

## مطالعه آزمایشگاهی اثر تغییر شکل دهانه ورودی لوله مکش بر کارایی میزان تخلیه رسوب از مخازن سد با روش هیدروساکشن

رضا مغانلو<sup>۱</sup>، محمد ذونعمت کرمانی<sup>۲\*</sup>، غلامعباس بارانی<sup>۳</sup>، امین مهدوی میمند<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی؛ دانشیار؛ استاد؛ و دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۵

### چکیده

به منظور بررسی آزمایشگاهی اثر تغییر شکل دهانه ورودی لوله مکش بر کارایی میزان تخلیه رسوب از مخازن سد، با روش هیدروساکشن (سیفون-لاپروبی)، آزمایش‌های مختلفی با لوله‌های مکش به قطر ۳ سانتی‌متر در دو طرح اجرا شد: (۱) دهانه‌های ساده با مقطع دایره‌ای به عنوان شاهد و (۲) دهانه‌های گوه‌ای شکل ایجاد شده در میان دهانه لوله با چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به امتداد لوله مکش و در سه وضعیت قرارگیری قائم در فاصله‌های ۲ سانتی‌متری از بالای سطح رسوب، مماس بر سطح رسوب و ۲ سانتی‌متر زیر سطح رسوب. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با فرض ثابت بودن زاویه انحراف دهانه لوله نسبت به امتداد لوله ( $\alpha$ )، با افزایش نسبت فاصله دهانه لوله مکش نسبت به سطح رسوبات به قطر لوله مکش ( $H_p/D_p$ )، نسبت حجم حفره شکل گرفته ( $A/D_p^3$ ) و غلظت رسوبات خروجی کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش همچنین نشان داد میزان رسوب تخلیه شده در  $\alpha$  برابر با ۱۵ و ۳۰ درجه، در قیاس با آزمایش شاهد، کاهش می‌یابد در حالی که در  $\alpha=60^\circ$  (در تمامی نسبت‌های  $H_p/D_p$ ) و  $\alpha=45^\circ$  (در تنها در  $H_p/D_p$  برابر با صفر) افزایش تخلیه رسوب مشهود است. از آزمایش‌ها معلوم شد که با افزایش زاویه انحراف دهانه مکش، حجم رسوب لاپروبی شده و میزان غلظت رسوبات خروجی افزایش می‌یابد. یافته‌های کلی تحقیق بیانگر آن است که در نظر داشتن زاویه  $\alpha=60^\circ$  و قرارگیری دهانه مکش در زیر سطح رسوبات، بیشترین کارایی را در فرآیند تخلیه رسوب در پی خواهد داشت.

### واژه‌های کلیدی

رسوب غیرچسبنده، رسوب‌گذاری، سیفون لاپروبی، مدل هیدرولیکی

### مقدمه

برداشتن گام‌های مؤثر در ارتباط با تخلیه رسوب از مخازن ضروری است (Talebbeydokhti & Naghshineh, 2004). برای رفع مشکل رسوب‌گذاری، از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد از جمله دنبال کردن عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک، عبوردهی جریان غلیظ، رسوب‌شویی

سالانه حدود یک درصد از کل ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن در جهان به علت رسوب‌گذاری کم می‌شود. رسوبات همچنین می‌توانند آبگیرها را در مخازن، مسدود کنند و به تونل‌ها و توربین‌ها آسیب برسانند؛ بنابراین اندیشیدن تمهیدات و

al., 2010) از لایروبی به‌روش هیدروساکشن با مخزن شناور و دهانه‌های مختلف لوله مکش (شامل نوع ساده و گوه‌ای با حفره‌های کناری و بدون حفره‌های کناری) استفاده کردند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد حداکثر فشار و سرعت مکش زمانی اتفاق می‌افتد که فاصله دهانه ورودی تا بستر به اندازه ۲۵ درصد قطر دهانه ورودی باشد، و دیگر این که راندمان رسوب در شرایطی در بالاترین حالت ممکن قرار می‌گیرد که قطر مخزن شناور ۳ تا ۴ برابر بیشتر از قطر لوله مکش باشد.

پیشگر و همکاران (Pishgar et al., 2015) اثر مشخصه‌های هندسی و مکانیکی لوله مکش را بر کارایی روش هیدروساکشن در تخلیه رسوب در حالتی ارزیابی کردند که روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و پایین دست انحنای لوله مکش امتداد یافته بودند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان داد که کاهش فاصله بین روزنه‌ها از ۴ برابر قطر روزنه به ۲ برابر قطر روزنه موجب افزایش راندمان سامانه می‌شود.

شرستا (Shrestha, 2012) از سیستم هیدروساکشن با دو لایه اصلاح‌شده (HSRS)<sup>۱</sup> برای حذف رسوب حوضچه ته‌نشینی در یکی از نیروگاه‌های برق‌آبی نپال استفاده کرد. مزایای استفاده از این سیستم، کاهش هزینه و صرف کردن انرژی عملیاتی کمتر بود. نتایج تحقیق نشان داد تجهیز کردن سیستم هیدروساکشن به جت هیدرولیکی موجب افزایش کارایی سامانه لایروبی می‌شود. پیشگر و همکاران (Pishgar et al., 2016) با استفاده از لوله مکش به قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر، تأثیر آرایش روزنه‌های تحتانی با قطر ۱۶ و ۳۰ میلی‌متر را در سه فاصله متفاوت بین روزنه‌ها بر

هیدرولیکی، استفاده از سیستم کنارگذر برای جریان‌های غلیظ و دفع رسوبات مخزن مانند لایروبی و هیدروساکشن<sup>۱</sup> (سیفون- لایروبی) با ادوات مکانیکی. روشن است که به‌کار بردن هر یک از این روش‌ها مستلزم شناخت کامل توانایی و محدودیت‌های آنهاست (Hotchkiss & Huang, 1995).

هیدروساکشن یکی از روش‌های جدید و مؤثر برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در مخازن سد است که با داشتن اثر موضعی، قابلیت خارج کردن نهشته‌ها را در نواحی مد نظر مانند اطراف ورودی آبگیر نیروگاه داراست. (Cheraghali et al., 2015). اساس کار در روش هیدروساکشن، ایجاد نیروی مکش و انتقال رسوبات با توجه به اختلاف تراز آب داخل مخزن و دهانه خروجی لوله در پایین دست است. برخی از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های لایروبی را می‌توان در بی‌نیازی به انرژی ثانویه، سازگاری با محیط‌زیست به دلیل قابل کنترل بودن میزان رسوبات خروجی، ضروری نبودن تخصیص مکان دپوی رسوبات، و اقتصادی بودن آن برشمرد.

از قدیمی‌ترین موارد عملی استفاده از سیستم هیدروساکشن، لایروبی مخزن سد دجی- دیووا در الجزایر طی سال‌های ۱۸۹۲ تا ۱۸۹۴ است. در آن زمان، یک جسم شناور به یک خط لوله غوطه‌ور با قطر ۶۱ سانتی‌متر و طول ۱/۶ کیلومتر متصل شد. با این ترفند، مخزن سد در ده سال لایروبی شد؛ تنها طی دو سال حدود ۱۴۰۰۰۰۰ مترمکعب گل‌ولای و خاک رس از مخزن سد خارج شد (Fan, 1986).

در خصوص تحقیقات همسو با تحقیق حاضر، موارد زیر قابل بیان است. چن و همکاران (Chen et al., 2016) اثر آرایش روزنه‌های تحتانی با قطر ۱۶ و ۳۰ میلی‌متر را در سه فاصله متفاوت بین روزنه‌ها بر

متعادل توسعه داده شد. پروفیل حفرة آبشستگی در حالت تعادل، برای تمام موقعیت لوله یافت شده مشابه زمانی است که شعاع حفرة آبشستگی در سطح لوله و عمق حفرة آبشستگی نسبت به مقیاس در جهت شعاعی و محوری به ترتیب اندازه گیری شود.

