

## بررسی تأثیر نوع رسوبات و تغییر فرم خروجی تخلیه کننده تحتانی با به کارگیری سازه نیم استوانه بر حفره رسوب شویی به کمک مدل فیزیکی

روزبه امیرجانی<sup>۱</sup>، امیرعباس کمان بدست<sup>۲\*</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۱</sup>، امین بردبار<sup>۲</sup> و علیرضا مسجدی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۷)

### چکیده

در روش رسوب شویی تحت فشار، زمانی که آب از میان تخلیه کننده های تحتانی خارج می شود، پس از گذشت مدت زمانی از انجام رسوب شویی، حفره ای از آبستکی به شکل مخروط در جلوی دریچه تحتانی به وجود خواهد آمد که ابعاد این مخروط به پارامترهای مختلفی همچون دبی جریان خروجی، عمق آب داخل مخزن و نوع رسوبات تجمع یافته در درون مخزن بستگی دارد. در این پژوهش برای بررسی اثر رسوبات چسبنده و غیر چسبنده بر تشکیل مخروط رسوب شویی، از یک مدل فیزیکی با ابعاد مشخص استفاده شد و به منظور توسعه روش تخلیه رسوبات، یک سازه نیم استوانه در جلوی تخلیه کننده تحتانی مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش ها در دانشگاه شهید چمران اهواز در دو حالت استفاده از نیم استوانه و بدون نیم استوانه و همچنین رسوبات چسبنده و غیر چسبنده با دبی های مختلف و در مجموع به تعداد ۹۰ آزمایش انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دبی، به طور متوسط در دو حالت بدون نیم استوانه و با نیم استوانه افزایش حجم مخروط رسوب شویی را همراه دارد. با کاهش ارتفاع آب، جریان از حالت مستغرق خارج شده و به سمت فلاشینگ آزاد می رفت که در نتیجه افزایش حجم و طول مخروط را شاهد بودیم. استفاده از نیم استوانه به طور متوسط باعث افزایش رسوب شویی شده است که این افزایش رسوب شویی به علت به وجود آمدن یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه است.

واژه های کلیدی: رسوبات چسبنده و غیر چسبنده، رسوب شویی تحت فشار، سازه نیم استوانه، حفره رسوب شویی، جریان چرخشی

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

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

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ka57\_amir@yahoo.com

## مقدمه

رسوب‌گذاری در مخازن سدها به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کوتاه شدن عمر مفید سد مطرح است، بنابراین هرگونه بی‌توجهی به این موضوع به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا مانند ایران، تهدید جدی برای زندگی نسل‌های آینده به‌شمار می‌رود. رسوبات ته‌نشین شده در مخازن سدها علاوه بر اینکه سبب از بین بردن اهداف مورد انتظار از ساخت یک سد مانند کنترل سیلاب، تولید انرژی، تأمین آب و کشتیرانی می‌شود، موجب تحت تأثیر قرار دادن تمام سیستم رودخانه از جنبه‌های متعدد خواهد شد، به‌طور مثال می‌توان به مواردی مانند غرقاب شدن اراضی کشاورزی و مسکونی ناشی از بالا آمدن رقوم سطح آب در بالادست به‌خصوص در ناحیه دلتایی دریاچه سد، کف‌کنی و تخریب سواحل رودخانه در پایین‌دست و مشکلات ناشی از وارد شدن رسوبات به تجهیزات مربوط به توربین‌ها و سیستم‌های برق‌آبی، انسداد دریچه‌ها و آبگیرها اشاره کرد (۱۳). آمار ۴۰ ساله بهره‌برداری از سد دز (شکل ۱) نشان می‌دهد حجم قابل توجهی از رسوب به دلیل جوان بودن سازندهای زمین‌شناسی حوضه و بالا بودن پتانسیل رسوب‌خیزی به دریاچه سد وارد می‌شود به گونه‌ای که میزان رسوب مخزن به ۳۰ متر بالاتر از دریچه‌های آبیاری سد رسیده و تنها ۱۰ متر تا رقوم آبگیر نیروگاه فاصله دارد. مخزن سد یا سوکا بر روی رودخانه تمرگو در ژاپن ظرف مدت ۱۳ سال بیش از ۸۵ درصد ظرفیت اولیه خود را از دست می‌دهد. در کانزاس آمریکا مخزن یک سد با ظرفیت ۳/۷ هکتار متر که روی رودخانه سالمون احداث شده بود پس از مدت یک‌سال به‌طور کامل پر از رسوب شد. مقدار توسعه و طول رسوب‌گذاری در پشت مخزن سدی که روی رودخانه کلرادو احداث شده تا حدود فاصله ۸۸ کیلومتری از محل سد امتداد یافته و این امر طی مدت ۱۰ سال به وقوع پیوسته است. بنابراین مدیریت پایای مخزن، ایجاب می‌کند که حجم مفید ذخیره مخزن را که به‌وسیله انباشت رسوبات از دست می‌رود، از طریق روش‌های رسوب‌زدائی مانند جریان غلیظ، سیفون کردن و رسوب‌شویی حفظ و بازیافت شود. به این ترتیب

