی	۱۷۷	۱۲۱۱	۱۲۵۱	۷۰۷۴	۱۴۸	۱۲
آمریکای جنوبی	۳۶۷	۱۲۲۴۶	۱۷۱۹۵	۴۶۹۰۴	۸۹۱	۵
اقیانوسیه	۳۱	۱۶۹۴	۱۶۹۴	۵۵۱۴۳	۱۰۷	۶
صحرای آفریقا	۷۱۴	۳۸۸۷	۵۴۴۷	۷۶۳۴	۳۸۸	۷
جهان	۶۳۵۲	۴۲۹۱۳	۵۴۴۷۳	۸۵۷۶	۶۳۵۲	۱۲

¹ Holly et al² Ritchie et al³ Morris & Fan

جدول ۲. نرخ رسوب‌گذاری در مخازن سدها در مناطق مختلف جهان (ریکی و همکاران، ۱۹۹۷)

کشور	درصد رسوب‌گذاری سالیانه	درصد کل رسوب‌گذاری
چین	۲/۳	۱۴/۲
هندوستان	۰/۴۶	۹/۶
ژاپن	۰/۱۵	۸/۸
جنوب آسیا	۰/۳۰	۸/۰
جنوب آفریقا	۰/۳۴	۱۱/۴
ترکیه	۱/۵	۵۹/۷
انگلستان	۰/۱۰	—
آمریکا	۰/۲۲	۳/۹
جهان	۱/۰	۱۱/۸

جدول ۳. تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان (ریکی و همکاران، ۱۹۹۷)

منطقه	حجم مخزن موردتقاضا (کیلومتر مکعب)		
	۲۰۳۰ تا ۲۰۲۰	۲۰۲۰ تا ۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰
اروپا	۵۴	۵۱	۴۹
آمریکای مرکزی و جنوبی	۴۲۴	۴۹۵	۴۶۷
آفریقا	۲۴۸	۲۰۳	۱۶۷
آسیا و اقیانوسیه	۲۱۳	۲۸۱	۳۱۵
مجموع	۹۳۹	۱۰۳۲	۹۹۸

امروزه جدی‌ترین خطر برای مرگ زودهنگام سدها، خطر رسوب‌گذاری مخازن آن‌ها است. از جمله روش‌های مرسوم در زمینه مدیریت رسوب در مخازن سدها، می‌توان به آبخیزداری، احداث سدهای کوتاه در بالادست، لایروبی و فلاشینگ اشاره نمود. از آنجا که فلاشینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های بازبایی حجم ازدست‌رفته مخزن است، لذا بررسی این پدیده و بررسی پارامترهای مختلف بر آن و همچنین بررسی امکان‌پذیری آن موردعلاقه محققین و مهندسين بوده است. رسوب شویی هیدرولیکی به روشی گفته می‌شود که در آن با بازنمودن تخلیه کننده‌های تحتانی در کف یا رقوم پایین‌تر برای ایجاد فرسایش رسوبات فرسایش پذیر که از قبل در داخل مخزن نهشته شده‌اند بکار می‌رود، این روش به دو طریق انجام می‌شود (فان، ۱۹۵۸):

۱- رسوب شویی هیدرولیکی آزاد، در این روش ارتفاع آب مخزن به‌وسیله تخلیه کننده‌های تحتانی تا جایی که جریان رودخانه‌ای در مخزن صورت گیرد، پایین آورده می‌شود.

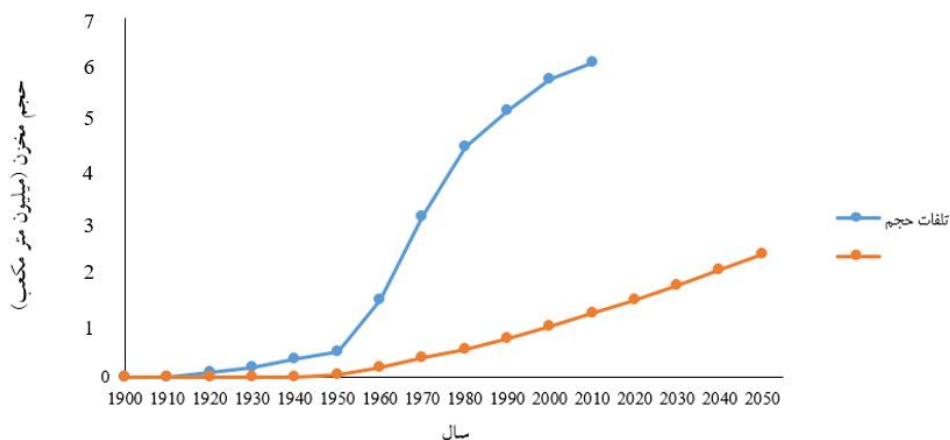
۲- رسوب شویی هیدرولیکی تحت فشار، در این روش در طول مدت انجام رسوب شویی، معمولاً تخلیه کننده‌های تحتانی سد برای مدت‌زمان معینی باز می‌شود. زمانی که آب از میان تخلیه کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد، حرکت عمومی جریان آب به‌طرف تخلیه کننده‌های تحتانی موجب ایجاد نیروی فرساینده بر روی رسوبات نهشته شده می‌گردد، لذا همراه جریان آب، رسوبات نهشته شده از طریق تخلیه کننده‌های تحتانی از سد خارج می‌گردند. در این روش پس از مدتی از انجام رسوب شویی حفره یا چاله‌ای از آب شستگی به شکل مخروط یا قیف در جلوی

¹ Flushing

دریچه تحتانی در داخل مخزن به وجود آمده و توسعه می‌آید. این روش معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بخواهند رسوبات نهشته شده در اطراف ورودی آبیگیر را برطرف نمایند، (موریس و فان، ۱۹۹۷).

در این روش شایسته است که دبی بهینه خروجی آب معلوم گردد زیرا در صورتی که دبی خروجی آب از حد ضروری برای حرکت دادن دانه‌ها کمتر باشد رسوبات درجایی در پایین دست سد تجمع می‌یابند و یا ممکن است در سرعت‌های کم اصولاً مسیر رودخانه را مسدود کنند و در صورتی که آب خیلی زیاد باشد موجب فرسایش‌های جدید و از طرفی موجب اتلاف آب می‌گردد. بدیهی است که مقدار بهینه این دبی تابع توپوگرافی مسیر رودخانه و از طرفی تابع میزان رسوبات و دانه‌بندی آن‌ها است.