ین و همکاران (Yan *et al.*, 2012) پایداری خط لوله مکش را مطالعه کرد و در آن بر اساس مدل سیفون عبوری از بالای سد از طریق آزمایش های سیفون آب تمیز و گل آلود ویژگی هیدرولیکی، خصوصیات رسوب زدایی لوله سیفون و عوامل تأثیرگذار بررسی شد. با تجزیه و تحلیل داده های تجربی و نتایج محاسبات، روش محاسبه مقاومت لوله سیفون ارائه شد. نتایج بررسی ها نشان می دهد که مقاومت لوله در بعضی از هدهای آب با افزایش قطر لوله افزایش و با افزایش ارتفاع برآمدگی یا شدت تخلیه رسوب کاهش می یابد.

جولاندا و همکاران (Jolanda *et al.*, 2015) تأثیر پارامترهای هندسی و میزان تخلیه جت روی پخش رسوبات را بررسی کردند و یک جت هیدرولیکی را با آرایش مربعی شامل چهار جت مرتب شده در یک سطح افقی درون یک مخزن آزمایشگاهی به طول ۴ متر، عرض ۲ متر و ارتفاع ۱/۵ متر به کار گرفتند و نتایج را با حالت بدون جت مقایسه کردند. این محققان به این نتیجه رسیدند در دبی های بالا در گزینه همراه با جت، مقدار رسوبات تخلیه شده دو برابر بیشتر بود تا در گزینه بدون جت و آرایش جتها برای تعلیق رسوبات مناسب بوده است. در نتیجه، گزینه آزمایش با جت به دو دلیل باصرفه تر نشان داده شد: کاهش هزینه های سالانه استخراج حجم رسوب و حذف مکانیکی به علت پخش رسوبات با جت.

عملکرد روش لوله دفن شونده در لایروبی مخازن بررسی کردند و نشان دادند آرایش روزنه ها تأثیری چشمگیر بر عملکرد روش دارد و در هر دو قطر روزنه تحتانی، هنگامی که روزنه ها تنها روی قسمت خم لوله مکش قرار گرفته اند، عملکرد روش دارای بیشترین مقدار است. همچنین، فاصله بین روزنه ها بر کارایی روش تأثیرگذار است و سرانجام طرحی از روزنه ها که دارای قطر روزنه تحتانی ۳۰ میلی متر و فاصله بین روزنه ها برابر ۹۰ میلی متر است با متوسط غلظت خروجی ۳/۴۱ درصد حجمی، دارای بهترین عملکرد است.

هوچکس و هوانگ (Hotchkiss & Huang, 1995) سیستم لایروبی هیدروساکشن با انرژی حاصل از تفاوت بین سطوح آب بالادست و پایین دست را بررسی کردند و اصول هیدرولیکی و روش های طراحی این روش را در یک آزمایش میدانی در دریاچه آتکینسون در رودخانه الهورن در نبراسکا به کار گرفتند و برای یک بازه یک ساله نشان دادند چندین شکل ورودی مختلف می تواند رسوبات را با سرعتی لایروبی کنند که به مخزن وارد می شوند.

اولا و همکاران (Ullah *et al.*, 2005) حذف رسوبات غیر چسبنده با جریان سیفون- لایروبی را بررسی و در آزمایشگاه آبشستگی را با لوله سیفون عمودی با سه اندازه مختلف از ۹/۶۵ تا ۲۰/۴ میلی متر در یک بستر شن و ماسه غیر چسبنده مطالعه کردند. موقعیت لوله ورودی جریان سیفون از ۱۰۱/۶ میلی متر پایین تر از بستر اصلی تا ۶/۴ میلی متر بالاتر از آن محدود شده بود. تجزیه و تحلیل ابعادی نشان داد که حفرة آبشستگی تولید شده با جریان سیفون- لایروبی بستگی به عدد فرود ذرات دارد. با استفاده از تئوری و داده های تجربی، معادلات پیش بینی شعاع حفرة آبشستگی

هیدروساکشن و امکان‌سنجی افزایش راندمان سامانه با ایجاد اصلاحات در طراحی دهانه مکش لوله سیفون ضروری است.

به‌منظور ارائه طرحی برای افزایش عملکرد سیستم هیدروساکشن، در این تحقیق برای لوله هیدروساکشن هندسه گوه‌ای شکل با زاویه‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به امتداد لوله در نظر گرفته شد و عملکرد آن با عملکرد لوله ساده مقایسه گردید. یادآوری می‌شود مقطع گوه‌ای تا کنون در سیستم هیدروساکشن بررسی نشده است و نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود. افزون بر این، برخی پارامترهای مؤثر بر عملکرد این سیستم مانند فاصله دهانه ورودی مکش از سطح رسوبات با مدل فیزیکی ارزیابی شد که در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان طراحی و ساخته شده است.

### مواد و روش‌ها آنالیز ابعادی

برای تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر کارایی روش هیدروساکشن، از روش آنالیز ابعادی استفاده شد. پارامترهای تأثیرگذار بر هر رفتار پدیده، که با خصوصیت  $A$  نشان داده می‌شوند، به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$A = f(\rho, \mu, g, Q, V, \rho_s, D_p, D_{50}, L_p, H, H_p, H_w, \alpha, t, \beta, \lambda, Q_s, L, R, \Lambda) \quad (1)$$

آب روی سطح رسوبات؛  $H_p$  = فاصله دهانه لوله مکش نسبت به سطح رسوبات؛  $H$  = هد بین سطح آب و نقطه خروجی روش هیدروساکشن؛  $\alpha$  = زاویه دهانه مکش نسبت به امتداد لوله؛  $\beta$  = شکل دهانه ورودی لوله مکش؛  $\lambda$  = ضریب شکل ذرات رسوب؛

مقصود لئونزاد و همکاران (Maghsoudlou- Nezhad *et al.*, 2015) تأثیر تغییرات سرعت بر راندمان تخلیه رسوب در روش مدل لوله دفن شده مکش رسوبات را با استفاده از مدل آزمایشگاهی در اندازه رسوبات مختلف و در دو قطر لوله بررسی کردند و نشان دادند که در یک رسوب با اندازه مشخص، با افزایش سرعت در لوله راندمان تخلیه رسوب خروجی افزایش می‌یابد. همچنین در سرعت ثابت با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات رسوبی، راندمان تخلیه رسوب خروجی کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش در دو لوله ۶/۱ و ۴/۷ سانتی‌متر با سرعت و اندازه رسوبات ثابت نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله، راندمان تخلیه رسوب افزایش می‌یابد.

فروتان‌اقلیدی و همکاران (Forutan-Eghlidi *et al.*, 2019) تأثیر فاصله لوله هیدروساکشن از سطح رسوبات را بررسی کردند و نشان دادند با افزایش عمق دهانه لوله مکش از سطح رسوبات میزان تخلیه رسوب افزایش پیدا می‌کند. این افزایش تا هنگامی ادامه دارد که نسبت فاصله دهانه مکش از سطح رسوبات به قطر لوله مکش برابر با ۱/۳۳- باشد و پس آن، به‌دلیل انباشته شدن رسوبات در دهانه ورودی، لوله مسدود می‌شود.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد کنکاش بیشتر در ارتباط با شیوه‌های افزایش کارایی روش

که در آن،

$\rho$  = چگالی آب؛  $\mu$  = لزوجت دینامیکی؛  $g$  = شتاب گرانش؛  $D_p$  = قطر لوله مکش؛  $D_{50}$  = قطر رسوبات تجمع یافته؛  $V$  = سرعت جریان در لوله مکش؛  $L_p$  = طول لوله مکش؛  $\rho_s$  = چگالی رسوبات؛  $H_w$  = ارتفاع

تحلیل ابعادی به روش پای-باکینگهام<sup>۱</sup>، نسبت‌های بی‌بعد، رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد را می‌توان به صورت رابطه ۲ نوشت.

$$f\left(\frac{Q}{VD_p^2}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\rho V D_p}{\mu}, \frac{D_{50}}{D_p}, \frac{L_p}{D_p}, \frac{H}{D_p}, \frac{Q}{VD_p^2}, \frac{H_p}{D_p}, \frac{H_w}{D_p}, \alpha, \frac{V^2}{D_p g}, \frac{Vt}{D_p}, \beta, \lambda, \frac{Q_s}{VD_p^2}, \frac{\Lambda}{D_p^3}\right) = 0 \quad (2)$$

در زیر آب کشش سطحی (عدد وبر) تأثیری بر عملکرد آن ندارد. مقادیر ثابت هفت پارامتر بدون بعد در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. در بین پارامترهای بی‌بعد، پارامتر  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  در مقادیر مختلف  $\frac{H_p}{D_p}$  بررسی می‌شوند.