می‌توان با برطرف کردن رسوبات نهشته شده، مخزن را احیاء و ظرفیت ذخیره جدیدی ایجاد کرد (۱۳). فانگ و کائو (۱۳) براساس مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از رسوبات شنی با قطر متوسط ۰/۱۵ میلی‌متر گزارش کردند که شیب طولی و جانبی مخروط رسوب‌شویی در حالت تعادل تقریباً مساوی یکدیگر است. در این تحقیق شیب در جهت طولی برابر با ۳۱/۵ درجه به‌دست آمد که مقداری کمتر از زاویه ایستایی برای رسوب مذکور (۵)، است. موریس و فان (۱۹۹۷) بیان کردند که ابعاد مخروط رسوب‌شویی و مدت زمان لازم برای تشکیل و پایدار شدن ژئومتری آن، بستگی به عمق آب داخل مخزن، دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع رسوبات و نوع رسوبات تجمع یافته دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز ادامه یابد. عابدینی و طالب بیدختی (۷) در تحقیقی که در دانشگاه شیراز روی مدلی با اندازه متوسط ذرات پلیمر ۲/۴ میلی‌متر انجام دادند، بیان کردند که میزان شسته شدن رسوبات با افزایش دبی جریان ارتباط مستقیم دارد. حکمت و شفافی بجزستان (۵) تخلیه رسوبات را با استفاده از موج 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. امام‌قلی‌زاده و همکاران (۱) در بررسی که انجام دادند عواملی همچون عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده، ابعاد تخلیه‌کننده را در تخلیه رسوبات مؤثر دانستند و بیان کردند در کمترین ارتفاع آب، بیشترین ظرفیت تخلیه رسوبات اتفاق می‌افتد. (۱۱)، تأثیر قرارگیری جت آب را در مخزن رسوبات بر افزایش میزان رسوبات تخلیه شده مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که در حالت بدون اعمال جت آب، مدت زمان لازم برای رسوب‌شویی (شکل ۲) 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. عبدالله‌پور و حسین‌زاده دلیر (۸) با به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه جلوی تخلیه‌کننده تحتانی به‌منظور بررسی تأثیر این سازه در



شکل ۱. تخلیه کننده‌ها در زمان باز شدن جهت رسوب‌شویی تحت فشار (سد دز- خوزستان)



شکل ۲. نمایی از لحظه تشکیل حفره رسوب‌شویی در رسوب‌شویی تحت فشار (مدل فیزیکی)

نیم‌استوانه مقدار تخلیه رسوبات افزایش می‌یابد و مقدار رسوب‌شویی حدود ۱۵ برابر بیشتر از حالت بدون کارگذاری آن است. مدت زمان لازم برای تشکیل کامل حفره آبستگي و به پایدار رسیدن ژئومتری آن، به نوع رسوبات، تراز آب مخزن و ارتفاع رسوبات تجمع یافته بالای تخلیه کننده تحتانی بستگی دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز باشد، برای مثال آزمایشات انجام شده بر روی مدل مخزن جبیدم در کشور سوئیس نشان داد که حفره آبستگي پس از مدت زمان دو تا سه ساعت به حالت تعادل می‌رسد (۱۱). برای مثال کاربردی در استفاده از رسوب‌شویی تحت فشار، می‌توان به سد دز اشاره کرد.

ایجاد جریان‌های گردابی بر تخلیه رسوبات را مورد آزمایش قرار داد. نتایج نشان داد درحالتی که نسبت قطر سازه به طول شکاف برابر دو بود، رسوب‌شویی بیشتری اتفاق افتاد. همچنین تغییرات حجم رسوب‌شویی نسبت به ارتفاع شکاف زیاد بوده و همچنین با قطر سازه ۲/۵ برابر قطر تخلیه کننده، بیشترین حجم رسوب‌شویی حاصل شد. جلیلی و حسین‌زاده دلیر (۲۰۱۲) با به‌کارگیری سازه نیم‌استوانه و ایجاد یک شکاف روی سازه نیم‌استوانه تحقیقاتی انجام دادند. سازه جلوی تخلیه کننده تحتانی کارگذاری شده و از بالای دریچه شروع شده و تا کف مخزن ادامه داشت. آنها بیان کردند که با افزایش قطر سازه



شکل ۳. مدل آزمایشگاهی ساخته شده (دید کناری)



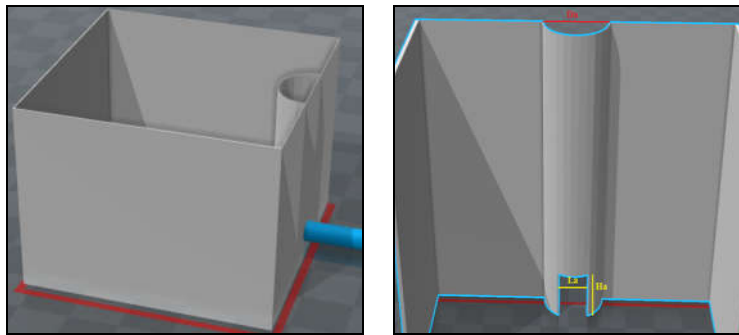
شکل ۴. حوضچه ته‌نشینی رسوبات (مدل آزمایشگاهی - دید جلو)

متر، ارتفاع  $1/2$  متر و عرض  $1/2$  متر بوده که به‌منظور کنترل ارتفاع آب داخل مخزن از یک سرریز استفاده شد و آب مازاد ورودی به مدل، با استفاده از یک لوله  $3$  اینچی به مخزن اصلی تأمین آب برگشت داده می‌شود. به‌منظور رسوب‌شویی، یک تخلیه کننده با مقطع دایره‌ای شکل (شیر  $2$  اینچ) در خط مرکزی مقطع خروجی با فاصله  $10$  سانتی‌متر بالاتر از کف قرار داده شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه کننده تحتانی وارد مخزن مکعب مستطیل شکل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات) با ابعادی به طول  $1/2$  متر، عرض  $1$  متر و ارتفاع  $0/8$  متر که در پایین‌دست مدل قرار داده شده بود، می‌شوند. به‌منظور اندازه‌گیری جریان خروجی از تخلیه