سدسازی از جمله پروژه‌های بسیار پرهزینه است که مسئله رسوب‌گذاری در مخزن سد مهم‌ترین عامل محدودکننده عمر مفید آن است و نیز باعث کاهش حجم مخزن و بهره‌وری از آن می‌شود، به طوری که بر اساس گزارش کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ به طور متوسط سالیانه نیم تا یک درصد از حجم کل ذخیره سدهای موجود در اثر رسوب‌گذاری از دست می‌رود، (اتکینسون، ۱۹۸۸) و در حال حاضر بسیاری از سدهای در حال بهره‌برداری با این پدیده مواجه می‌باشند. از آنجایی که در اثر عواملی همچون جریان‌های غلیظ، کاهش سرعت آب در مخزن و غیره، در ابتدای مخزن سد رسوبات تشکیل می‌شوند و نیز قادر به پیمودن طول مخزن تا مجاورت سد می‌باشند، هدایت به موقع آن‌ها از تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد می‌تواند مقدار رسوب‌گذاری در مخزن، به ویژه در قسمت‌های عمیق آن را کاهش دهد. روند کاهش حجم سدها در اثر رسوب‌گذاری در شکل ۱ نشان داده شده است، (اصغری‌پری، ۱۳۸۸).



شکل ۱. روند کاهش حجم سدها در اثر رسوب‌گذاری، (اصغری‌پری، ۱۳۸۸)

از راه‌های بررسی این موضوع این است که با دبی‌های فرضی و با توجه به شیب و مسیر رودخانه میزان رسوبات قابل حمل تعیین شود. همچنین با توجه به دبی خروجی تعیین شده و نوع رسوبات، اندازه قطر دریچه جهت تخلیه مشخص می‌گردد. آنگاه بر اساس نمونه‌گیری‌ها از مخزن سد و رسوبات آن مشخص گردد که آیا دبی لازم برای آن حجم از رسوبات تا چه حد مناسب است و در این حال با مطالعه کل مسیر رودخانه و در نظر گرفتن دبی‌های مختلف می‌توان نموداری تنظیم نمود که نشان‌دهنده مقدار دبی لازم برای رسوب‌گذاری و حمل آن تا انتهای مسیر از آن مخزن باشد. در تحقیق حاضر سعی گردید با انجام آزمایش‌هایی در جریان مستغرق و تأثیر آن در تخلیه رسوبات بالادست و میزان آب شستگی با استفاده از مدل فیزیکی مورد بررسی قرار گیرد.

تاکنون تحقیقات فراوانی در خصوص رسوب‌زدایی از مخزن سدها صورت گرفته است و نشان داده است که رسوب‌زدایی از مخازن سدها با ایجاد فرسایش پس‌رونده به‌عنوان یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین روش‌های مقابله با پدیده رسوب در سدها است. جمع‌آوری اطلاعات بیش از

¹ Atkinson

۲۳۰۰ سد در ۳۱ کشور و آنالیز نتایج آن نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۰۰ میلادی چیزی در حدود ۷۶۵ کیلومتر مکعب (تقریباً ۱۰ درصد حجم کل مخازن دنیا) به واسطه رسوب‌گذاری ازدست‌رفته است. اهمیت حفظ ظرفیت مفید مخازن در دنیا و موفقیت‌های فراوانی که در بازیابی آن به روش رسوب‌شویی حاصل شده است لزوم بررسی امکان‌پذیری این روش مفید را در مراحل ابتدایی طراحی کلیه سدهایی که حوضه آن‌ها آورد رسوب قابل توجهی دارد را یادآور می‌شود. رسوب‌شویی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های بازیابی حجم ازدست‌رفته مخازن است. تاکنون تحقیقات زیادی بر روند این پدیده صورت گرفته، اما تحقیقات اندکی بر روی پارامترهای مختلف پدیده رسوب‌شویی و تأثیر آن در تخلیه رسوبات بالادست در جریان مستغرق صورت گرفته است. در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف مانند: ارتفاع آب بالادست، ارتفاع آب پایین، دست میزان بازشدگی درپچه‌ها، جنس رسوبات بر کیفیت این عملیات بررسی می‌شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نکوئیان فر (۱۳۸۵) برای اولین بار تأثیر فلاشینگ بر کاهش حجم رسوبات پشت دیواره سد شهید عباسپور و افزایش عمر مفید سد را مورد ارزیابی قرارداد. نتایج هیدرو گرافی‌های انجام‌شده قبل و بعد از فلاشینگ این سد مطالعه گردید، سپس حجم رسوبات تخلیه‌شده، شعاع تأثیر آن نسبت به زمان، درصد رسوبات تخلیه‌شده نسبت به کل رسوبات ناحیه تحت فلاشینگ و کل رسوبات مخزن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با فرض عدم به‌روز شدن دستورالعمل بهره‌برداری، عدم بازسازی تأسیسات تونل تخلیه تحتانی سد به‌منظور انجام مانورهای سالیانه و در نهایت ثابت ماندن وضعیت پوشش گیاهی موجود حوزه آبخیز، عمر مفید باقیمانده سد پیش‌بینی گردید و دستورالعمل فلاشینگ بهینه ارائه شد. رحمانیان (۱۳۸۵) ضمن بررسی خصوصیات هیدرولیکی و معیارهای موفقیت روش رسوب‌شویی با آنالیز نتایج حاصل از یک برنامه کامپیوتری به تحلیل معیارهای تجربی عملیات فلاشینگ و تأثیر آن در مدیریت بهره‌برداری از یک سد فرضی پرداخته شد.

امامقلی زاده (۱۳۸۷) در تحقیقی نشان داد که در روش رسوب‌شویی تحت‌فشار، مقدار حجم رسوبات تخلیه‌شده به پارامترهای مختلفی نظیر عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن وابسته است. برای بررسی پارامترهای مذکور در این پژوهش یک مدل فیزیکی به طول ۷ متر، عرض ۱/۵ و ارتفاع ۱/۵ ساخته شد و با اجرای آزمایش‌های مختلف با استفاده از ۵ دبی، ۳ ارتفاع آب و با ۳ نوع دانه‌بندی رسوب (درمجموع ۴۵ آزمایش) به بررسی و مطالعه آن پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در رسوب‌شویی تحت‌فشار زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی برای رسوب‌شویی بازمی‌گردد، در جلوی آن یک مخروط رسوب‌شویی تشکیل می‌گردد. همچنین ابعاد مخروط رسوب‌شویی تشکیل‌شده به دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن بستگی دارد. نتایج این تحقیق نشان داده است که به ازای یک دبی ثابت، کاهش ارتفاع آب داخل مخزن موجب افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌گردد. همچنین به ازای یک ارتفاع آب ثابت در داخل مخزن، افزایش دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی موجب افزایش میزان حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌شود. علاوه بر آن کاهش قطر رسوبات در افزایش طول و حجم مخروط رسوب‌شویی تأثیر مثبت دارد.

صمدی بروجنی (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های کامپیوتری انتقال رسوب، مناسب‌ترین وضعیت هیدرولیکی برای کاهش اثرات منفی ناشی از رسوب‌شویی و انتقال رسوبات پشت سد دز به پایین‌دست را مورد بررسی قرار داد.