در این پژوهش، نسبت حجم رسوب خروجی به مجموع حجم جریان و رسوب خروجی در کل مدت زمان آزمایش، که با  $c$  نشان داده شده است، به عنوان غلظت رسوبات خروجی لوله مکش معرفی شده و یکی از پارامترهای مهم مورد بررسی در این تحقیق است.

در این تحقیق، سرعت متوسط جریان داخل لوله مکش یک متر بر ثانیه است. پارامترهای چگالی آب، چگالی رسوبات، قطر ذرات رسوبی تجمع یافته، قطر لوله مکش، طول لوله مکش، هد بین سطح آب و نقطه خروجی روش هیدروساکشن و ارتفاع آب روی سطح رسوبات برای تمامی آزمایش‌ها ثابت است. پارامتر  $\frac{\rho V D_p}{\mu}$  بیانگر عدد رینولدز است که برای تمام آزمایش‌ها در محدوده جریان آشفته قرار دارد. پارامتر  $\frac{V^2}{D_p g}$  معرف عدد فرود است که برای جریان در تمام آزمایش‌ها در محدوده فوق بحرانی قرار دارد. همچنین سیستم هیدروساکشن به دلیل مدفون بودن

جدول ۱- مقادیر پارامترهای بی‌بعد ثابت در این پژوهش

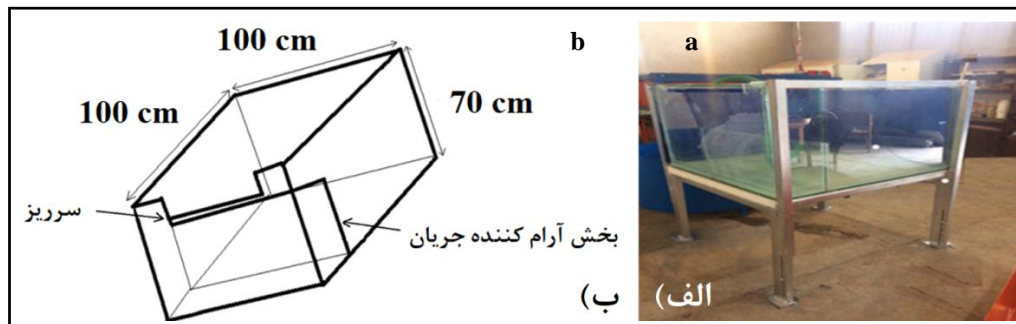
Table 1- The values of constant dimensionless parameters in this study

$\pi_{11} = \frac{Vt}{D_p}$	$\pi_{10} = \frac{V^2}{D_p g}$	$\pi_8 = \frac{H_w}{D_p}$	$\pi_6 = \frac{H}{D_p}$	$\pi_4 = \frac{D_{50}}{D_p}$	$\pi_3 = \frac{\rho V D_p}{\mu}$	$\pi_2 = \frac{\rho_s}{\rho}$	نسبت بدون بعد Dimensionless parameter
300	3.39	16.66	23.33	0.017	30000	2.65	محدوده Range

آزمایشگاهی از جنس شیشه نشکن و کف آن از فلز و اسکلت آن نیز فلزی است. طول، عرض و ارتفاع مخزن به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۷۰ سانتی متر است. در قسمت ورودی مدل، ناحیه آرام کننده جریان به منظور حذف تلاطم و امواج ورودی به مخزن و یک سرریز لبه تیز مستطیلی با هدف تنظیم سطح آب تعبیه شد.

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. برپایی آزمایش‌ها شامل سیستم تأمین آب، مخزن آزمایشگاهی، لوله مکش و حوضچه رسوب گیر است. دیواره‌های مخزن

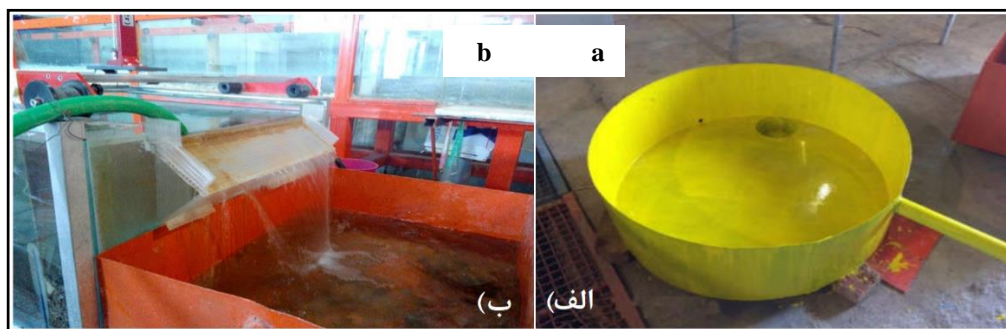


شکل ۱- الف) نمایی از مخزن ساخته شده؛ ب) شکل شماتیک مدل مخزن آزمایشگاهی

Fig. 1- a) A photo of the constructed physical model and b) geometric sketch of the physical model

رسوب‌گیر تحت تأثیر نیروی ثقل ته‌نشین می‌شود یعنی به مخزن آب وارد نمی‌شود. پس از ته‌نشینی مواد رسوبی در حوضچه، جریان آب به منبع ذخیره آب مدل منتقل می‌شود. شکل ۲ تصویر حوضچه رسوب‌گیر و ته‌نشین شدن مواد رسوبی را در حوضچه، بعد از شروع به کار سیستم هیدروساکشن، نشان می‌دهد. آب مازاد سرریز شده از مخزن اصلی به داخل مخزنی به طول ۹۵ سانتی‌متر، عرض ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر هدایت می‌شود. سپس این آب داخل منبع تأمین‌کننده آب می‌ریزد (شکل ۲).

