

بررسی آزمایشگاهی اثر مشخصه‌های هندسی و مکانیکی لوله مکش بر

کارایی روش هیدروساکشن در تخلیه رسوب

رضا پیشگر^۱، سید علی ایوب زاده*^۲، مجتبی صانعی^۳، مسعود قدسیان^۴

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه مهندسی رودخانه‌ها و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴- استاد گروه مهندسی آب، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

ayyoub@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۵/۲۰]

چکیده-رسوب‌گذاری مخازن موجب بوجود آوردن مشکلاتی مانند کاهش حجم و عمر مفید مخازن، کاهش حجم کنترل سیلاب، گرفتگی آبگیرها، تونل‌ها و توربین‌ها و دیگر مسائل مرتبط می‌شود. با وجود به توسعه چندین روش برای حل این مسئله، نرخ رسوب‌گذاری مخازن سدهای دنیا بیانگر وجود داشتن این مشکل است. در دهه گذشته روش‌های جدیدی ارائه شد که از بین آن‌ها روش هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده بیشتر مورد توجه گرفته است. هدف از این پژوهش بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله بین روزنه‌های تحتانی و چگالی قسمت انحناء لوله مکش بر کارایی روش هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده است. در این پژوهش روزنه‌ها به سمت بالادست و پایین‌دست انحناء امتداد یافته‌اند. به‌منظور یافتن ارتباط بین کارایی روش با فاصله بین روزنه‌های تحتانی و چگالی قسمت انحناء لوله مکش، آزمایش‌های متعددی بر لوله مکش با قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر، نسبت قطر روزنه‌ی تحتانی به قطر لوله مکش برابر ۰/۲۵ و فاصله نسبی ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ بین روزنه‌های تحتانی انجام شد. نتایج نشان داد، اثر افزایش چگالی قسمت انحناء لوله‌مکش بر کارایی ابتدا افزایشی و سپس کاهش‌ی است. به گونه‌ای که با افزایش چگالی از ۱/۷۷ به ۲/۱۶ کارایی صعودی است و سپس با بیشتر شدن چگالی کارایی نزولی می‌شود. همچنین، کاهش فاصله بین روزنه‌ها موجب افزایش کارایی روش هیدروساکشن می‌شود و در فاصله نسبی ۲، بیشترین غلظت متوسط خروجی با مقدار ۱/۵۸ درصد مشاهده شد. به علاوه نتایج نشان داد، روش هیدروساکشن قادر است تا ۵ برابر حجم رسوباتی که در محل قرارگیری لوله‌مکش ته‌نشین شده‌اند را تخلیه نماید.

واژگان کلیدی: رسوب‌گذاری مخازن، تخلیه رسوب، هیدروساکشن، لوله مکش، کارایی.

۱- مقدمه

از؛ کنترل فرسایش و انتقال رسوب در سطح حوضه آبریز، ایجاد سیستم کنارگذر^۱، شستشوی سریع رسوبات^۲، تخلیه جریان‌های گل‌آلود^۳، لایروبی هیدرولیکی^۴ و برداشت مکانیکی^۵ رسوبات.

رسوب‌گذاری در مخازن سدها، مشکلی است که بسیاری از سدهای در حال بهره‌برداری دنیا با آن مواجه است. از پیامدهای رسوب‌گذاری در مخازن می‌توان به کاهش عواملی مانند عمر مفید مخزن، ظرفیت ذخیره آب، توان تولید برق، کیفیت آب آشامیدنی، ظرفیت کنترل سیل و مشکلات دیگر اشاره کرد.

روش‌های حل مسئله رسوب‌گذاری در مخازن سدها عبارتند

- 1 Bypassing
- 2 Flushing
- 3 Density current venting
- 4 Dredging
- 5 Excavating