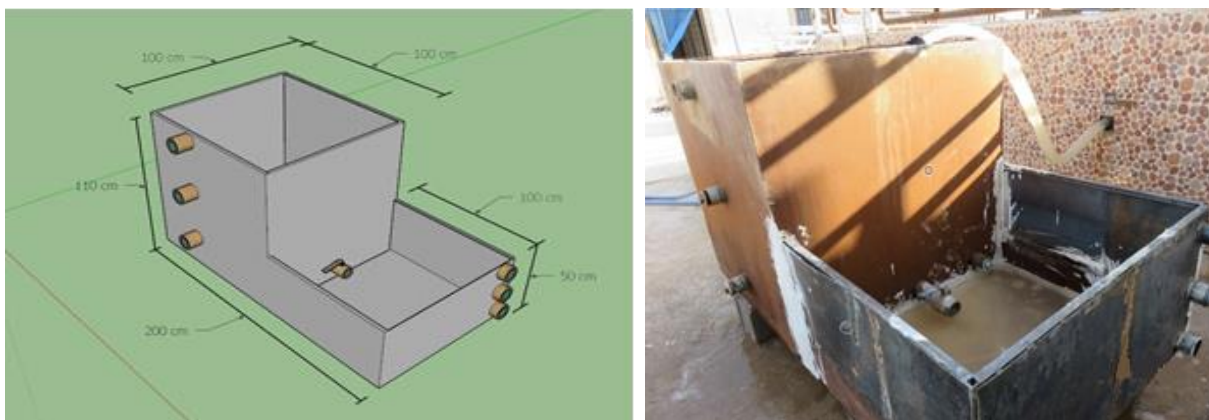
ساندرس براند (۲۰۱۰) با کمک واسنجی داده‌های آبنگاری محل و زمان رسوب‌گذاری طولی و عرضی در پایین دست رودخانه در اثر رسوب‌شویی را مورد مطالعه قرار داد. همچنین تفاوت تغییرات رودخانه در زمان قبل و پس از رسوب‌شویی را مقایسه نمود.

شمسایی و شاکری (۱۳۹۰) در تحقیقی برای تعیین چگونگی توزیع رسوب در مخازن سدها، مدل ریاضی GSTAR2.1 را مورد استفاده قرار دادند و در مدیریت داده‌های ورودی از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. در این تحقیق با مطالعه موردی بر روی مخزن سد میناب، از برنامه ILWIS به‌منظور دستیابی اطلاعات تکمیلی در زمینه روند رسوب‌گذاری مخزن این سد، به‌صورت تلفیقی با مدل ریاضی GSTAR2.1 استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که برای طراحی هیدرولیکی بهینه مخزن سدها، می‌توان با استفاده از روش ارائه‌شده،

نسبت به پیش‌بینی نحوه انتقال و توزیع رسوب در مخزن سدها اقدام نمود و این روش با استفاده از روش‌ها و تحلیل‌های بکار رفته در مدل GSTAR2.1 از دقت قابل قبولی برخوردار است و نتایج حاصل شده GIS و ابزارهای قدرتمند تحلیل‌های مکانی قابل اتکا می‌باشند. سروریان (۱۳۹۱) شبیه‌سازی و تحلیل پارامتریک مؤلفه‌های مؤثر بر اجرای عملیات فلاشینگ سد سفیدرود با استفاده از مدل عددی CCHE2D را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیقات ایشان به‌خوبی با شرایط هیدرولیکی به وجود آمده در عملیات فلاشینگ مطابقت داشت. عبدالله‌پور و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) روشی را به‌منظور تخلیه رسوبات ارائه دادند تا به کمک آن بتوان بخشی از حجم مرده مخزن را بازیابی کرد. در این تحقیق با کارگذاری سازه نیم استوانه در جلوی تخلیه کننده تحتانی، تأثیر این سازه در ایجاد جریان گردابی برای تخلیه رسوبات مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات حجم رسوب‌شویی در یک سطح آب حساسیت کمتری نسبت به طول شکاف دارد. در حالتی که نسبت قطر سازه به طول شکاف برابر ۲ بود، رسوب‌شویی بیشتری اتفاق افتاد. تغییرات حجم رسوب‌شویی نسبت به ارتفاع شکاف زیاد بوده است. در نسبت ارتفاع شکاف به قطر سازه نیم استوانه برابر ۰/۶، حجم رسوب‌شویی به میزان قابل توجهی افزایش یافت. همچنین با قطر سازه ۲/۵ برابر قطر تخلیه کننده، بیشترین حجم رسوب‌شویی حاصل شد و در این حالت حجم رسوب‌شویی نسبت به حالت بدون قرارگیری سازه ۳۰ برابر گردید.

روش پژوهش

برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی استفاده گردید. این مدل شامل یک مخزن مکعبی شکل با ابعاد سطح مقطع (۱×۱) m، ارتفاع (۱/۱) m، یک خروجی ۲ اینچی در کف، سه خروجی ۲ اینچی در جلو و سه خروجی ۲ اینچی در کناره می‌باشد.



شکل ۲. نمایی از مدل ساخته‌شده و شماتیک آن

بر روی این مدل، رسوب‌شویی در حالات زیر مورد آزمایش قرار گرفت:

الف) بازشدگی درجه وسط با ارتفاع متفاوت داخل مخزن ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

ب) بازشدگی درجه‌های:

۱- راست و چپ با ارتفاع داخل مخزن مختلف ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

۲- راست و وسط با ارتفاع داخل مخزن مختلف ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

رسوب شویی مستغرق که در آن یک قسمت اضافی به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر جهت مستغرق کردن خروجی به مدل اضافه و درجه وسط به‌طور کامل در ارتفاع‌های داخل مخزن مختلف (۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰) آزمایش شد. تمامی حالت‌های بالا برای سه نمونه خاک، ریزدانه (لای)، متوسط (ماسه‌بادی) و درشت‌دانه (ماسه نرم) که به ترتیب اندازه متوسط دانه‌های آن‌ها (D₅₀) برابر ۰/۰۰۷۶، ۰/۰۴۴۹، ۰/۵۲۳ می‌باشند انجام شد و در مجموع ۸۱ آزمایش صورت پذیرفت. این خاک‌ها از ۶ نقطه واقع در دایکی که حدود ۵ کیلومتر طول دارد (واقع در سیل بندی در منطقه عقیلی

گنوند) و آزمایش‌های آن از لحاظ دانه‌بندی و حدود اتربرگ انجام شده است، در نظر گرفته شد و از میان این ۶ نمونه سه نمونه خاک که بیشترین اختلاف را داشتند انتخاب گردید. لازم به ذکر است که آزمایش دانه‌بندی برای مانده بر روی الک ۴۰ به صورت مکانیکی (با الک) و رد شده از آن با آزمایش هیدرومتری بر اساس سرعت ته‌نشینی ذرات انجام شد. مشخصات این سه نمونه خاک در جدول ۴ نشان داده شده است. معیار D_{50} برای انتخاب، در نظر گرفته شد و بدین ترتیب نمونه‌های D3، D1-2 و D2-3 انتخاب شدند، یعنی: درشت‌دانه (ماسه نرم)، اندازه متوسط (ماسه بادی) و ریزدانه (لای).