سیستم تأمین آب شامل یک مخزن ذخیره اصلی آب با حجم ذخیره ۱/۱۰ مترمکعب و یک پمپ با تأمین بیشینه دبی ۱/۸۵ لیتر بر ثانیه است. جریان از مخزن ذخیره با پمپ به قسمت آرام‌کننده مدل می‌ریزد و پس از حذف تلاطم امواج به قسمت اصلی مخزن محل اجرای آزمایش‌ها وارد می‌شود. محفظه اندازه‌گیری جریان برای جمع‌آوری رسوبات خروجی از لوله مکش مناسب نیست، از این‌رو از محفظه‌ای دیگر (حوضچه رسوب‌گیر) برای جمع‌آوری رسوبات خروجی در خلال آزمایش‌ها استفاده شد. مواد رسوبی همراه جریان در حوضچه

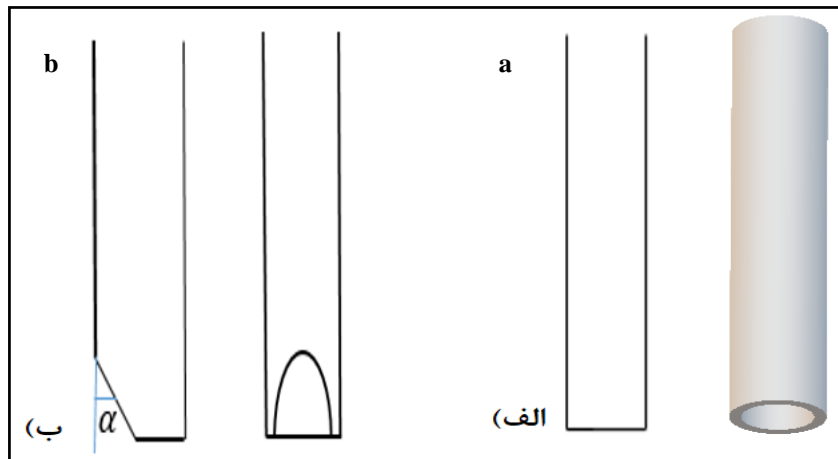


شکل ۲- الف) حوضچه رسوب‌گیر، ب) مخزن جمع‌آوری آب مازاد مخزن اصلی

Fig. 2- a) Receiving tank and b) surplus water store

رسوبات و اعمال زاویه‌های مورد نظر دهانه مکش، از اتصال لوله‌هایی سخت از جنس پلی‌اتیلن به طول ۱۵ سانتی‌متر به ابتدای لوله مکش استفاده شد (شکل ۳).

به‌منظور سیفون کردن جریان آب و رسوب، از یک لوله پلاستیکی منعطف به قطر ۳ و به طول ۲۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای حصول اطمینان از قرارگیری دهانه لوله مکش به‌صورت قائم بر سطح



شکل ۳- الف) شکل ساده لوله پلی اتیلن دهانه مکش با مقطع دایره‌ای، ب) لوله پلی اتیلن دهانه مکش با شکل گوه‌ای از وسط دهانه لوله مکش ( $\alpha$  نشان دهنده زاویه لوله گوه‌ای با راستای قائم (امتداد لوله) است)

Fig. 3- a) Front view of the circular-shaped polyethylene suction pipe and b) Front view of the wedge-shaped polyethylene suction pipe

وسط لوله با چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و تغییر فاصله دهانه لوله مکش تا سطح رسوبات در اندازه‌های ۲ سانتی‌متر بالای رسوب، مماس بر سطح رسوب و ۲ سانتی‌متر زیر رسوب بر کارایی روش هیدروساکشن بررسی شد. در مجموع ۱۵ آزمایش شامل ۳ آزمایش شاهد و ۱۲ آزمایش همراه با اعمال تغییر در وضعیت زاویه دهانه مکش اجرا شد. محدوده پارامترهای متغیر و مستقل آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در آزمایش‌ها از ظرف‌های ۸ لیتری مدرج برای اندازه‌گیری غلظت جریان خروجی استفاده شد.

در این پژوهش، مواد رسوبی درشت‌دانه و از جنس ماسه (از نوع ماسه بد دانه‌بندی شده) با چگالی ویژه ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و قطر متوسط  $0.51 (D_{50})$  میلی‌متر در نظر گرفته شدند. مواد رسوبی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر در کف مدل اصلی پخش و پیش از آغاز هر سری از آزمایش، سطح رسوبات با ماله به صورت کاملاً افقی تراز می‌گردید.

#### مشخصات و شرح آزمایش‌ها

در این پژوهش، تأثیر تغییر شکل دهانه ورودی لوله مکش شامل دهانه‌های مکش ساده و گوه‌ای از

جدول ۲- محدوده پارامترهای متغیر مورد آزمایش

Table 2- Range of variable parameters in the study

$\frac{H_p}{D_p}$	$\alpha$ (درجه)	نسبت بدون بعد Dimensionless parameter
-0.66, 0, 0.66	15, 30, 45, 60	محدوده Range

سطح رسوبات) اجرا شد و تا زمانی ادامه یافت که تغییرات ابعاد حفره و غلظت خروجی رسوبات ناچیز باشد. مدت زمان آزمایش تا زمانی که حفره به تعادل

#### نتایج و بحث

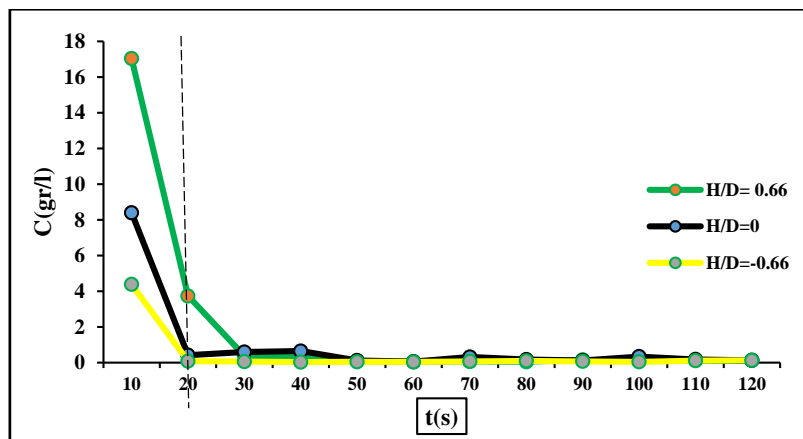
آزمایش‌ها در سه فاصله (روی سطح رسوبات، ۲ سانتی‌متر بالای سطح رسوبات و ۲ سانتی‌متر زیر

برسد، سه ساعت در نظر گرفته شد.

لوله مکش نسبت به سطح رسوبات است. در خلال آزمایش‌ها و در هنگام تخلیه رسوب از لوله مکش، به مدت دو دقیقه در هر فاصله زمانی کوتاه (هر ۱۰ ثانیه) میزان رسوب خروجی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از هر آزمایش در نمودارهای شکل ۴ ارائه شده است.

#### آزمایش‌های شاهد

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شاهد (مقطع دایره‌ای شکل دهانه مکش) بیانگر آن است که عامل اصلی در میزان تخلیه رسوبات فاصله دهانه



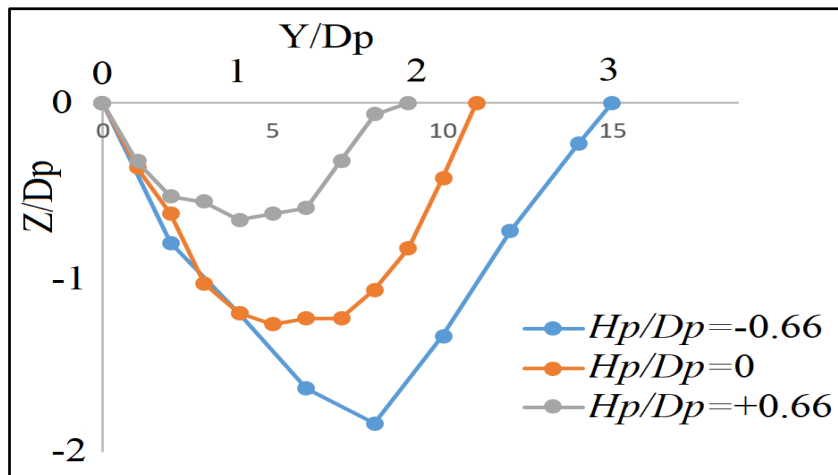
شکل ۴- نمودار تغییرات غلظت رسوب خروجی از سیستم هیدروساکشن نسبت به زمان در هد مؤثر ۷۰ سانتی‌متر و در سه فاصله متفاوت از سطح رسوبات

Fig. 4- Historical curves of sediment concentration variation at the tube outlet at effective head of 70 cm

اختلاف هد مؤثر ۷۰ سانتی‌متر و در سه فاصله دو سانتی‌متر بالای رسوبات، مماس بر سطح رسوبات و دو سانتی‌متر زیر سطح رسوبات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در فاصله دو سانتی‌متر زیر سطح رسوبات نسبت به دو فاصله دیگر اندازه پروفیل عرضی بزرگ‌تر است.