در کشور ایتالیا استفاده شد [۶]. بیشترین تعداد استفاده از این روش، ۱۰ مورد، در کشور چین گزارش شده است [۷]. مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش با مطالعه مدل جدید تخلیه‌کننده رسوب^۳ که در آن چندین روزنه در قسمت تحتانی لوله با فاصله مساوی وجود داشت ارائه شد [۸]. در قالب یک طرح پژوهشی توسط خسرونژاد راه کارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش هیدروساکشن برای رسوب‌زدائی مخازن سدهای کشور ایران، و نیز روابط محاسبه دبی رسوبی در سیستم هیدروساکشن به همراه دستورالعمل طراحی هیدرولیکی آن ارائه شد [۹]. وی با ارائه مدل^۴ HSRD به زبان ویژال بیسیک پژوهشهای صورت گرفته را به صورت یک بسته نرم افزاری ارائه نمود و با کاربرد مدل نرم‌افزاری برای سد انحرافی تاریک^۵ نتیجه گرفت که مدل HSRD به خوبی می‌تواند طرح هیدرولیکی مناسبی برای یک سیستم تخلیه رسوب هیدروساکشن ارائه نماید [۹]. با انجام پژوهشهای آزمایشگاهی بیشتر روش جدید هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده^۶ معرفی شد [۱۰]. سپس این روش توسعه داده شد و با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو مقیاس کوچک و متوسط مورد بررسی قرار گرفت [۱۱]. چگونگی کارکرد روش هیدروساکشن دفن‌شونده در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل شماتیکی از چگونگی ساختار مخروط رسوب‌شویی و تخلیه رسوب در سه حالت قبل از شروع مکش، هنگام مکش و پایان مکش را نشان می‌دهد. در پژوهشی با گسترش روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و انجام آزمایش‌های متعدد، رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوبات و اتلاف انرژی جریان، در مواد رسوبی غیر چسبنده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، به منظور بالا نگه داشتن عملکرد روش ضمن هدر رفت کمینه جریان باید غلظت رسوبات را بین ۲-۵ درصد تنظیم داشت [۱۲].

اتلاف متوسط سالانه حجم ذخیره مخزن در کشور چین ۲/۳٪ و برای سدهای دنیا ۱٪ است [۲]. متوسط نرخ رسوب‌گذاری سالانه سدها در ایران نیز حدود ۰/۶۵ درصد تخمین زده می‌شود که تقریباً معادل ۲۷۷ میلیون مترمکعب رسوب در سال است [۱].

ملاحظه می‌شود با وجود روش‌های گفته شده که بیشتر به صورت ترکیبی نیز به کار می‌روند همچنان پژوهش و جستجوی روش‌های نو و کارا در کاهش میزان رسوبگذاری مخازن بسیار مورد نیاز است.

از روش‌هایی که در سال‌های اخیر به عنوان یک روش کارا بررسی شده است سیفون کردن رسوبات داخل مخازن سدها می‌باشد. در این روش، از اختلاف تراز آب داخل مخزن و پایین‌دست به عنوان نیروی مکش و انتقال رسوبات استفاده می‌شود. از مزیت‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های لایروبی می‌توان به عدم نیاز به انرژی، سازگاری با محیط زیست بخاطر قابل کنترل بودن میزان رسوبات خروجی، عدم نیاز به مکانی برای دپو رسوبات بخاطر دور شدن مستقیم رسوبات از طریق جریان رودخانه در پایین‌دست سد و کم هزینه بودن اشاره کرد. همچنین این روش برای رفع گرفتگی دهانه آبیگر نیروگاه‌ها نقش موثری می‌تواند ایفا کند. از معایب این روش نیز می‌توان به قابلیت کاربرد در مخازن کوتاه (طول دریاچه مخزن کمتر از ۳ کیلومتر) و نیز سدهای با حجم کمتر از ۱۰۰ میلیون متر مکعب اشاره نمود.

اولین بار از سیستم سیفون در سد ریوماجون^۱ به منظور تخلیه رسوبات از مقابل آبیگرهای تحتانی سد استفاده شد [۳]. پژوهشهای گسترده‌ای روی این روش در ایالات متحده شروع شد و علاوه بر بیان اجزای اصلی روش، طرح سیستم تخلیه هیدروساکشن برای مخزنی در کالیفرنیا ارائه شد [۴]. کاربرد دائمی تخلیه سیفونی رسوبات نیز بررسی شد و به صورت روشی برای تخلیه رسوبات ماسه‌ای در فواصل زمانی کوتاه معرفی شد [۵]. همچنین از روش هیدروساکشن با لوله به قطر ۰/۷ متر برای رسوب‌زدایی مواد ریزدانه مخزن والدزیا^۲