جدول ۴. مشخصات خاکهای استفاده شده در آزمایش‌ها

نمونه	درصدهای تشکیل دهنده			عمق نمونه‌گیری (m)	D_{50} (mm)	* PI	درصد آهک	درصد گچ
	Clay	Silt	Fine Sand					
D1-1	۳۰/۸۶	۴۹/۱۲	۲۰/۰۲	۰-۲	۰/۰۱۵۹	۱۰	۳۰	۰/۱۱۷
D1-2	۲۲/۹۲	۳۷/۰۶	۴۰/۰۲	۲-۵	۰/۰۴۴۹	--	۲۹	۰/۱۶۰
D2-1	۳۰/۱۷	۵۰/۸۱	۱۹/۰۲	۰-۲	۰/۰۱۷۵	--	۲۶	۰/۱۳۴
D2-2	۳۹/۳۶	۳۵/۸۲	۲۴/۸۲	۲-۵	۰/۰۱۱۶	۱۳/۴	۳۳	۰/۱۶۳
D2-3	۳۸/۶۹	۵۹/۵۱	۱/۸	۵-۸	۰/۰۰۷۶	۹/۷۵	۳۲	۰/۰۱۷
D3	۲۹/۸۵	۲۶/۱۳	۴۴/۰۲	۰-۲	۰/۵۳۳	۷/۱	۳۲/۲۵	۰/۰۹۸

(*شاخص PI محدوده رطوبتی است که خاک به ازای آن، خاصیت پلاستیکی از خود نشان می‌دهد. $PI=LL-PL$ که در آن LL حد روانی و PL حد خمیری است.)

به‌طور کلی روند انجام آزمایش‌ها به این گونه بود که ابتدا جهت یافتن زمان تعادل، (زمانی که طی عملیات رسوب شویی رسوبات شسته می‌شوند و بعد از آن هیچ‌گونه رسوبی از مخزن خارج نمی‌شود)، آزمایشی به شرح زیر انجام شد: در حالت پر دریاچه به‌طور کامل باز شد و به‌صورت سعی و خطا در زمان‌های مختلف شفافیت آب خروجی از دریاچه‌ها بررسی گشت که با توجه به کدورت آب، آیا در آن رسوبات وجود دارد یا خیر که بعد از انجام چند آزمایش زمان ۱۰۰ ثانیه برای زمان تعادل جهت تمام آزمایش‌ها انتخاب شد.

در انجام آزمایش‌های مدل، گزینه‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفت و در هر کدام مقادیر چاله آب شستگی اندازه‌گیری گردید. تمامی مراحل آزمایش و اندازه‌گیری‌ها با دقت و به ترتیب انجام شد و در حین اندازه‌گیری تمام اطلاعات محیطی و مشاهدات مربوط به هر آزمایش ثبت گردید. جهت پردازش آسان و سریع نتایج، روند و مراحل اندازه‌گیری برای تمامی آزمایش‌ها یکسان و به‌صورت تکراری انجام شد، تا ضمن افزایش سرعت عمل در انجام اندازه‌گیری‌ها، خطا تا حد امکان کاهش یابد. در انجام آزمایش‌ها، ابعاد چاله شامل عرض، عمق و طول رسوبشویی اندازه‌گیری شد. در رسوب شویی تحت فشار علاوه بر دانستن حجم رسوبشویی، اندازه‌گیری طول حد رسوبشویی (L_f) نیز الزامی است. با اندازه‌گیری حد تأثیر رسوب شویی می‌توان محدوده شعاع تأثیر مخروط رسوب شویی را به دست آورد و از چگونگی گسترش طولی مخروط تشکیل شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی آگاهی یافت. بدین منظور در پایان هر آزمایش طول مخروط رسوب شویی اندازه‌گیری می‌شد. برداشت‌های رسوب شویی مستغرق برای حالات مختلف ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) و ارتفاع آب پایین‌دست (داخل حوضچه) در جدول ۵ و ۶ آورده شده است. لازم به ذکر است این جداول مختصات را برای لای، ماسه‌بادی و ماسه، اول بر اساس ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) و دوم بر اساس ارتفاع آب پایین‌دست (داخل حوضچه) دسته‌بندی گردید، مثلاً در حالتی که ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) ۵۰ سانتی‌متر باشد، مختصات آب شستگی برای سه ارتفاع آب حوضچه به ترتیب آورده شده است که می‌توان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد.

جدول ۵. کل آزمایش‌ها به تفکیک ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن)

ماسه			ماسه‌بادی			لای			به تفکیک ارتفاع آب داخل مخزن اصلی	
مختصات m			مختصات m			مختصات m			ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)
z	y	x	z	y	x	z	y	x		
-/۰.۴۱	-/۰.۶۹	-/۱.۰۶	-/۰.۴۵	-/۰.۸	-/۱.۳	-/۰.۴۵	-/۰.۷۲	-/۱.۲۰	۳۰	
-/۰.۲۹	-/۰.۶۰	-/۰.۹۸	-/۰.۳۲	-/۰.۷	-/۱.۲	-/۰.۳۲	-/۰.۶۳	-/۱.۱۱	۴۰	۵۰
-/۰.۱۹	-/۰.۲۱	-/۰.۴۵	-/۰.۲۷	-/۰.۳۱	-/۰.۷۰	-/۰.۲۲	-/۰.۲۲	-/۰.۵۱	۵۰	
-/۰.۴۵	-/۱.۰۳	-/۱.۲۳	-/۰.۵	-/۱.۲	-/۱.۵	-/۰.۵۱	-/۱.۰۸	-/۱.۳۹	۳۰	
-/۰.۳۲	-/۰.۷۳	-/۱.۱۴	-/۰.۳۶	-/۰.۸۵	-/۱.۴	-/۰.۳۶	-/۰.۷۶	-/۱.۲۹	۴۰	۱۰۰
-/۰.۳۶	-/۰.۳۴	-/۰.۶۵	-/۰.۴	-/۰.۴	-/۰.۸	-/۰.۴۰	-/۰.۳۶	-/۰.۷۴	۵۰	