نتایج حاصل از آزمایش‌ها در نمودارها نشان می‌دهد که راندمان تخلیه رسوب در ۱۰ ثانیه اول با شیب تند و در ادامه با شیب ملایم کاهش یافته است. همچنین، با افزایش فاصله دهانه لوله مکش از سطح رسوبات، راندمان تخلیه رسوبات از مخزن کاهش یافته است. شکل (۵)، پروفیل عرضی حفره رسوب‌شویی آزمایش‌های شاهد در



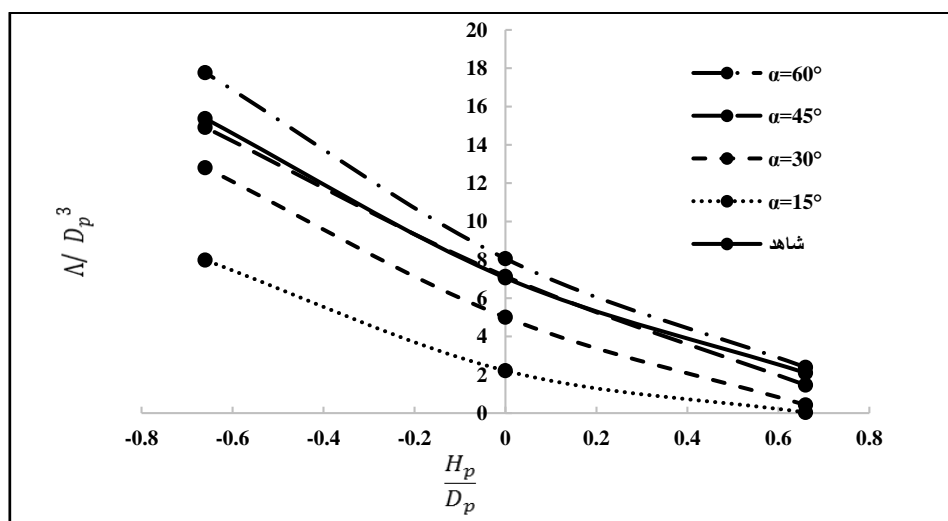


شکل ۵- پروفیل‌های عرضی بی‌بعد حفرة رسوب شویی آزمایشی شاهد در اختلاف هد ۷۰ سانتی‌متر در سه فاصله متفاوت از سطح رسوبات  
 Fig. 5- Profiles of formed scour holes at effective head of 70 cm

آزمایش‌های با زاویه‌های گوه برابر با ۱۵ و ۳۰ درجه، حجم حفرة لایروبی  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  و به تبع آن حجم رسوبات تخلیه شده در قیاس با حالت آزمایش شاهد کاهش یافته است. با این حال نتایج موید آن است که در  $\alpha=60^\circ$ ، حجم حفرة لایروبی در مقایسه با آزمایش شاهد افزایش یافته است. به عبارت دیگر، گوه با زاویه ۶۰ درجه عملکرد موثرتری نسبت به عملکرد شاهد (مقطع دایره‌ای شکل) نشان داده است.

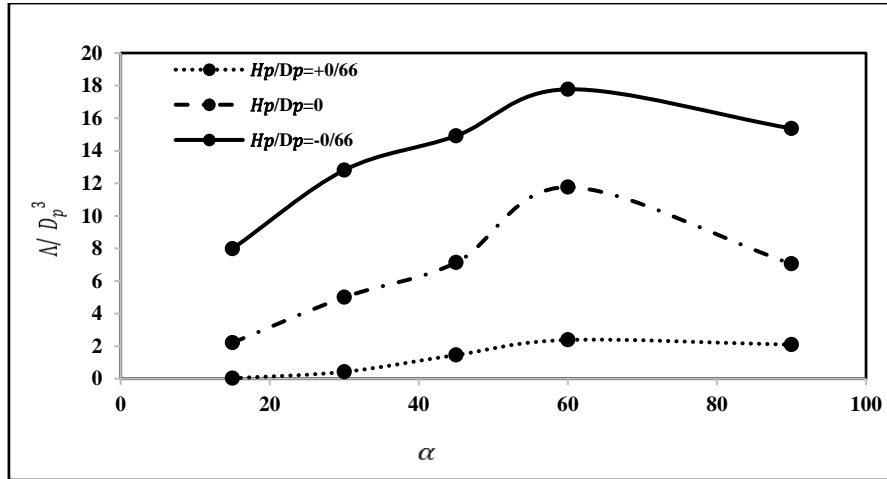
### آزمایش‌های با ورودی گوه‌ای شکل در میان دهانه مکش

پس از آزمایش‌های شاهد، آزمایش‌ها با دهانه تغییر شکل یافته در چهار زاویه و در سه موضع متفاوت قرارگیری دهانه مکش از سطح رسوبات دنبال شد. در شکل ۶، نمودار تغییرات نسبت  $\frac{H_p}{D_p}$  به نسبت  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  در زاویه‌های مختلف دهانه گوه‌ای شکل نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در



شکل ۶- نمودار تغییرات نسبت  $\frac{H_p}{D_p}$  بر نسبت  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  در زاویه‌های مختلف در شکل گوه‌ای از وسط دهانه لوله مکش  
 Fig. 6- Variations of  $\frac{H_p}{D_p}$  to  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  in different suction pipe ratios with the wedge-shaped suction tube

در شکل ۷ نیز تأثیر تغییرات زاویه  $\alpha$  بر نسبت حجم حفره لایروبی ( $\frac{\Lambda}{D_p^3}$ ) در نسبت‌های مختلف  $\frac{H_p}{D_p}$  موقیعت قرارگیری دهانه مکش ( $\frac{H_p}{D_p}$ ) در شکل گوه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۷- تأثیر تغییرات  $\alpha$  بر نسبت  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  در نسبت‌های مختلف  $\frac{H_p}{D_p}$  در شکل دهانه گوه‌ای

Fig. 7- Variations of  $\alpha$  to  $\frac{\Lambda}{D_p^3}$  in different  $\frac{H_p}{D_p}$  with the wedge-shaped

در حالت قرارگیری دهانه مکش بر سطح رسوبات ( $\frac{H_p}{D_p}=0$ ) و در زاویه‌های ۴۵ و ۶۰ درجه، حجم حفره لایروبی، در مقایسه با آزمایش شاهد، روند افزایشی و در زاویه‌های ۱۵ و ۳۰ درجه روند کاهشی نشان می‌دهد. پارامتر بی‌بعد نسبت حجم رسوب برداشته شده به حجم آب تخلیه شده ( $\frac{V_s}{V_T}$ ) نیز نتایج ذکر شده را تایید می‌کند که در جدول ۳ ارائه شده است.

در نمودارهای مربوط به نسبت‌های موقیعت قرارگیری دهانه مکش ( $\frac{H_p}{D_p}$ ) برابر با  $-0/66$  و  $+0/66$  مشاهده می‌شود که نسبت حجم حفره لایروبی ( $\frac{\Lambda}{D_p^3}$ )، در مقایسه با نقطه انتهایی نمودار (که همان آزمایش شاهد، زاویه برابر با ۹۰ درجه، است)، فقط در زاویه ۶۰ درجه افزایش یافته است و این نسبت در مقادیر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه، در مقایسه با آزمایش شاهد، کاهش یافته است.