3Multi-Hole Suction Sand Pipe

4Hydro-suction System for Reservoir Desiltation

۵ پائین دست سد سفید رود، استان گیلان

6Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe

1Rioumajon

2Valdesia

شکل (۱) شماتیک چگونگی کارکرد روش هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده، به ترتیب از چپ به راست، قبل از شروع مکش رسوبات، هنگام مکش رسوبات و پایان مکش رسوبات

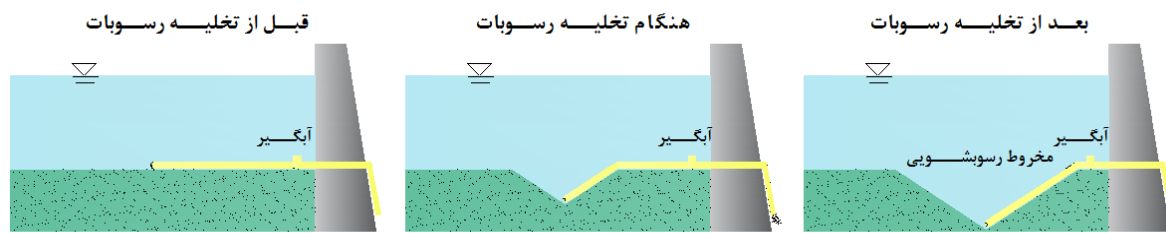


Figure 1. The Schematic of the burrowing-type hydrosuction method functionality

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آنالیز ابعادی

برای تعیین پارامترهای تاثیرگذار بر کارایی روش هیدروساکشن از روش تحلیل ابعادی^۱ استفاده شد. بررسی پدیده نشان می‌دهد که پارامترهای تاثیرگذار بر هر رفتار پدیده که با خصوصیت A نشان داده شود عبارتند از: چگالی آب، ρ ، لزوجت دینامیک سیال، μ ، شتاب ثقل، g ، قطر روزنه‌های مکش تحتانی، D_o ، قطر لوله مکش، D ، فاصله بین روزنه‌های تحتانی، s ، سرعت متوسط جریان در لوله مکش، v ، چگالی قسمت انحناء لوله مکش، ρ_c (چگالی بخش جامد سامانه مکش در قسمت انحناء)، طول کل لوله مکش، L ، طول قسمت روزنه‌دار لوله مکش، l_o ، طول انحناء لوله مکش، l_c ، چگالی رسوب، ρ_s ، چگالی مواد سازنده لوله مکش، ρ_p و زمان از شروع فرآیند t است. (مقادیر کمیت‌ها در واحد SI است). به عبارت دیگر خواهیم داشت:

$$(1)$$

$$A = f(\rho, \mu, g, D_o, D, s, v, \rho_c, L, l_o, l_c, \rho_s, \rho_p, d_{50}, h, t)$$

با فرض پارامترهای ρ ، v و D به‌عنوان پارامترهای تکراری در تحلیل ابعادی به روش پی-باکینگهام، نسبت‌های پی‌بعد برای پارامترهای مشخصه عبارت خواهند بود از:

سپس با انجام مطالعه آزمایشگاهی و صحرایی بر روش هیدروساکشن، روابط بین سرعت و غلظت رسوبات برای رسوبات درشت‌دانه و ریزدانه ارائه شد [۱۳]. با مطالعه ویژگی‌های هیدرولیکی مانند رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوب، اتلاف انرژی و غیره، قابلیت کاربرد این روش برای حذف مواد رسوبی غیرچسبده و مخازن کوچک تائید شد [۱۴]. مطالعه تاثیر قطر روزنه تحتانی و فاصله بین روزنه‌ها بر عملکرد روش هیدروساکشن نشان داده است که این پارامترها بر عملکرد روش تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارند [۱۵]. زبری داخلی لوله‌های شفاف انعطاف‌پذیر که برای مکش رسوبات می‌تواند استفاده شود، نیز مطالعه شد و زبری معادل سطح داخلی آن‌ها تخمین زده شد [۱۶]. اثر مشخصات هندسی لوله مکش بر راندمان تخلیه رسوب مخازن سدها به روش هیدروساکشن هم بررسی شد و میزان تاثیر پارامترهای مختلف به دست آمد [۱۷]. با توجه به مطالب گفته شده ملاحظه می‌شود که در مطالعات پیشین فرآیند روش هیدروساکشن دفن‌شونده و عوامل موثر این فرآیند مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهش مدلی از فرآیند تخلیه رسوب به روش هیدروساکشن بررسی می‌شود و از پارامترهای موثر بر این فرآیند تخلیه رسوب، پارامتر هندسی فاصله بین روزنه‌های تحتانی s ، و پارامتر مکانیکی چگالی قسمت انحناء لوله مکش مطالعه می‌شود. در این مطالعه روزنه‌های تحتانی به یک اندازه به سمت بالادست و پایین‌دست امتداد داده شده‌اند.