## مواد و روش‌ها

### شرح مدل فیزیکی

مدل ساخته شده در دانشگاه شهید چمران اهواز و به شکل مکعب مستطیل که در شکل (۳ و ۴) نشان داده شده، دارای سه قسمت اصلی است: ۱- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان) ۲- مخزن مدل ۳- قسمت اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات). قسمت ورودی مدل دارای ابعادی به طول  $1$  متر، عمق  $1/2$  متر و عرض  $1/2$  متر است. در این قسمت تلاطم جریان ورودی به مدل، گرفته شده و جریان به‌صورت آرام وارد قسمت مخزن می‌شود. مخزن دارای طول  $6$



شکل ۵. نمای شماتیک دریچه تخلیه و نیم استوانه

جدول ۱. متغیرهای آزمایش

کل آزمایش‌ها	رسوبات چسبنده	رسوبات غیرچسبنده	Q	نصب	H <sub>w</sub>
۹۰=۳۶+۵۴	۲	۳	۳	۲	۳

### تئوری و آنالیز ابعادی

برای حالت غیرچسبنده از سه سایز دانه‌بندی و برای حالت چسبنده از دو نوع رسوب چسبنده با درصد‌های متفاوتی از رس و سیلت برای تجزیه و تحلیل استفاده خواهد شد. حجم مخروط رسوب‌شویی (Vf) به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی (Q<sub>w</sub>)، ارتفاع آب بالای رسوبات تجمع یافته (H<sub>w</sub>-H<sub>s</sub>)، ارتفاع رسوبات تجمع یافته در پشت مخزن (H<sub>s</sub>)، اندازه رسوب (D<sub>s</sub>)، وزن مخصوص رسوبات نهشته شده (γ<sub>s</sub>)، وزن مخصوص آب (γ<sub>w</sub>)، ضریب زبری مانینگ (n) و شتاب ثقل (g) که به عبارت ریاضی می‌توان نوشت:

$$Vf=f(Q_w, H_w-H_s, H_s, \gamma_w, D_s, g, \gamma_s-\gamma_w, n) \quad (1)$$

تابع نهایی که با کمک تئوری باکینگهام به دست می‌آید به صورت رابطه (۲) است:

$$f(H_w/H_s, D_s, n, Q) = \dots \quad (2)$$

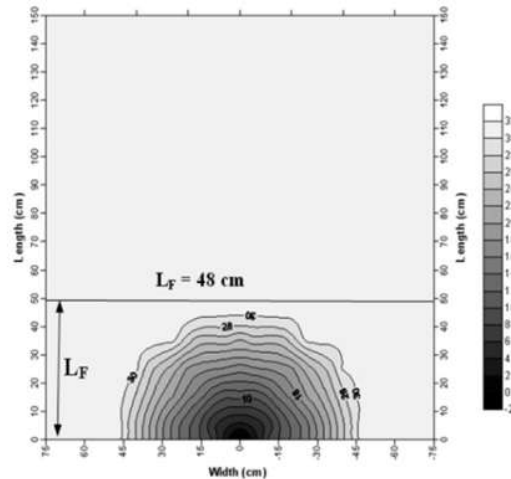
به‌طورکلی آنالیزهای ابعادی که بررسی شدند عبارتند از:

- ارتفاع آب H<sub>w</sub> (۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر)
- دبی (۳، ۶ و ۹ لیتر بر ثانیه)
- قطر ذرات در حالت غیرچسبنده (۲، ۶/۰ و ۲۵/۰ میلی‌متر)

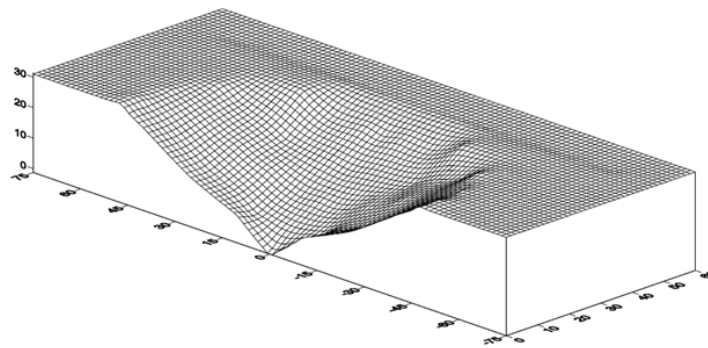
کننده تحتانی، از یک سریز ۲۵ درجه استفاده شد. آب خروجی از مدل پس از اندازه‌گیری به وسیله یک لوله ۴ اینچ به مخزن اصلی تأمین آب، برگشت داده می‌شود. به‌منظور تعیین حجم و طول مخروط رسوب‌شویی در بالادست خروجی مخزن، یک سازه نیم‌استوانه که در زیر آن یک شکاف خروجی تعبیه شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی مورد آزمایش قرار گرفت. نمای شماتیک از کارگذاری نیم‌استوانه جلوی دریچه تخلیه در شکل (۵) نشان داده شده است. این نیم‌استوانه باعث می‌شود که با کارگذاری آن در جلوی تخلیه کننده تحتانی یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم‌استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه به‌وجود آید که در تخلیه رسوبات مؤثر است.

آزمایش‌ها شامل

- ۱- انجام آزمایش‌ها با نیم‌استوانه و بدون نیم‌استوانه
  - ۲- بررسی آزمایش‌ها با ارتفاع آب مختلف
  - ۳- انجام آزمایش‌ها با دبی‌های مختلف
  - ۴- انجام آزمایش‌ها با ذرات با قطرهای مختلف
  - ۵- بررسی تأثیر چسبنده یا غیرچسبنده بودن رسوبات
- متغیرهای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی (Q<sub>w</sub>)، ارتفاع آب بالای رسوبات تجمع یافته (H<sub>w</sub>) است.