جدول ۳- میزان رسوب برداشته شده توسط هیدروساکشن با زاویه‌های مختلف دهانه مکش

Table 3- The amount of sediment extracted corresponds to different angles of suction mouth

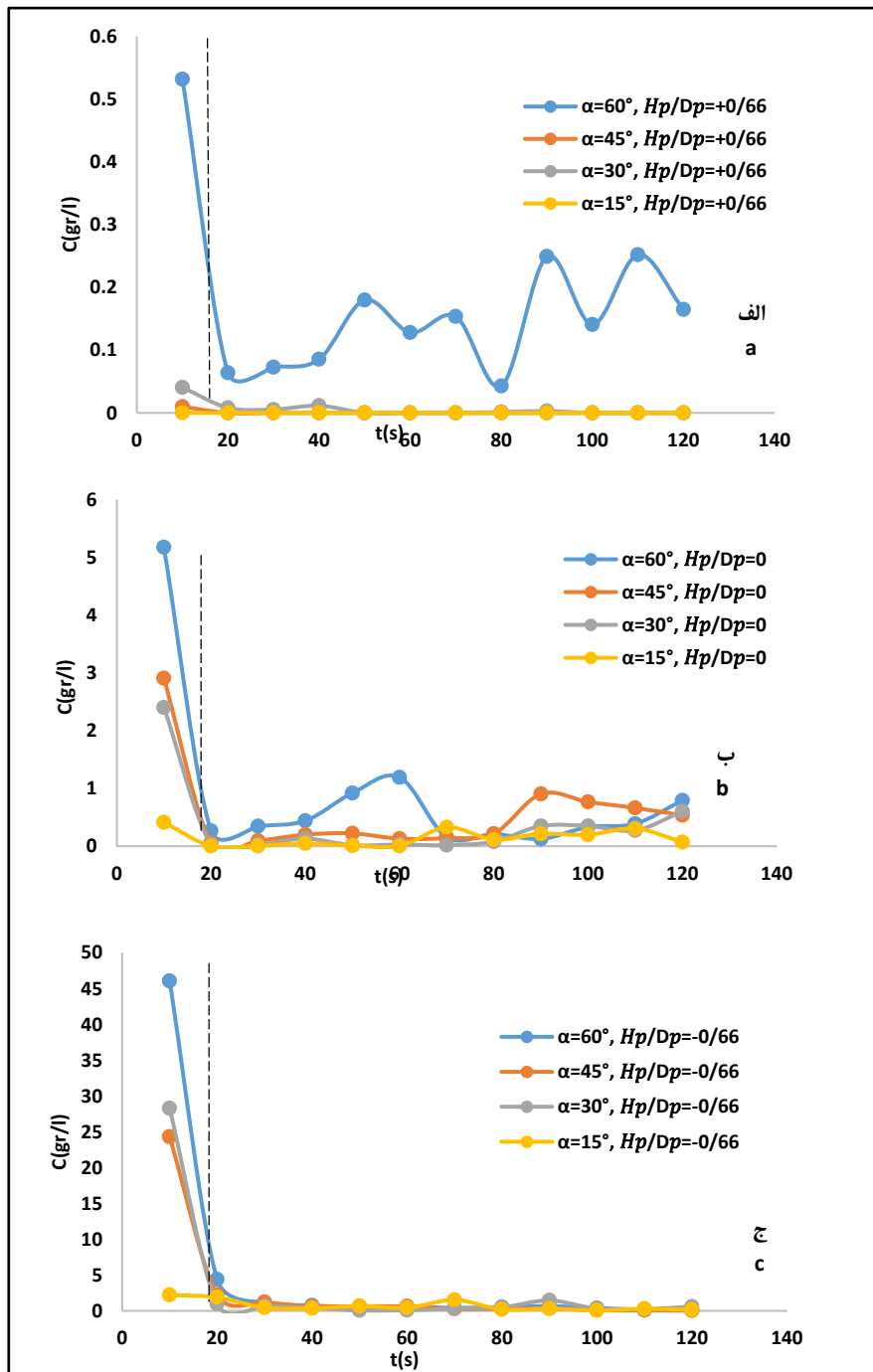
$\frac{V_s}{V_T} \%$	$\frac{H_p}{D_p}$	$\alpha$ (درجه) $\alpha$ (degree)
0.00549	-0.66	شاهد original
0.00253	0	
0.00073	0.66	
0.00286	-0.66	15
0.00078	0	
0	0.66	
0.00458	-0.66	30
0.00177	0	
0.00013	0.66	
0.00537	-0.66	45
0.00253	0	
0.00050	0.66	
.0006350	-0.66	60
0.00288	0	
0.00086	0.66	

کشیده می‌شوند. با ادامه مکش و بزرگ شدن قطر و عمق حفره، به علت زیاد شدن فاصله ذرات رسوب از دهانه مکش، سیستم قادر به برداشت رسوب نیست. در این حالت وضعیت حفره لایروبی به حالت تعادل رسیده است به طوری که نمودار هریک از پارامترهای مورد بررسی به یک شیب ثابت و نزدیک صفر رسیده است.

با مقایسه نمودارهای غلظت- زمان مربوط به پارامترهای تغییر زاویه دهانه لوله مکش نسبت به امتداد لوله و نسبت  $\frac{H_p}{D_p}$  در شکل‌های مختلف دهانه ورودی لوله مکش، مشاهده می‌شود با کاهش نسبت  $\frac{H_p}{D_p}$ ، میزان غلظت خروجی رسوبات بر حسب زمان افزایش یافته است. همچنین، با بررسی نمودارهای مربوط به مقادیر مختلف  $\alpha$  در هر شکل دهانه لوله مکش، مشاهده می‌شود با افزایش مقدار  $\alpha$ ، میزان غلظت رسوبات خروجی افزایش یافته است.

در شکل ۸ نمودارهای مربوط به تغییرات غلظت جریان (گرم بر لیتر) نسبت به زمان در نسبت‌های مختلف قرارگیری دهانه مکش نسبت به سطح رسوب ( $\frac{H_p}{D_p}$ ) در زاویه‌های مختلف دهانه لوله مکش رسم شده است.

با بررسی چشمی نمودارهای غلظت- زمان در شکل ۸، مشاهده می‌شود که عمده رسوب تخلیه شده در سیستم هیدروساکشن در ۱۰ ثانیه اول اتفاق افتاده است. در ۱۰ ثانیه دوم، شیب نمودار به شدت و رسوبات خروجی به مقداری قابل توجه کاهش یافته است. محدوده تغییر ناگهانی غلظت رسوبات خروجی روی هر نمودار، با خط‌چین مشخص شده است. با پیشروی آزمایش، ذرات رسوب از کناره‌های حفره به درون آن سقوط می‌کنند و تحت تأثیر مکش از حفره خارج می‌شوند. ذرات ریخته شده در ته حفره آب‌سستگی، تحت تأثیر جریان چرخشی قرار می‌گیرند و به سمت داخل لوله



شکل ۸- نمودارهای تغییرات غلظت جریان (گرم بر لیتر) نسبت به زمان در نسبت‌های مختلف  $\frac{H_p}{D_p}$  در زاویه‌های مختلف دهانه مکش

Fig. 8- Historical curves of flow concentration (g/lit) corresponds to various ratios of  $\frac{H_p}{D_p}$  and different angles of the suction mouth

نتایج این تحقیق به‌طور کلی نشان می‌دهد با  
ایجاد تغییرات هرچند کوچک و بدون تحمیل  
هزینه‌ای اضافه می‌توان بهره‌وری از سیستم  
هیدروساکشن را بالاتر برد؛ ایجاد برش در لوله

ورودی مکش سیستم برای گوه‌ای ساختن شکل به‌میزان ۶۰ درجه، حجم تخلیه رسوبات را افزایش می‌دهد. افزون بر این، پیشنهاد می‌شود برای تخلیه رسوب با استفاده از سیستم هیدروساکشن، اگر رسوبات تحکیم نیافته باشند، دهانه ورودی در زیر سطح رسوبات قرار گیرد.