استغرق در حوضچه وسط

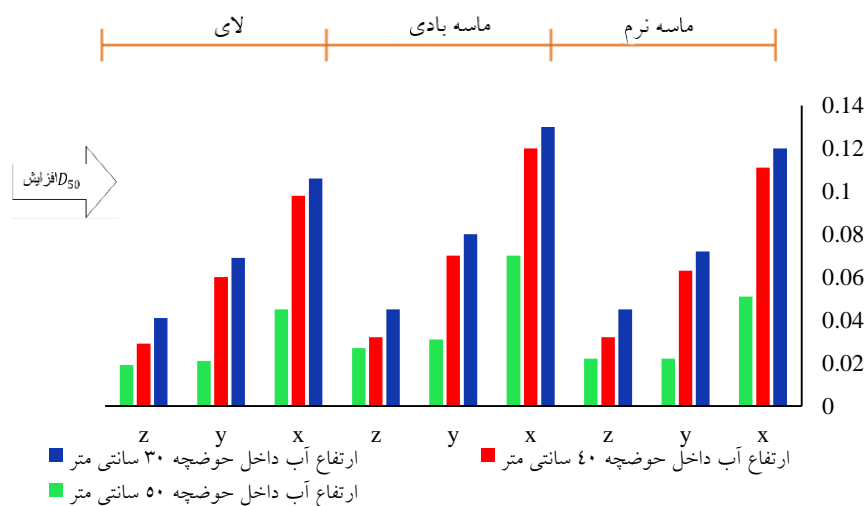
جدول ۶. آزمایش‌های انجام شده به تفکیک ارتفاع آب پایین دست (داخل حوضچه)

ماسه			ماسه‌بادی			لای			به تفکیک ارتفاع آب داخل مخزن اصلی	
مختصات m			مختصات m			مختصات m			ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)
z	y	x	z	y	x	z	y	x		
-/۰.۴۱	-/۰.۶۹	-/۱.۰۶	-/۰.۴۵	-/۰.۸	-/۱.۳	-/۰.۴۵	-/۰.۷۲	-/۱.۲۰	۳۰	۵۰
-/۰.۴۵	-/۱.۰۳	-/۱.۲۳	-/۰.۵	-/۱.۲	-/۱.۵	-/۰.۵۱	-/۱.۰۸	-/۱.۳۹	۳۰	۱۰۰
-/۰.۲۹	-/۰.۶۰	-/۰.۹۸	-/۰.۳۲	-/۰.۷	-/۱.۲	-/۰.۳۲	-/۰.۶۳	-/۱.۱۱	۴۰	۵۰
-/۰.۳۲	-/۰.۷۳	-/۱.۱۴	-/۰.۳۶	-/۰.۸۵	-/۱.۴	-/۰.۳۶	-/۰.۷۶	-/۱.۲۹	۴۰	۱۰۰
-/۰.۱۹	-/۰.۲۱	-/۰.۴۵	-/۰.۲۷	-/۰.۳۱	-/۰.۷۰	-/۰.۲۲	-/۰.۲۲	-/۰.۵۱	۵۰	۵۰
-/۰.۳۶	-/۰.۳۴	-/۰.۶۵	-/۰.۴	-/۰.۴	-/۰.۸	-/۰.۴۰	-/۰.۳۶	-/۰.۷۴	۵۰	۱۰۰

استغرق در حوضچه وسط

یافته‌ها

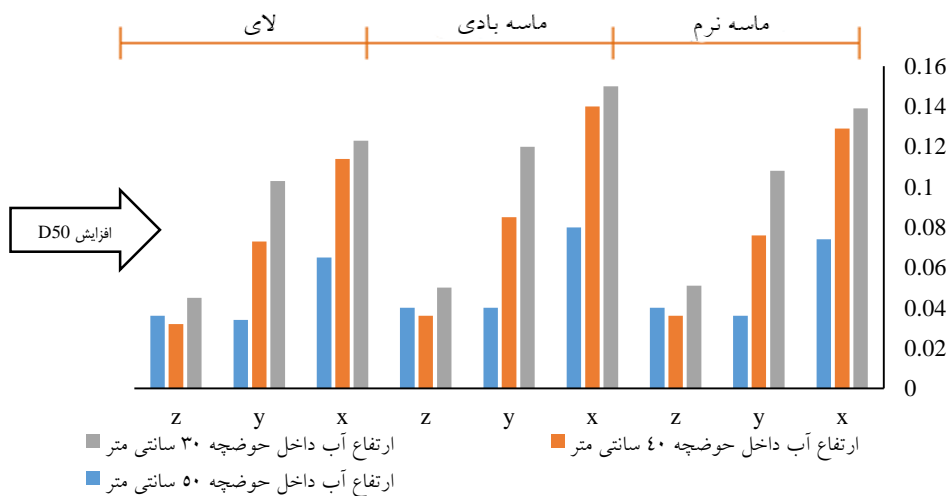
در ادامه نمودارهای مربوط به جداول ۵ و ۶ آورده شده‌اند.



شکل ۳. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر

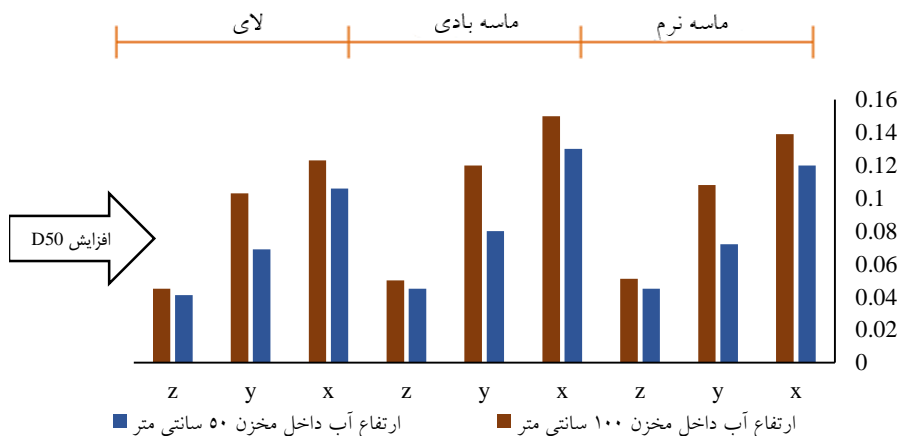
نمودار فوق نشان می‌دهد:

- با کاهش نسبت h_2/h_1 (ارتفاع آب داخل حوضچه و h_1 : ارتفاع آب داخل مخزن) آب شستگی افزایش می‌یابد که دلیل این امر افزایش سرعت جریان و بالتبع آن افزایش انرژی جنبشی است که باعث افزایش میزان آب شستگی می‌گردد.
- نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد.
- هنگامی که نسبت h_2/h_1 برابر با $0/6$ باشد، بیشترین مقدار رسوب شویی صورت می‌گیرد.
- هنگامی که نسبت h_2/h_1 برابر با ۱ باشد، کمترین مقدار رسوب شویی صورت می‌گیرد.
- در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