شکل ۶. توپوگرافی بستر مخروط رسوب‌شویی (رسوبات درشت دانه)



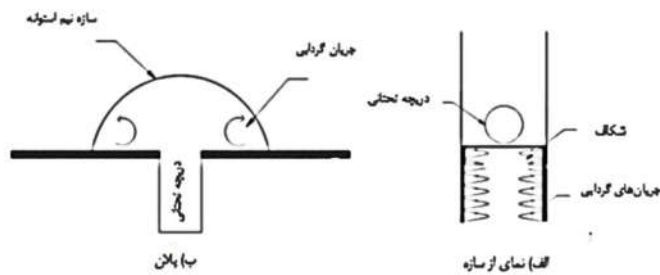
شکل ۷. نمای سه‌بعدی از مخروط رسوب‌شویی (رسوبات درشت دانه)

به تعادل برسد. پس از پایان آزمایش با استفاده از متر لیزری، برداشت مقاطع عرضی در مدل انجام می‌شود. زمانی که تخلیه کننده تحتانی به منظور رسوب‌شویی باز می‌شود، رسوبات مجاور دریچه تخلیه کننده رسوب، تحت فشار آب، از مخزن تخلیه شده و الگوی فرسایش پس‌رونده در مجاورت دریچه اتفاق خواهد افتاد به عبارت بهتر، فرسایش از نزدیکی دریچه شروع شده و با گذشت زمان به سمت بالادست مخزن حرکت می‌کند. آزمایش‌ها نشان داد با توجه به تحت فشار بودن نوع رسوب‌شویی (بالا تر بودن رقوم سطح آب مخزن نسبت به رقوم ارتفاعی بالای دریچه تخلیه رسوبات)، در جلوی دریچه یک مخروط آبشستگی تقریباً به شکل نیم‌دایره تشکیل می‌شود. در شکل (۶)، توپوگرافی و در شکل (۷) نمای سه‌بعدی از مخروط رسوب‌شویی پس از انجام

- رسوبات چسبنده دو نوع
- با نیم‌استوانه و بدون نیم‌استوانه

### انجام آزمایش‌ها

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 به صورت خیلی آرام وارد مدل می‌شود. پس از تنظیم ارتفاع آب مورد نظر در مدل، تخلیه کننده انتهایی باز می‌شود. 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



شکل ۸. پلان و نمایی از نیم استوانه و جریان گردابی (جلیلی و حسین زاده دلیر ۲۰۱۲)



شکل ۹. (رنگی در نسخه الکترونیکی) رسوبات ته نشین شده و ایجاد حفره رسوب شویی

وجود دارد که باعث انتقال رسوبات می شود. با کارگذاری این سازه نزدیک دریچه، زمانی که جریان های شعاعی با سرعت بالا به دریچه نزدیک می شوند، با گذر از شکاف سازه نیم استوانه به جریان گردابی تغییر شکل داده (شکل ۸-ب) و رسوبات ته نشین شده را از بستر جدا می سازند (جلیلی و حسین زاده دلیر ۲۰۱۲) (شکل ۹). زمان لازم برای به تعادل رسیدن مخروط رسوب شویی بستگی به عوامل مختلف مانند مقدار دبی جریان خروجی از دریچه، ارتفاع آب داخل مخزن و اندازه رسوب مورد استفاده دارد. برای مثال زمانی که آزمایشات با حداقل ارتفاع آب (۴۰ سانتی متر) و حداکثر دبی (۹ لیتر در ثانیه) انجام گرفت، مخروط

آزمایش با دبی ۳ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب ۸۰ سانتی متر نسبت به خط مرکزی دریچه با استفاده از رسوبات درشت دانه نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

همان طور که گفته شد، کارگذاری سازه های نیم استوانه جلوی تخلیه کننده تحتانی (شکل ۸-الف) باعث می شود که قبل از اینکه بخشی از حجم مرده مخزن که در مقابل دریچه قرار می گیرد پر شود و دریچه غیر قابل استفاده شود، رسوبات جلوی دریچه شسته شود. جریان های شعاعی با سرعت زیاد در بالادست دریچه

جدول ۲. نتایج حجم فرسایش به سانتی متر مکعب

حالت‌ها	دبی (L/s)	(Hw/Hs)	رسوبات غیرچسبنده (mm)			رسوبات چسبنده	
			۰/۲۵	۰/۶	۲	نوع ۱	نوع ۲
			۴۹۰	۳۵۳	۲۳۸	۶۶۸	۵۹۰
	۳		۶۰۶	۳۷۲	۲۶۸	۸۳۵	۷۳۴
			۶۳۲	۳۸۵	۲۹۱	۸۷۲	۷۶۷
			۶۷۱	۴۲۰	۳۲۸	۹۲۹	۸۱۶
	۶		۷۰۹	۵۰۰	۳۴۴	۹۸۴	۸۶۳
بدون استوانه			۷۵۲	۵۵۰	۴۳۰	۱۰۴۷	۹۱۷
			۷۸۱	۶۲۰	۵۲۰	۱۰۹۰	۹۵۴
	۹		۸۲۴	۶۶۰	۶۱۹	۱۱۵۳	۱۰۰۸
			۸۷۳	۷۱۰	۶۵۰	۱۲۲۵	۱۰۷۰
			۵۱۵	۳۰۵	۲۳۸	۷۰۴	۶۲۱
	۳		۶۱۵	۳۷۱	۳۱۰	۸۴۸	۷۴۶
			۷۲۶	۵۱۰	۴۵۲	۱۰۰۹	۸۸۵
			۷۵۰	۶۱۰	۵۲۶	۱۰۴۴	۹۱۵
	۶		۷۹۸	۷۱۲	۶۱۱	۱۱۱۵	۹۷۵
با استوانه			۹۱۳	۸۰۲	۶۸۵	۱۲۸۴	۱۱۲۰
			۹۷۶	۸۵۰	۷۱۰	۱۳۷۷	۱۲۰۰
	۹		۱۱۵۸	۹۲۱	۷۵۰	۱۶۴۸	۱۴۳۱
			۱۳۱۶	۱۰۱۳	۸۶۱	۱۸۸۵	۱۶۳۲