**نتیجه‌گیری**

در مطالعه حاضر، وضعیت تخلیه مواد رسوبی نهشته شده در مخازن سدها با سیستم هیدروساکشن با دهانه‌های مکش ساده و گوه‌ای از وسط دهانه ورودی مکش (با چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه) و در سه موقعیت قرارگیری دهانه مکش (با فاصله‌های ۲ سانتی‌متر بالای سطح رسوب، مماس بر سطح رسوب و ۲ سانتی‌متر زیر سطح رسوب) بررسی و تحلیل شد. در یک مدل فیزیکی، ۱۵ آزمایش‌طرح‌ریزی و هر یک به مدت سه ساعت تا رسیدن به زمان تعادل اجرا شد. در آزمایش‌ها، برای لایروبی، از لوله‌ای با قطر ۳ سانتی‌متر و طول ۲۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای اطمینان‌یافتن از قرارگیری قائم لوله مکش بر سطح رسوبات و ایجاد شکل و زاویه‌های موردنظر، از یک لوله سخت به طول ۱۵ سانتی‌متر متصل به لوله لایروبی به‌عنوان دهانه مکش استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با فرض ثابت بودن مقدار زاویه انحراف گوه ( $\alpha$ ) و با افزایش فاصله دهانه مکش از رسوبات ( $\frac{H_p}{D_p}$ )، حجم رسوب تخلیه شده ( $\frac{\Delta}{D_p^3}$ ) کاهش می‌یابد. این نتایج با نتایج تحقیقات فروتن اقلیدی و همکاران

ورودی مکش سیستم برای گوه‌ای ساختن شکل به‌میزان ۶۰ درجه، حجم تخلیه رسوبات را افزایش می‌دهد. افزون بر این، پیشنهاد می‌شود برای تخلیه رسوب با استفاده از سیستم هیدروساکشن، اگر رسوبات تحکیم نیافته باشند، دهانه ورودی در زیر سطح رسوبات قرار گیرد.

در مطالعه حاضر، وضعیت تخلیه مواد رسوبی نهشته شده در مخازن سدها با سیستم هیدروساکشن با دهانه‌های مکش ساده و گوه‌ای از وسط دهانه ورودی مکش (با چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه) و در سه موقعیت قرارگیری دهانه مکش (با فاصله‌های ۲ سانتی‌متر بالای سطح رسوب، مماس بر سطح رسوب و ۲ سانتی‌متر زیر سطح رسوب) بررسی و تحلیل شد. در یک مدل فیزیکی، ۱۵ آزمایش‌طرح‌ریزی و هر یک به مدت سه ساعت تا رسیدن به زمان تعادل اجرا شد. در آزمایش‌ها، برای لایروبی، از لوله‌ای با قطر ۳ سانتی‌متر و طول ۲۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای اطمینان‌یافتن از قرارگیری قائم لوله مکش بر سطح رسوبات و ایجاد شکل و زاویه‌های موردنظر، از یک لوله سخت به طول ۱۵ سانتی‌متر متصل به لوله لایروبی به‌عنوان دهانه مکش استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با فرض ثابت بودن مقدار زاویه انحراف گوه ( $\alpha$ ) و با افزایش فاصله دهانه مکش از رسوبات ( $\frac{H_p}{D_p}$ )، حجم رسوب تخلیه شده ( $\frac{\Delta}{D_p^3}$ ) کاهش می‌یابد. این نتایج با نتایج تحقیقات فروتن اقلیدی و همکاران

در مطالعه آزمایشگاهی اثر تغییر شکل دهانه ورودی ...

لوله‌ای ساده را به‌کار گرفته بودند. در مقایسه با شاهد، وقتی  $\alpha$  برابر ۱۵ و ۳۰ درجه باشد، حجم رسوب تخلیه شده ( $\frac{\Delta}{D_p^3}$ ) کاهش اما در زاویه  $\alpha=60^\circ$  در افزایش داشته است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که با فرض ثابت بودن نسبت ( $\frac{H_p}{D_p}$ )، با افزایش زاویه انحراف گوه، حجم رسوبات تخلیه شده و غلظت رسوبات خروجی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، در قیاس با آزمایش شاهد ( $\alpha=90^\circ$ )، به‌کارگیری دهانه ورودی گوه‌ای شکل تنها در زاویه  $\alpha=60^\circ$  موجب گسترش ابعاد حفره لایروبی می‌شود. افزون بر این، یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در آزمایش‌های سری لوله مکش با دهانه گوه‌ای شکل از وسط دهانه لوله با نسبت  $\frac{H_p}{D_p}=0.166$  و  $\alpha=60^\circ$ ، دارای بیشترین حجم حفره آبستگي و غلظت رسوبات خروجی است. در نتیجه می‌توان گفت که بهره‌جستن از این وضعیت شکل دهانه مکش و قرارگیری آن در زیر سطح رسوبات غیرچسبنده، بیشترین راندمان تخلیه رسوب را به‌دنبال خواهد داشت. با توجه به نتایج مقصودلونژاد و همکاران (Maghsoudlou-Nezhad *et al.*, 2015) که قطر لوله و سرعت جریان در سیستم هیدروساکشن را مؤثر می‌دانند، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده عملکرد سیستم هیدروساکشن با مقطع گوه‌ای همراه با قطرهای و زاویه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مطالعه حاضر، وضعیت تخلیه مواد رسوبی نهشته شده در مخازن سدها با سیستم هیدروساکشن با دهانه‌های مکش ساده و گوه‌ای از وسط دهانه ورودی مکش (با چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه) و در سه موقعیت قرارگیری دهانه مکش (با فاصله‌های ۲ سانتی‌متر بالای سطح رسوب، مماس بر سطح رسوب و ۲ سانتی‌متر زیر سطح رسوب) بررسی و تحلیل شد. در یک مدل فیزیکی، ۱۵ آزمایش‌طرح‌ریزی و هر یک به مدت سه ساعت تا رسیدن به زمان تعادل اجرا شد. در آزمایش‌ها، برای لایروبی، از لوله‌ای با قطر ۳ سانتی‌متر و طول ۲۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای اطمینان‌یافتن از قرارگیری قائم لوله مکش بر سطح رسوبات و ایجاد شکل و زاویه‌های موردنظر، از یک لوله سخت به طول ۱۵ سانتی‌متر متصل به لوله لایروبی به‌عنوان دهانه مکش استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با فرض ثابت بودن مقدار زاویه انحراف گوه ( $\alpha$ ) و با افزایش فاصله دهانه مکش از رسوبات ( $\frac{H_p}{D_p}$ )، حجم رسوب تخلیه شده ( $\frac{\Delta}{D_p^3}$ ) کاهش می‌یابد. این نتایج با نتایج تحقیقات فروتن اقلیدی و همکاران

## مراجع

- Chen, S. Ch., Wang, Sh. Ch., and Wu, Ch. H. (2010). Sediment removal efficiency of siphon dredging with wedge-type suction head and float tank. *International Journal of Sediment Research*, 25(2): pp. 149-160.