$$A^* = \phi_A \left(\pi_2 = \frac{s}{D}, \pi_3 = \frac{\rho_c}{\rho} = \chi, \pi_{13} = \frac{t}{D/V} \right) \quad (2)$$

در رابطه بالا A^* فرم بدون بعد پارامتر وابسته A است. در شرایطی که سامانه به حالتی از تعادل می‌رسد فرآیند پس از این حالت تابعی از زمان نبوده و مدت زمان گفته شده T_f تابعی از سایر پارامترهای مشخصه براساس رابطه (۲) است یعنی:

$$T_f^* = \phi_A \left(\pi_2 = \frac{s}{D}, \pi_3 = \frac{\rho_c}{\rho} = \chi \right) \quad (3)$$

که در این رابطه $T_f^* = \frac{T_f}{D/V}$ است. با جایگزینی π_{13} با $\frac{\pi_{13}}{T_f^*}$ در رابطه (۲) و نمایش آن با t^* خواهیم داشت:

$$A^* = \Phi_A \left(\pi_2 = \frac{s}{D}, \pi_3 = \frac{\rho_c}{\rho} = \chi, t^* = \frac{t}{T_f} \right) \quad (4)$$

رابطه (۴) بیانگر تغییرات زمانی هر خصوصیت رفتاری از پدیده بررسی شده این پژوهش است. 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 به‌عنوان کارایی روش هیدروساکش لوله مکش معرفی شده و یکی از ویژگی‌های مهم مورد نظر در پژوهش است. حجم مخروط رسوب‌شویی که به صورت بدون بعد با V^* نشان داده شده است و بیانگر تغییرات هندسی (عمق و گسترش سطحی) رسوبات شسته شده در مدت فرایند رسوب‌شویی است از ویژگی‌های دیگر مورد نظر در پژوهش است. ضمناً تمام پارامترهای بدون بعد با مقادیر متناظر با زمان تعادل و مطابق آنچه که در مورد استخراج زمان تعادل ارائه شد نرمالایز شده و بررسی شده است که در بخش‌های بعدی این مقاله ارائه می‌شود.

$$\left(\begin{array}{l} \pi_1 = \frac{D_o}{D}, \pi_2 = \frac{s}{D}, \pi_3 = \frac{\rho_c}{\rho}, \pi_4 = \frac{L}{D}, \pi_5 = \frac{l_o}{D}, \\ \pi_6 = \frac{l_c}{D}, \pi_7 = \frac{\rho_s}{\rho}, \pi_8 = \frac{\rho_p}{\rho}, \pi_9 = \frac{V^2}{gD} \\ \pi_{10} = \frac{\rho VD}{\mu}, \pi_{11} = \frac{d_{50}}{D}, \pi_{12} = \frac{h}{D}, \pi_{13} = \frac{t}{D/V} \end{array} \right)$$