### تغییرات حجم و طول مخروط بدون نیم‌استوانه نسبت به تغییر

#### دبی و تغییر نوع و اندازه رسوبات

شکل‌های (۱۰) و (۱۱) تغییرات حجم و طول رسوب‌شویی بدون نیم‌استوانه را نشان می‌دهند. با توجه به این نمودارها در حالت بدون نیم‌استوانه، افزایش دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده رسوب، تأثیر مثبت در افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی دارد. به طوری که افزایش دبی جریان خروجی منجر به افزایش سرعت جریان در دهانه ورودی تخلیه‌کننده تحتانی شده و در نتیجه تنش برشی اعمال شده روی رسوبات افزایش می‌یابد که این امر، موجب افزایش کارایی رسوب‌شویی تحت فشار می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده در مجموع، افزایش دبی از ۳ به ۹ لیتر بر ثانیه، به طور متوسط موجب افزایش ۱/۵۱ برابری حجم مخروط رسوب‌شویی می‌شود. همچنین به طور متوسط باعث افزایش ۱/۱۶ برابری طول مخروط رسوب‌شویی برای رسوبات درشت

رسوب‌شویی پس از ۹-۱۱ دقیقه به تعادل می‌رسید. در رسوبات چسبنده دو نوع رسوب انتخاب شد. نوع یک با نسبت پوکی ۰/۸۶ و نوع دو با نسبت پوکی ۱/۶ است که نتایج حجم فرسایش به سانتی متر مکعب در جدول (۲) ارائه شده است.

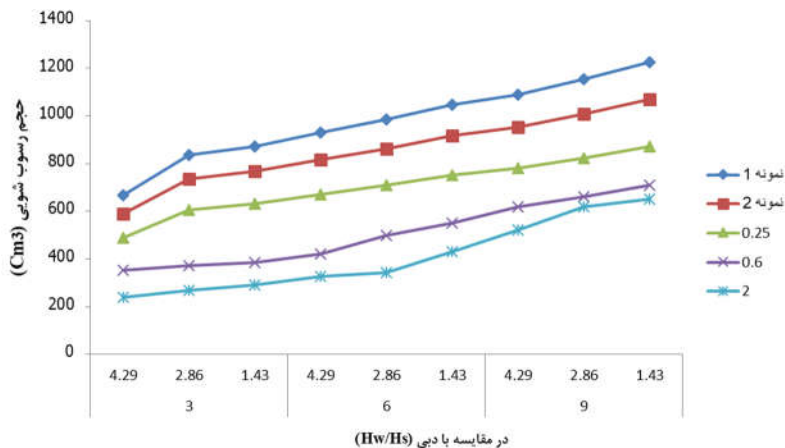
نتایج برای اندازه‌گیری حجم و طول حفره رسوب‌شویی به صورت زیر طبقه‌بندی شدند که در ادامه به شرح زیر است:

تغییرات حجم و طول مخروط بدون نیم‌استوانه نسبت به تغییر دبی و تغییر نوع و اندازه رسوبات

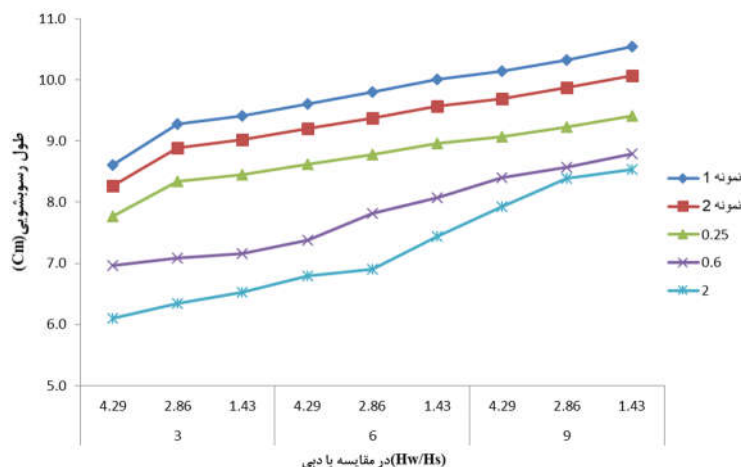
تغییرات حجم و طول مخروط با نیم‌استوانه نسبت به تغییر دبی و تغییر نوع و اندازه رسوبات

تأثیر استفاده از نیم‌استوانه بر حجم و طول مخروط رسوب‌شویی Hw/Hs برابر است با ارتفاع سطح آب به ارتفاع رسوبات.





شکل ۱۰. نمودار تغییرات حجم رسوب شویی بدون نیم استوانه



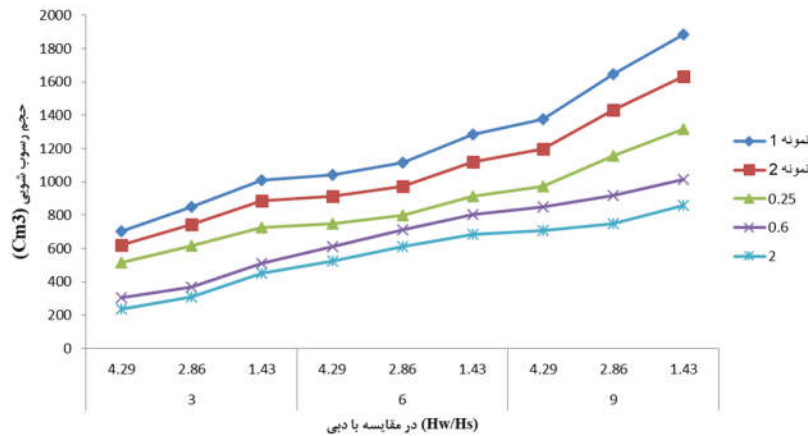
شکل ۱۱. نمودار تغییرات طول رسوب شویی بدون نیم استوانه

همکاران (۱) بیان کردند در کمترین ارتفاع آب، بیشترین ظرفیت تخلیه رسوبات اتفاق می افتد. با کاهش ارتفاع آب، جریان از حالت مستغرق خارج شده و به سمت فلاشینگ آزاد می رفت که در نتیجه افزایش حجم و طول مخروط را شاهد بودیم.