- Cheraghali, M., Ahmadi, A., Saanei, M., & emamgholizadeh, S. (2015). *Influence of water height on the efficiency of hydrosuction method. National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*. Oct. 29. Shahrood University of Technology. (in Persian)
- Fan, J. (1986). Turbid density currents in reservoirs. *Water International*, 11(3): pp. 107-116.
- Forutan-Eghlidi, M., Zounemat-Kermani, M., Rahimpour, M., & Moghbeli, A. (2019). Experimental study on the effect of distance of suction tube mouth from sediment surface on the hydrosuction system performance. *Journal of Hydraulics*, 13(3): pp. 47-58. (in Persian)
- Hotchkiss, R. H., & Huang, X. (1995). Hydrosuction sediment-removal systems (HSRS): Principles and field test. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(6): pp. 479-489.
- Jolanda, M. I., Jenzer, A., Giovanni, D. C., & Anton, J. Schleiss. (2015). Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet-induced flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(2): pp. 1-9.
- Maghsoudlou-Nezhad, A., Ahmadi, A., Saanei, M., & emamgholizadeh, S. (2015). *Influence of suction pipe velocity on the efficiency of hydrosuction method. National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*. Oct. 29. Shahrood University of Technology. (in Persian)
- Pishgar, R., Ayyoubzadeh, S. A., Saneie, M., & Ghodsian, M. (2015). Experimental investigation of suction pipe holes arrangement effect on the burrowing-type dredging method performance. *Journal of Hydraulics*, 10(1): pp. 1-12. (in Persian)
- Pishgar, R., Ayyoubzadeh, S. A., Saneie, M., & Ghodsian, M. (2016). Experimental Investigation of the suction pipe geometrical and mechanical characteristics effect on the sediment removing efficiency of hydrosuction method. *Modares Civil Engineering Journal*, 16(2): pp. 67-80. (in Persian)
- Shrestha, H. S. (2012). Application of hydrosuction sediment removal system (HSRS) on peaking ponds, Hydro Nepal. *Journal of Water, Energy and Environment*, 11(1): pp. 43-48.
- Talebbeydokhti, N. & Naghshineh, A. (2004). Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science and Technology*, 28(1): pp. 119-136.
- Ullah, S. M., Mazurek, K. A., Rajaratnam, F., & Reitsma, S. (2005). Siphon removal of cohesionless materials. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 131(3): pp. 115-122.
- Yan, T., Chen, L., Xu, M., & Zhou, M. A. (2012). Siphon pipeline resistance characteristic research. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, 28, pp. 99-104.

## **Experimental Study on the Effects of Suction Mouth Deformation on Sediment Discharge Efficiency of Dams Reservoirs using Hydrosuction Systems**

**R. Moghanloo, M. Zounemat- Kermani\* , Gh. A. Barani and A. Mahdavi- Meymand**

\* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahid Beheshti University of Kerman, Kerman, Iran. Email: zounemat@uk.ac.ir.

Received: 12 January 2019; Accepted: 7 October 2019

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Dam reservoir sedimentation is known as one of the main serious problems that mainly affects the efficiency of dam's operation. Sedimentation may also block the conduits and it can destroy turbines, sluices, and valves. So it is necessary to find a way to solve this problem. In this regard, hydrosuction considered as a proper alternative and a potentially efficient method to remove the superficial deposited sediments from reservoirs. Hydrosuction system consists of a large pipeline working with an inlet suction tube lying on deposited sediments in the reservoir. In hydrosuction systems, the deposited sediments are withdrawn, as a mixture of sediments and water, from the reservoir and directed to downstream. The major advantage of using hydrosuction method is its economic aspects since the system doesn't need extra energy for operation. Environment friendly method, hydrosuction can be used all over the reservoir, where the output and the volume of sediment removal could be under control. Researchers have tried to evaluate and improve the efficiency of this system. In this study, the effects of different shapes and forms of the suction mouth (tube inlet) on the efficiency of hydrosuction system in sediment removal were investigated. To achieve this goal, several experiments were carried out using different shapes of the suction mouth including the plain-type (circular) and wedge-shaped in the middle of the suction mouth.

#### **Methodology**

In the current work, the hydrosuction effective parameters were considered as the follow: water density ( $\rho$ ), dynamic viscosity ( $\mu$ ), gravity acceleration ( $g$ ), hydrosuction pipe diameter ( $D_p$ ), diameter of sediment particles ( $D_{50}$ ), hydrosuction pipe velocity ( $V$ ), length of pipeline ( $L_p$ ), sediment density ( $\rho_s$ ), the distance between inlet pipe and surface of sediment layer ( $H_p$ ), the height of water on the sediments ( $H_w$ ), the deference of height between water level and hydrosuction output ( $H$ ), the angle between the head of the suction inlet and pipe ( $\alpha$ ), the shape of suction inlet ( $\beta$ ), coefficient of particle shape ( $\lambda$ ), sediment discharge ( $Q_s$ ), scour hole depth

( $L$ ), scour hole diameter ( $R$ ), scour hole volume ( $A$ ), and time ( $t$ ). Extracted dimensionless parameters by using Buckingham theorem are as follow:

$$f(Q/VD_p^2, \rho_s/\rho, \rho V D_p / \mu, D_{50}/D_p, L_p/D_p, H/D_p, Q/VD_p^2, H_p/D_p, H_w/D_p, \alpha, V^2/D_p g, V_t/D_p, \beta, \lambda, Q_s/VD_p^2, A/D_p^3)=0 \quad (1)$$

Considering  $V$ ,  $t$ ,  $\rho$ ,  $\rho_s$ ,  $D_{50}$ ,  $D_p$ ,  $L_p$ , and  $H$  as constants throughout the experiments, just two dimensionless parameters,  $H_p/D_p$  and  $(A/D_p^3)$ , were evaluated in this study.

The experiments were conducted in the hydraulic and water engineering laboratory of Water Engineering Department of Shahid Bahonar University, Kerman. The height, width and length of physical model tank (as the reservoir) were 70, 100 and 100 centimeters, respectively, and the diameter and length of hydrosuction pipeline were 3 and 250 cm respectively. Sediments samples were classified as sand with  $D_{50} = 0.51$  mm. Before starting each experiment, the bottom of the model filled with a layer, 15 cm, of sediments. In this study, the effect of the suction mouth formation, as well as the effect of distance between the inlet pipe and the surface of sediments on the performance of hydrosuction system, were evaluated. The suction mouth formation included the plain-type (circular) and wedge-shaped in the middle of the suction mouth. The wedge-shaped type was considered with four angles of the pipe opening relative to the tube stretch ( $\alpha = 15, 30, 45$ , and  $60$  degrees). The values for  $H_p$  were considered in three levels of 2cm above the surface of the sediment, on the sediments surface, and 2cm under the surface of the sediment.

### Results and Discussion

The results of the experiments showed that with increasing the ratio of  $H_p/D_p$ , ( $D_p$  is the pipe diameter), the volume of sediment removal ( $A$ ) decreased. Also, at  $\alpha = 15$  and  $30$ , the ratio of  $(A/D_p^3)$  decreased, comparing to the reference test (plain-type,  $\alpha = 90^\circ$ ), while at  $\alpha = 60^\circ$ , the value of  $(A/D_p^3)$  increased. By assuming a constant value for the ratio of  $H_p/D_p$ , the results implied that the ratio of  $(A/D_p^3)$  and the concentration of the sediment outflow enhanced if the amount of  $\alpha$  increased. By assuming a constant ratio value of  $H_p/D_p$ , just at  $\alpha = 60^\circ$  the ratio of  $(A/D_p^3)$  increased compared to the reference test. Results revealed that a better performance of the hydrosuction system would occur by using a wedge-shaped suction mouth,  $\alpha = 60^\circ$ , and locating the suction tube two cm under the sediment surface.

### Conclusion

In this study the hydrosuction process with 4 different angles of the pipe opening relative to the tube stretch (15, 30, 45 and 60), and 3 distances of the pipe inlet from the sediment level (above, tangent, and under the sediment level) were tested. Considering a constant wedge-shaped angle ( $\alpha$ ), the results indicated that by increasing the distance of the pipe inlet ( $H_p/D_p$ ) from the sediment level, the amount of the extracted sediment will be decreased ( $A/D_p^3$ ). These results are in line with the results of Forutan-Eghlidi *et al* (2019). In general only at  $\alpha=60$  the wedge-shaped pipe have greater efficiency compared to normal pipe shape. In all conducted experiments, the middle wedge-shaped pipe with  $\alpha=60$  and  $H_p/D_p=-0.66$  had the greatest performance in dredging the sediments.

**Keywords:** Deformation of Inlet Opening, Hydrosuction Sediment Discharge, Sedimentation, Suction Tube