سرعت متوسط جریان داخل لوله مکش براساس پژوهش ساکورای و هاگوشی (۲۰۱۲) که گفته شد در محدوده ۲ متر بر ثانیه باشد، با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی برابر ۱/۷۵ متر بر ثانیه و ثابت در نظر گرفته می‌شود. همچنین به خاطر ثابت بودن قطر لوله مکش، قطر روزنه تحتانی، طول لوله مکش، طول قسمت روزنه‌دار، طول قسمت انحناء، چگالی رسوبات و چگالی لوله مکش، به ترتیب، پارامترهای π_1 و π_4 تا π_8 و π_{13} برای آزمایش‌ها ثابت است. پارامتر π_9 به خاطر ثابت بودن قطر و سرعت جریان در لوله مکش، ثابت است و نیز پارامتر π_{10} برای تمام آزمایش‌ها در محدوده جریان آشفته قرار دارد که از تاثیر آن بر نتایج می‌تواند چشم‌پوشی شود. در این پژوهش قطر لوله مکش ۶۱ میلی‌متر و طول لوله ۴/۷ متر است. از پارامترهای بی‌بعد به دست آمده فاصله بین روزنه‌ها و چگالی بی‌بعد (به اختصار چگالی) قسمت انحناء لوله مکش در این پژوهش بررسی می‌شود. از این‌رو، نسبت‌های بی‌بعد π_2 و π_3 متغیر مستقل است که به ترتیب، بیانگر فاصله بین روزنه‌ها و چگالی قسمت انحناء لوله مکش است. چگالی بی‌بعد قسمت انحناء لوله مکش در ادامه با χ نشان داده می‌شود. مقادیر ثابت ۱۰ پارامتر بدون بعد در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است. بنابراین شکل کلی رابطه بدون بعد که بیانگر رفتار پدیده A در این پژوهش، عبارتست از:

جدول (۱) مقادیر پارامترهای بی‌بعد ثابت در این پژوهش

| نسبت بی‌بعد | $\pi_1 = \frac{D_o}{D}$ | $\pi_4 = \frac{L}{D}$ | $\pi_5 = \lambda_o$ | $\pi_6 = \lambda_c$ | $\pi_7 = \frac{\rho_s}{\rho}$ | $\pi_8 = \frac{\rho_p}{\rho}$ | $\pi_9 = \frac{V^2}{gD}$ | $\pi_{10} = \frac{\rho VD}{\mu}$ | $\pi_{11} = \frac{d_{50}}{D}$ | $\pi_{12} = \frac{h}{D}$ |
|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| محدوده | ۰/۲۵ | ۷۷ | ۱۹/۷ | ۸/۲ | ۲/۶۵ | ۱/۱۷ | ۲/۲۶ | $1/0.6 \times 10^6$ | ۰/۰۳۹ | ۱۰ |

Table (1) The constant dimensionless parameters's values

آزمایشگاهی، لوله مکش، محفظه اندازه‌گیری جریان و محفظه تله‌اندازی رسوب است (شکل ۴). جنس دیواره‌های مخزن آزمایشگاهی از شیشه نشکن و جنس کف آن از فلز است. مخزن دارای طول ۷/۱۰، عرض ۱/۴ و ارتفاع ۱/۵ متر است و در راستای طولی به سه بخش برگشت جریان اضافی، بخش آرام‌کننده و بخش اصلی تقسیم شده است. بخش برگشت جریان اضافی و بخش آرام‌کننده به وسیله‌ی یک صفحه فلزی دارای دو روزنه دایره‌ای و مستطیلی از هم جدا شدند. از آنجا که ارتفاع روزنه مستطیلی زیاد بود، در آزمایش‌ها تراز آب به سقف روزنه نمی‌رسید و روزنه مستطیلی نقش یک سرریز مستطیلی در عبور جریان اضافی را بر عهده داشت. برای آرام کردن جریان ورودی نیز از یک صفحه مشبک فلزی استفاده شد.

سیستم تامین آب شامل یک مخزن ذخیره اصلی آب در کف آزمایشگاه و یک مجموعه الکتروموتور و پمپ با تامین بیشینه دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه است. علاوه بر مخزن آزمایشگاهی، محفظه اندازه‌گیری جریان نیز از سه بخش تشکیل شده است، آرام‌کننده جریان خروجی، اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی یک سرریز مثلی ۶۰ درجه و جمع‌آوری و هدایت جریان به سمت مخزن اصلی. از آنجا که محفظه اندازه‌گیری جریان برای جمع‌آوری رسوبات خروجی از لوله مکش مناسب نبود، از محفظه‌ای جداگانه برای جمع‌آوری رسوبات خروجی در طول آزمایش‌ها استفاده شد. این محفظه با طول ۱/۲، عرض ۱ و ارتفاع ۰/۸۶ شامل اتصالات آلومینیومی و نفوذپذیر است که یک پارچه مناسب برای تله‌اندازی رسوبات در آن نصب شده است.