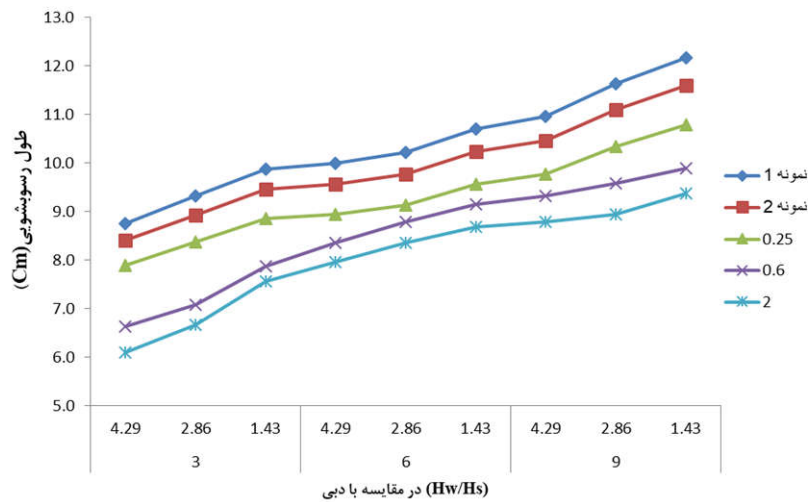
#### تغییرات حجم و طول مخروط با نیم استوانه نسبت به تغییر دبی و تغییر نوع و اندازه رسوبات

با توجه به شکل های (۱۲) و (۱۳) در حالت با استوانه، به طور مشابه افزایش دبی جریان خروجی از تخلیه کننده رسوب، تأثیر مثبت در افزایش حجم و طول مخروط رسوب شویی دارد.

دانه، می شود. که با نتایج طالب بیدختی و نقشینه (۲۰۰۴) بنابراین برای داشتن حداکثر راندمان در رسوب شویی تحت فشار بهتر است تا جایی که شرایط بهره برداری مخزن اجازه می دهد، در پیچه های تخلیه کننده با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره برداری قرار گیرند. بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن نشان می دهد که، کاهش ارتفاع آب مخزن موجب افزایش حجم و گسترش طولی مخروط رسوب شویی می شود. به طوری که کاهش ارتفاع آب مخزن از ۴/۲۹ به ۱/۴۳ به طور متوسط موجب افزایش ۱/۲۶ برابری حجم مخروط رسوبات درشت دانه، متوسط و ریز دانه می شود. همچنین به طور متوسط موجب افزایش ۱/۷ برابری طول می شود. امامقلی زاده و



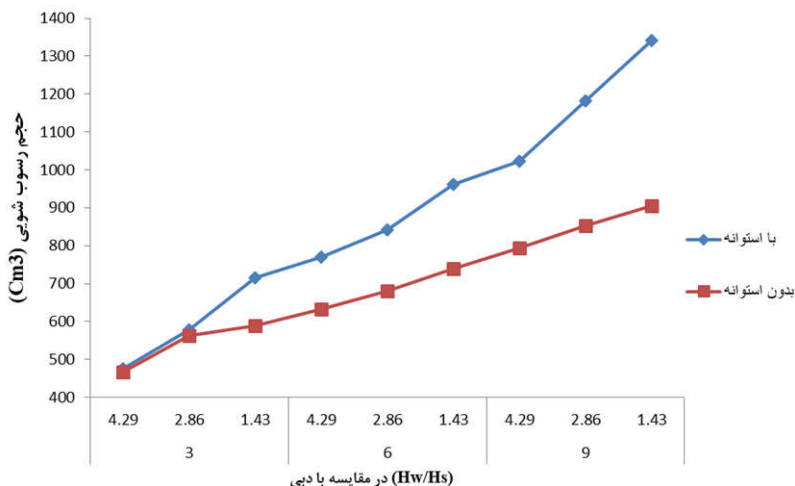
شکل ۱۲. نمودار تغییرات حجم رسوب شویی با نیم استوانه



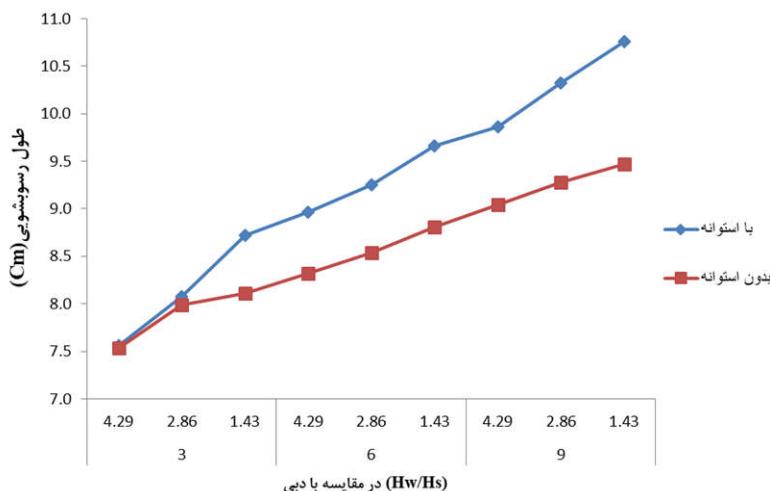
شکل ۱۳. نمودار تغییرات طول رسوب شویی با نیم استوانه