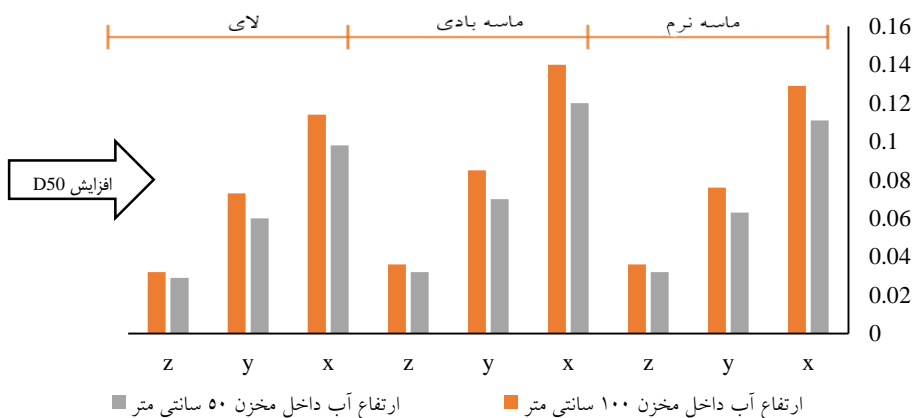
شکل ۴. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۱۰۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- میزان ارتفاع آب در قسمت مستغرق در مقدار رسوب شویی تأثیرگذار است.
- نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد.
- نوع دانه‌بندی و چسبندگی رسوب در رسوب شویی تأثیرگذار است.
- در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



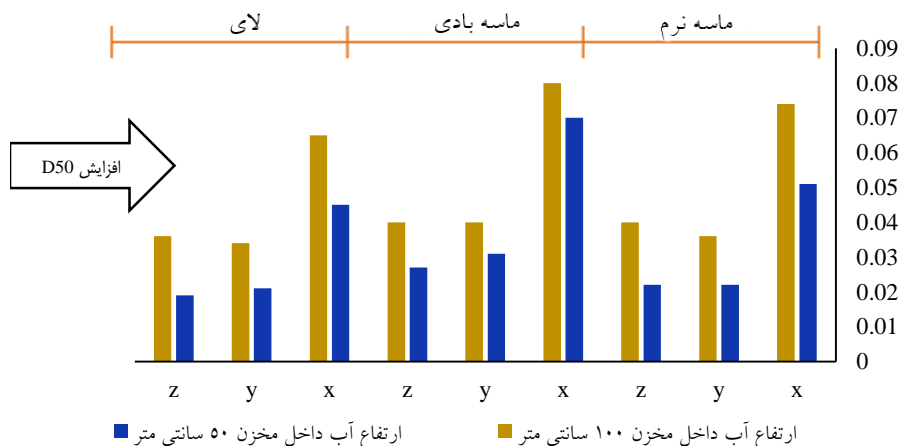
شکل ۵. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۳۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
- ارتفاع آب در پایین دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.
- در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



شکل ۶. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۴۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
 - ارتفاع آب در پایین‌دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.



شکل ۷. نمودار باز شدن درجه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و در نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
 - ارتفاع آب در پایین‌دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.

جدول ۷. درصدهای وزنی حجم آبشویی در شرایط مختلف به تفکیک ارتفاع آب مخزن

درصد از کل آب شستگی ماسه نرم	حجم رسوب شویی ماسه نرم	درصد از کل آب شستگی ماسه‌بادی	حجم رسوب شویی ماسه‌بادی	درصد از کل آب شستگی لای	حجم رسوب شویی لای	ارتفاع آب داخل مخزن (cm)		استخراج درجه وسط
						ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)	ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	
۲۱/۰۷ %	۴/۷۹۸	۲۰/۷۷ %	۷/۵۸۲	۲۱/۰۶ %	۶/۳۵۳	۳۰	۵۰	
۱۲/۱۰ %	۲/۷۵۶	۱۱/۹۳ %	۴/۳۵۵	۱۲/۱۰ %	۳/۶۴۹	۴۰	۵۰	
۱/۲۸ %	۰/۳۹۱	۲/۶۵ %	۰/۹۶۹	۱/۲۹ %	۰/۳۸۸	۵۰	۵۰	
۴۰/۵۱ %	۹/۲۲۷	۳۹/۹۵ %	۱۴/۵۸۰	۴۰/۵۱ %	۱۲/۲۱۸	۳۰	۱۰۰	
۱۹/۲۸ %	۴/۳۹۲	۱۹/۰۱ %	۶/۹۴۰	۱۹/۲۸ %	۵/۸۱۶	۴۰	۱۰۰	
۵/۷۶ %	۱/۳۱۲	۵/۶۸ %	۲/۰۷۴	۵/۷۶ %	۱/۷۳۸	۵۰	۱۰۰	

داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد زمانی که ارتفاع آب داخل مخزن ۱۰۰ سانتیمتر و ارتفاع آب داخل حوضچه ۳۰ سانتیمتر بوده است برای ماسه‌بادی، بهترین حالت رسوب شویی اتفاق افتاده است. این داده‌ها همچنین نشان می‌دهد زمانی که ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع آب داخل حوضچه ۵۰ سانتیمتر بوده است، برای ماسه نرم، ضعیف‌ترین رسوب شویی اتفاق افتاده است.

تجزیه و تحلیل نمودارهای ۳ الی ۷:

- ۱- در تمام نمودارها و برای تمام حالت‌ها، ابتدا ماسه‌بادی، بعد لای و سپس ماسه نرم بیشترین X ، Y و Z را در رسوب شویی داشته‌اند.
 - ۲- در تمام حالات و برای تمام مصالح به ترتیب X ، Y و Z بزرگ‌تر بوده‌اند، یعنی عرض چاله از طول و عمق بیشتر بوده است.
 - ۴- در تمام نمودارها بیشترین آب شستگی زمانی رخ داده که به ترتیب ارتفاع آب پایین‌دست (در حالت مستغرق) ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر بوده است.
 - ۵- در تمامی نمودارها آب شستگی با ارتفاع آب بالادست ۱۰۰ سانتی‌متر بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر بوده است.
- داده‌ها همچنین نشان می‌دهند که تأثیر ارتفاع آب بالادست از تأثیر ارتفاع آب پایین‌دست (در حالت مستغرق) بیشتر بوده، رسوب شویی با ارتفاع آب بالادست رابطه مستقیم دارد.

بحث

حجم و طول مخروط رسوب شویی به عوامل دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات بستگی دارد که تأثیر هر کدام از آن‌ها در ادامه بررسی شده است:

تأثیر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی:

الف- ارتباط بین حجم مخروط رسوب شویی و دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی: زمانی که دریچه تحتانی برای رسوب شویی باز می‌گردد، رسوبات نهشته شده تحت فشار آب همراه آب خروجی از تخلیه‌کننده خارج می‌شوند. در این حالت فرسایش پس‌رونده اتفاق می‌افتد که از نزدیکی دریچه شروع شده و به سمت بالادست مخزن حرکت می‌کند. ولی از آنجایی که ارتفاع آب مخزن ثابت است، میزان پیشروی تا حدی ادامه یافته و پس از آن متوقف می‌گردد.