شکل (۲) نمای شماتیک لوله مکش و روزنه‌های تحتانی بکار رفته در این

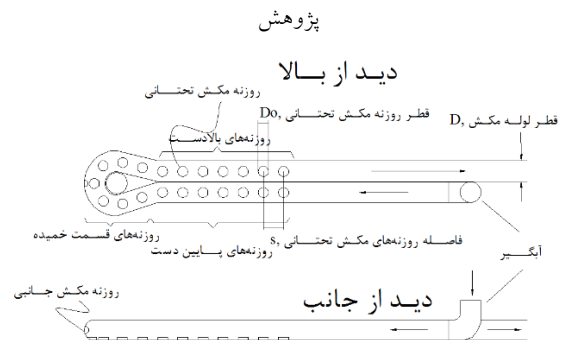


Figure 2. Sketch of suction pipe properties used in this research

شکل (۳) چگونگی افزایش چگالی قسمت انحناء لوله مکش



Figure 3. The manner of suction pipe curvature density increment

همان‌گونه که در مقدمه گفته شد برای حفظ فاصله بین قسمت انحناء لوله مکش با سطح رسوبات از یک روش مکانیکی استفاده شد. در این روش چگالی قسمت انحناء لوله مکش که دارای زاویه ۳۶۰ درجه است (شکل ۲) به وسیله‌ی یک وزنه افزایش داده شد (شکل ۳). لازم به گفتن است، طولی از لوله مکش که روزنه تحتانی روی آن ایجاد شده است در تمام آزمایش‌ها ثابت است.

۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. برپایی آزمایش‌ها شامل سیستم تامین آب، مخزن

شکل (۴) پلان برپایی آزمایش‌ها در تحقیق حاضر

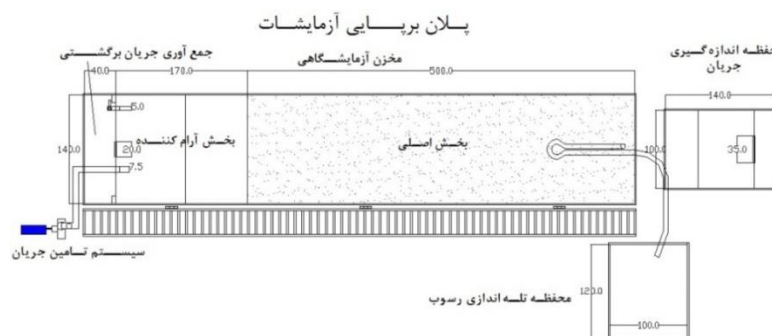


Figure (4) The plan view of experimental facility in this research

فاصله روی رسوبات قرار گرفته باشند و تمام پارامترهای رسوبی و پارامترهای هیدرولیکی لوله مکش و مخزن ثابت باشند، ۲ کمیت در مکش پیوسته رسوبات نقش تعیین‌کننده خواهند داشت؛ قدرت مکش هر روزنه و فاصله بین روزنه‌های تحتانی. از آنجا که طولی از لوله که در آن روزنه ایجاد شده است، l_0 ثابت است، پس با ثابت فرض کردن نقش آبرگیر، هر چه تعداد روزنه‌ها کمتر شوند قدرت مکش هر یک از آنها بیشتر می‌شود.

شکل (۶) هم‌پوشانی ناحیه‌های تاثیر روزنه‌های مکش تحتانی در فاصله مختلف بین روزنه‌ها، برای وجه پایین دست لوله مکش. الف) فاصله بین روزنه‌ها کمتر و همپوشانی مناسبتر، ب) فاصله بین روزنه‌ها بیشتر، همپوشانی نامناسب و ایجاد ناحیه آبستنگی با تاخیر