به طوری که کاهش ارتفاع آب مخزن از ۴/۲۹ به ۱/۴۳ به طور متوسط موجب افزایش ۱/۵ برابری حجم مخروط رسوبات درشت دانه، متوسط و ریزدانه می شود. همچنین به طور متوسط موجب افزایش ۱/۱۵ برابری طول می شود. با کاهش ارتفاع آب، جریان از حالت مستغرق خارج شده و به سمت فلاشینگ آزاد می رفت که در نتیجه افزایش حجم و طول مخروط را شاهد بودیم. همچنین نتایج نشان می دهد رسوبات چسبنده نسبت به رسوبات غیرچسبنده به طور متوسط ۱/۶۱ برابر حجم رسوب شویی بیشتر و ۱/۱۸ برابر طول رسوب شویی بیشتر دارد.

به طوری که افزایش دبی جریان خروجی، افزایش سرعت جریان و در نتیجه تنش برشی اعمال شده روی رسوبات افزایش می یابد که این امر موجب افزایش کارایی رسوب شویی تحت فشار می شود. بر اساس نتایج به دست آمده در مجموع، افزایش دبی از ۳ به ۹ لیتر بر ثانیه، به طور متوسط موجب افزایش ۲/۰۴ برابری حجم مخروط رسوب شویی می شود. همچنین به طور متوسط باعث افزایش ۱/۲۸ برابری طول مخروط رسوب شویی برای رسوبات درشت دانه، می شود. بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن نیز نشان می دهد که کاهش ارتفاع آب مخزن موجب افزایش حجم و گسترش طولی مخروط رسوب شویی می شود.



شکل ۱۴. نمودار تأثیر نیم استوانه بر حجم رسوبات شویی



شکل ۱۵. نمودار تأثیر نیم استوانه بر طول رسوبات شویی

شده را از بستر جدا می سازد (۱۴). این افزایش رسوبات شویی به علت به وجود آمدن یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه است. بر اساس تحقیقات آلتوس (۲۰۱۱) دو عدد گرداب چرخشی از زیر دریچه در دو طرف محور مرکزی ایجاد می شود که این گردابها برای بالا بردن رسوبات از کف مخزن کمک می کند.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمایشها نشان داد که رسوبات چسبنده در

### تأثیر استفاده از نیم استوانه بر حجم و طول مخروط

شکل های (۱۴) و (۱۵) تأثیر استفاده از نیم استوانه با حالت بدون نیم استوانه را بر حجم و طول رسوبات شویی نشان می دهند. با توجه به شکل های (۱۴) و (۱۵)، استفاده از نیم استوانه به طور متوسط باعث افزایش ۱/۲۷ برابری حجم رسوبات شویی و افزایش ۱/۰۸ برابری طول رسوبات شویی نسبت به حالت بدون استوانه شده است. با کارگذاری این سازه نزدیک دریچه، زمانی که جریان های شعاعی با سرعت بالا به دریچه نزدیک می شوند با گذر از شکاف سازه نیم استوانه به جریان گردابی تغییر شکل داده و رسوبات ته نشین

و ۱/۵ برابری حجم مخروط رسوبات درشت دانه، متوسط و ریزدانه می‌شود. همچنین به‌طور متوسط در حالت بدون نیم‌استوانه و با نیم‌استوانه به ترتیب موجب افزایش ۱/۱۵ و ۱/۰۸ برابری طول می‌شود. با کاهش ارتفاع آب، جریان از حالت مستغرق خارج شده و به سمت فلاشینگ آزاد می‌رفت که در نتیجه افزایش حجم و طول مخروط را شاهد بودیم.

تأثیر رسوب چسبنده و غیرچسبنده بر حجم و طول رسوب‌شویی: نتایج نشان می‌دهد رسوبات چسبنده نسبت به رسوبات غیرچسبنده به‌طور متوسط در حالت بدون نیم‌استوانه و با نیم‌استوانه به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۶۱ برابر حجم رسوب‌شویی بیشتر و ۱/۲ و ۱/۱۸ برابر طول رسوب‌شویی بیشتر دارد.

تأثیر استفاده از نیم‌استوانه بر حجم و طول مخروط: استفاده از نیم‌استوانه به‌طور متوسط باعث افزایش ۱/۲۷ برابری حجم رسوب‌شویی و افزایش ۱/۰۸ برابری طول رسوب‌شویی شده است. این افزایش رسوب‌شویی به علت به‌وجود آمدن یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم‌استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه است.