در رسوب شویی تحت فشار زمانی که به ازای یک ارتفاع آب ثابت در مخزن، میزان ارتفاع آب داخل حوضچه (در حالت مستغرق) افزایش می‌یابد، میزان رسوب شویی (از لحاظ حجم رسوبات تخلیه‌شده و طول مؤثر رسوب شویی) کاهش می‌یابد. به طوری که وقتی ارتفاع آب داخل حوضچه از ۳۰ به ۵۰ سانتی‌متر افزایش یافت، به طور متوسط حجم رسوب شویی برای دو ارتفاع آب مخزن آزمایش شده برای رسوبات درشت‌دانه، برای رسوبات متوسط و برای رسوبات ریزدانه افزایش می‌یابد.

ب- تأثیر ارتفاع آب داخل مخزن بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی: چنان‌که نمودارها نشان می‌دهند، زمانی که ارتفاع آب مخزن از حالت نیمه‌پر به پر افزایش می‌یابد و در شرایط مستغرق بودن جریان، به ازای یک دبی ثابت، راندمان رسوب شویی تحت فشار در دفع رسوبات نهشته شده بیشتر می‌گردد. به طوری که وقتی ارتفاع آب مخزن از ۵۰ سانتی‌متر به ۱۰۰ سانتی‌متر افزایش می‌یابد، به طور متوسط میزان حجم رسوب شویی افزایش می‌یافت.

ج- تأثیر دانه‌بندی رسوبات بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی:

نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد زمانی که دانه‌بندی از حالت ماسه درشت به ماسه متوسط و سپس به ماسه ریزدانه تغییر پیدا کرد، مقدار حجم و طول رسوب شویی افزایش یافت. به طوری که مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تغییر دانه‌بندی از رسوبات ماسه ریز به ماسه متوسط موجب کاهش حجم و طول رسوب شویی گردید. همچنین تغییر دانه‌بندی از حالت ماسه ریز به ماسه درشت موجب کاهش حجم و طول رسوب شویی شد.

د-تاثیر ارتفاع آب پایین‌دست در جریان مستغرق: تحقیقات بر روی این مدل نشان داد که هرچه ارتفاع آب پایین‌دست در جریان مستغرق کمتر باشد میزان رسوب شویی بهتر صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در حالت کلی نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش D_{50} از میزان رسوب شویی کاسته می‌شود. مقدار نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد. ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است. هنگامی که مخزن پر و جریان در حالت مستغرق است مقدار رسوب شویی از لحاظ کمی نسبت به زمانی که رقوم آب در سطوح پایین‌تر است، بیشتر است، لذا در زمان سریز شدن مخزن جهت جلوگیری از هدر رفت آب و رسوب شویی بهتر، عملیات رسوب شویی انجام گردد. بدین ترتیب با افزایش ۵۰ درصدی ارتفاع آب داخل مخزن به ازای ارتفاع آب ثابت داخل حوضچه، میزان آب شستگی نیز افزایش تقریبی ۵۰ درصدی خواهد داشت. همچنین به ازای افزایش ۶۶ درصدی ارتفاع آب داخل حوضچه، میزان آب شستگی به میزان تقریبی ۱۹ درصد در حالت مخزن نیمه‌پر و ۳۵ درصد در حالت مخزن پر کاهش می‌یابد. این افزایش و کاهش برای هر سه نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها مشاهده گردید. اگر قرار باشد جریان به صورت مستغرق باشد بهترین رسوب شویی زمانی صورت می‌گیرد که ارتفاع آب پایین‌دست در پایین‌ترین سطح قرار گرفته باشد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از سازمان آب و برق خوزستان جهت همکاری و مساعدت در نگارش این مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- اصغری پری، سید امین. (۱۳۸۸). بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب‌گذاری مخزن در جریان غلیظ، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- امام قلی زاده، صمد. (۱۳۸۷). بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب شویی تحت فشار. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۴)، ۲۳۴-۲۱۹. <https://sid.ir/paper/8893/fa.219-234>
- امام قلی‌زاده، صمد. (۱۳۸۶). بررسی و ارزیابی انجام فلاشینگ تحت فشار در سدهای مخزنی، پایان نامه دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- بنی هاشمی، محمد علی، زهرایی، بنفشه، اشرف واقفی، سید سعید، و بهرنگی، فرهنگ. (۱۳۸۷). بررسی پارامترهای موثر بر عملیات فلاشینگ در مخزن سد و تاثیر آنها در موفقیت عملیات با استفاده از معیارهای مدل RESCON (مطالعه موردی سد سفید رود ایران). هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ۵۶۲۸۳. <https://civilica.com/doc/56283>
- حسن زاده، یوسف، و فیضی خانکندی، اتابک. (۱۳۸۷). پیش بینی روند رسوبگذاری در مخزن سد علویان با استفاده از مدل Gstars 3.0. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران. <https://civilica.com/doc/37642>
- حسن‌زاده، یوسف، کی‌نژاد، محمدعلی، روشنرگر، کیومرث، و اعلمی، محمدتقی. (۱۳۸۸). ارائه مدل یک بعدی شبیه‌سازی جریان و رسوب، مطالعه موردی: رودخانه الوندخوی. مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۱)، ۱۴-۴. https://www.wvjournals.ir/article_1772.html
- خدابخشی، بهناز، و شبیه‌خوانی، روح الامین. (۱۳۸۷). تخلیه رسوب از مخازن سدها و اثرات محیط زیستی آن مطالعه موردی سد دز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. <https://civilica.com/doc/50481/>
- رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۵). بازیابی حجم مفید مخازن سدها به روش فلاشینگ همراه با تحلیل نرم افزارهای معیارهای موثر حین بهره برداری. چهارمین همایش تبادل تجربه های پژوهشی، فنی و مهندسی. <https://civilica.com/doc/11724>
- رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۵). رسوب‌زدایی از مخازن سدها به روش فلاشینگ (لزوم و روش کنترل امکان پذیری آن در مراحل اولیه طراحی سدها. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/12864>