رسوب‌شویی فرسایش بیشتری نسبت به رسوبات غیرچسبنده دارند و همچنین با کارگذاری سازه نیم‌استوانه در جلوی تخلیه کننده تحتانی حجم و طول رسوب‌شویی افزایش می‌یابد. به عبارت بهتر یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم‌استوانه در دو طرف محور مرکزی دریچه به‌وجود می‌آید. در ادامه خلاصه نتایج آمده است:

تأثیر دبی بر حجم و طول رسوب‌شویی: در مجموع، افزایش دبی از ۳ به ۹ لیتر بر ثانیه، به‌طور متوسط در حالت بدون نیم‌استوانه و با نیم‌استوانه به ترتیب موجب افزایش ۱/۵۱ و ۲/۰۴ برابری حجم مخروط رسوب‌شویی می‌شود. همچنین به‌طور متوسط باعث افزایش ۱/۱۶ و ۱/۲۸ برابری طول مخروط رسوب‌شویی برای رسوبات درشت‌دانه، می‌شود. بنابراین برای داشتن حداکثر راندمان در رسوب‌شویی تحت فشار بهتر است تا جایی که شرایط بهره‌برداری مخزن اجازه می‌دهد، دریچه‌های تخلیه کننده با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

تأثیر ارتفاع آب بر حجم و طول رسوب‌شویی: کاهش ارتفاع آب مخزن از ۴/۲۹ به ۱/۴۳ به‌طور متوسط موجب افزایش ۱/۲۶

## منابع مورد استفاده

۱. امامقلی‌زاده، ص.، م.، بینا، م.، قمشی و ح. جهانی. ۱۳۸۶. بررسی و ارزیابی رسوب‌شویی تحت فشار در سدهای مخزنی با استفاده از مدل فیزیکی. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۳(۱): ۶۸-۹۷.
۲. تقوی، م. و ن. طالب بیدختی. ۱۳۷۴. بررسی و کاربرد روش‌های معمول و متداول رسوب‌گذاری مخازن سدهای درودزن، دز، لثیان، کرج و سفیدرود، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تبریز ۱۳۶: ۴۷-۵۹.
۳. حکمت، ک. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۸۵. شرایط تخلیه رسوب چسبنده از مجاری تحت فشار با استفاده از موج ناگهانی. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴. رهنمایی، د. ۱۳۷۴. رسوب‌گذاری در مخازن سدها، آب و توسعه، وزارت نیرو ۳(۱): ۵۸-۵۰.
۵. شعبانلو، س. ۱۳۷۹. بررسی نحوه رسوب‌گذاری در تعدادی از سدهای مخزنی ایران با حجم‌های متفاوت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. شفاعی بجستان، محمود. ۱۳۸۷. هیدرولیک انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
۷. عابدینی، م. طالب بیدختی، ن. : ۱۳۶۸، چگونگی توزیع و کنترل رسوب در مخازن سدها، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، تهران، مهتاب قدس، ص ۷۹۱-۸۲۰.
۸. عبدالله پور، م. و ع. حسین‌زاده دلیر. ۱۳۹۲. تأثیر قرارگیری سازه نیم‌استوانه بر راندمان رسوب‌شویی تحت فشار مخازن، نشریه

دانش آب و خاک ۲۳(۲): ۲۸۲-۲۶۹.

۹. مشکاتی، م. ا. ا. دهقانی، غ. ناصر، ص. امامقلی زاده و ف. ابراهیمی. ۱۳۸۸. تأثیر ابعاد دریچه تحتانی بر حجم و ابعاد مخروط. آبخستگی در رسوب‌شویی تحت فشار. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۰. نیکنام، ع. و ا. کمان‌بدست. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری در مخزن سد دز با استفاده از نرم‌افزار CCHE2D، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ساری.
11. Althous, J. 2011. Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet induced flow. PhD. Thesis. Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Swiss.
12. Elyasi, M. and A. A. Kamanbedas. 2014. The effect of angle of intakes on diversion sediments in river bend with cche2d model, advance in environmental biology, *AENSI Journal* 8(22): 180-186.
13. Fang, D. and S. Cao. 1996. An Experimental study on scour funnel in front of a sediment flushing outlet of a Reservoir. In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> Federal Interagency Sedimentation Conference. Las Vegas, USA. PP. I.78-I.84.
14. Jalili, H. and A. Hosseinzadeh Dalir. 2012. Extend the vortex flow around the reservoirs sluice gate, *In: Proceeding of the First International Conference on Dams and Hydropower*. Tehran, IRAN.
15. Kamanbedast, A. 2014. Handbook of Hydraulic Structures Engineering. Published in Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
16. Morris, L. G. and J. Fan. 1997. Reservoir Sedimentation Handbook . Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use, McGraw-Hill, New York.
17. Talebbeydokhti, N. and A. Naghshineh. 2004. Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction* 28: 119-136.

## Investigation of the Effect of the Kind of Sediments and the Change in the Bottom Outlet Form Using a Semi-Cylinder Structure on the Score Cone by a Physical Model

R. Amirjani<sup>1,2</sup>, A. Kamanbedast<sup>2\*</sup>, M. Heydarnejad<sup>2</sup>, A. Bordbar<sup>2</sup> and A. Masjedi<sup>2</sup>

(Received: September 9-2017 ; Accepted: December 17-2017)

### Abstract

In a pressure flushing method, when the water is discharged from the bottom outlet, after a period of flushing, a flushing cone will be formed at the front of the bottom outlet; the dimension of this cone is affected by several parameters such as outlet discharge flow, water depth of reservoir, and the kind of sediments accumulated in the reservoir. In this study, for the effect of cohesive & non-cohesive sediments, a physical model using specific dimensions was employed in order to develop the sediment evacuation method, and then a Semi-Cylinder structure in front of the lower drain was tested. The experiments were carried out using cohesive & non-cohesive sediments under two conditions: with the semi-cylinder and without it, at 90 experiments. The results indicated that the with discharge was increased, on i average, under both conditions and the volume of the score cone was increased. With decreasing the water depth, the flow mood was changed to free flushing, increasing the length and volume of the score cone. Semi-Cylinder form, on average, increased the volume of sedimentation and the length of sedimentation; this increase could be due to the formation of a pair of rotating Vortexes inside the Semi-Cylinder structure on both sides of the central axis of the valve.

**Keywords:** Cohesive and non-cohesive sediments, Pressure flushing, Semi-Cylinder structure, Flushing cone, Rotating Vortexes

1. Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

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

\*: Corresponding Author, Email: ka57\_amir@yahoo.com