- سروریان، جواد، ولی سامانی، جمال محمد، و محمدنژاد، بایرامعلی. (۱۳۸۷). شبیه سازی و تحلیل پارامتریک عملیات فلاشینگ سد سفیدرود با استفاده از مدل CCHE2D. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. <https://civilica.com/doc/56193>
- عبداله پور، میلاد، و حسین زاده دلیر، علی. (۱۳۹۲). تأثیر قرارگیری سازه نیم استوانه بر راندمان رسوب شویی تحت فشار مخازن. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۲)، ۲۸۲-۲۶۹. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_145.html
- علیپورشهربابکی، حامد، و خانجانی، محمدجواد. (۱۳۹۰). مدل بندی ریاضی رسوب زدایی مخازن پشت سدها. اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه. <https://civilica.com/doc/142799>
- محمودیان، میثم، حاجی کندی، هومن، و رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۸). بررسی موفقیت عملیات فلاشینگ و تحلیل تاثیر پارامترهای موثر (مطالعه موردی سد سفیدرود). هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/86029>
- نکویان فر، مصطفی، معصومی، مصطفی، و چیت سازان، منوچهر. (۱۳۸۵). بررسی تاثیرات فلاشینگ بر افزایش عمر مفید مخزن سد (مطالعه موردی فلاشینگ سد شهید عباسپور)، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/12611>
- ولیزادگان، ابراهیم، شفاعی بجستان، محمود، و سامانی، حسین محمد ولی. (۱۳۹۰). کمیته سازی رسوب گذاری در مخازن سدها با بهره برداری بهینه از تخلیه کننده های تختانی. نشریه علوم آب و خاک، ۱۵(۵۵)، ۶۷-۵۷. <http://cache.oalib.com/cache?m=A192DD7BB53624E43170A065B5DFE31E.html>
- یزداندوست، فرهاد، و حیدری، مهدی. (۱۳۸۸). مدیریت رسوب شویی مخازن سد ها با استفاده از مدل سه بعدی SSIIM و GIS. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. <https://civilica.com/doc/62474>

References

- Abdolahpour, M., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2013). Effect of Semi-Cylinder Structure Position on Pressurized Flushing Efficiency of Reservoirs. *Knowledge of water and soil*, 23(2), 269-282. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_145.html. [In Persian]
- Alipourshahrbabki, H., & Khanjani, M. J. (2011). Mathematical modeling of sediment removal of reservoirs behind dams. The first national conference on civil engineering and development. <https://civilica.com/doc/142799>. [In Persian]
- Asghari Pari, S.A. (2009). Investigating the effect of barrier height on reservoir sedimentation in thick flow, PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering, Ahvaz, Iran. [In Persian]
- Bani Hashemi, M.A., Zahraei, B., Ashraf Waghefi, S.S., & Behrangi, F. (2008). Investigating the effective parameters on the flushing operation in the reservoir of the dam and their effect on the success of the operation using the criteria of the RESCON model (case study of Sefid Rood dam in Iran). 7th Iranian Hydraulic Conference. <https://civilica.com/doc/56283>. [In Persian]
- Bonham-Carter, G.F., & Sutherland, A.J. (1968). Mathematical Model and Fortran IV program for computer simulation of Deltaic sedimentation. Kansas Geological survey computer program, the University of Kansas, Lawrence. <https://www.kgs.ku.edu/Publications/Bulletins/CC/24/CompContr24.pdf>
- Brandt, A. (2010). Conceptualization of hydraulic and sedimentary processes in downstream reaches during flushing of reservoirs. xxxi iahr congress, 2577-2589. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:119156/FULLTEXT01.pdf>
- 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. <https://sid.ir/paper/8893/fa>. [In Persian]

- Fan J. & Morris G. L. (1992). Reservoir sedimentation, II: Reservoir Desiltation and Long Term Storage Capacity. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 118(3), 370-383. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:3\(370\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:3(370))
- Fruchart, F. (2012). Reservoir Sedimentation, Different Type of Flushing - Friendly Flushing, Example of Genissiat Dam Flushing-Author manuscript. published in ICOLD International Symposium on Dams for a changing world, Kyoto, Japan. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2021155811>
- Ghomeshi M. (1995). Reservoir Sedimentation Modelling. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.
- Hasanzadeh, Y., & Faizi Khankandi, A. (2008). Forecasting the process of sedimentation in Alavian dam reservoir using Gstars 3.0 model. Fourth National Congress of Civil Engineering, University of Tehran. <https://civilica.com/doc/37642>. [In Persian]
- Hasanzadeh, Y., Keynejad, M. A., Roushangar, K., & Tagi Alami, M. (2010). One-Dimensional Simulation of Flow and Sediment Transport, A Case Study in the Aland River. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 21(1), 4-14. https://www.wjjournal.ir/article_1772.html. [In Persian]
- Holly, F. M., & Rahuel J.L. (2010). New Numerical/Physical Framework for Mobile-Bed Modeling. *Journal of Hydraulic Research*, 28(4), 401-411. <https://doi.org/10.1080/00221689009499057>
- Khodabakhshi, B., & Shabikhani, R. (2008). Sediment discharge from reservoirs of dams and its environmental effects, a case study of Dez Dam. The third water resource management conference. <https://civilica.com/doc/50481>. [In Persian]
- Mahmoodian, M., Haji Kandi, H., & Rahmanian, M. (2009). Investigating the success of flushing operations and analyzing the impact of effective parameters (case study of Sefidroud Dam). 8th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/86029>. [In Persian]
- Nekoian Far, M., Masoomi, M., & Chit Sazan, M. (2006). Investigating the effects of flushing on increasing the useful life of the dam reservoir (a case study of Shahid Abbaspur dam flushing). the 7th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/12611>. [In Persian]
- Rahmanian, M. (1385). De-sediment removal from dam reservoirs by flushing method (necessity and feasibility control method in the early stages of dam design. 7th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/12864>. [In Persian]
- Rahmanian, M. (2006). Recovery of useful volume of reservoirs of dams by flushing method along with software analysis of effective criteria during operation. The fourth conference on the exchange of research. technical and engineering experiences. <https://civilica.com/doc/11724>. [In Persian]
- Ritchie, J.C. & Mc Henry J.R. (1975). Fallout Cs-137: A Tool in Conservation Research, *J. of soil water Conservation*, 30, 283-288. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19760099611>
- Samadi Broujeni, H., Haghiabi, A.H., & Ardalan, E. (2010). Determination of appropriate hydraulic conditions to decrease the negative impacts of Dez dam flushing operation on the downstream. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2 (1), 1-8. <https://doi.org/10.5897/IJWREE.9000012>
- Sarwarian, J., Vali Samani, J.M., & Mohammadnejad, B. (2008). Simulation and parametric analysis of Sefidroud dam flushing operation using CCHE2D model. 7th Iran Hydraulic Conference. <https://civilica.com/doc/56193>. [In Persian]
- Talebeydokhti, N., & Naghshineh, A. (2004). Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science & Technology*, 28(1). file:///C:/Users/ITech/Downloads/8542004b114.pdf
- Tetsuya, S. (1998). Integrated Management of Reservoir Sediment Routing by Flushing, Replenishing, and Bypassing Sediments in Japanese River Basins. Yichang, China, 110-122. <http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/content/files/sumi-paper/2010/cSS4F-5.pdf>

- Valizadegan, E., Shafai Bejestan, M., & Samani, H.M.V. (2011). Minimization of Reservoirs Sedimentation by Optimal Operation of Bottom Outlets. JWSS, 15 (55), 57-67. http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1484-1&slc_lang=fa&sid=1. [In Persian]
- Yazdandoost, Farhad., & Heydari, Mehdi. (2009). Sediment washing management of reservoirs of dams using 3D SSIIM and GIS model. 8th International Congress of Civil Engineering. <https://civilica.com/doc/62474>. [In Persian]