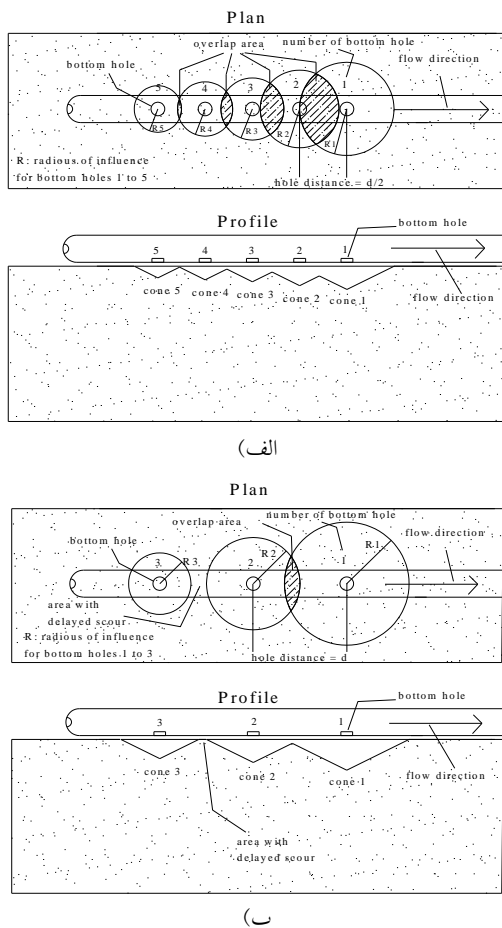


Figure (6) The overlapping of the bottom holes influence area in different holes spacing, in the downstream side of the suction pipe. A) the spacing is small, b) the spacing get more and cause area with delayed scour.

هر یک از روزنه‌های تحتانی، بسته به اینکه چه میزانی از جریان را مکش کند (چه قدرت مکشی داشته باشد) یک ناحیه تاثیر در اطراف خود خواهد داشت. اگر ناحیه تاثیر روزنه‌های کنار

لوله خرطومی بکار رفته در این پژوهش، دارای قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر است (شکل ۵). این لوله از جنس پی‌وی‌سی ساخت داخل کشور بوده و در اندازه‌های مختلف موجود می‌باشد. طول گام فترهای لوله ۱ سانتی‌متر، جرم لوله ۰/۶۳۵ کیلوگرم بر متر طول و چگالی مواد به کار رفته در ساخت لوله ۱/۱۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

شکل (۵) لوله مورد استفاده در این تحقیق



Figure 5. The suction pipe

برای رسوبات کف مخزن نیز از شکسته سیلیس با چگالی ویژه ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و قطر متوسط ۰/۲۴ میلی‌متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری جریان سیستم مکش نیز از یک سرریز مثلثی ۶۰ درجه استفاده شد.

۲-۳- مشخصات و شرح آزمایش‌ها

در این پژوهش تاثیر سه فاصله بین روزنه‌ها ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ برابر قطر لوله مکش و ۴ مقدار چگالی قسمت انحناء لوله مکش ۱/۷۷، ۲/۰۲، ۲/۱۶ و ۲/۲۵ بر کارایی روش، در مجموع ۱۲ آزمایش، بررسی شد. محدوده پارامترهای متغیر و مستقل آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) محدوده پارامترهای متغیر مورد آزمایش

| متغیرهای بی‌بعد | s / D | χ * |
|-----------------|---------|-------------|
| محدوده متغیرها | ۰/۵ - ۱ | ۲/۲۵ - ۱/۷۷ |

* χ : پارامتر بی‌بعد چگالی قسمت انحناء لوله مکش است

Table (2) The ranges of variable parameters

در آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری غلظت جریان خروجی در آزمایش از ظرف‌های استوانه‌ای درب‌دار با حجم ۶۰۰ میلی‌لیتر استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- موارد کلی

در روش هیدروساکش تحقیق شده، حالتی که روزنه‌ها بدون

هیدروساکش در این بخش بررسی می‌شود.

در موارد کلی نتایج و بحث (شکل ۶) بیان شد که اگر فاصله بین روزنه‌ها و قدرت مکش روزنه‌ها به گونه‌ای باشد که ناحیه تاثیر روزنه‌ها از همپوشانی مناسبی برخوردار نباشند، ناحیه بین دو روزنه متوالی با تاخیر در آیشویی مواجه خواهد شد و مانع خروج پیوسته رسوبات شده و نیز از سرعت دفن شدن لوله مکش می‌کاهد.

نتایج آزمایش‌ها برای تاثیر فاصله بین روزنه‌های تحتانی در ۴ مقدار متفاوت چگالی انحناء لوله مکش در شکل ۷ نشان داده است. ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله بین روزنه‌ها کارایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر برای قطر روزنه ۱/۶ سانتی‌متر، وقتی نسبت فاصله بین روزنه‌ها از ۰/۵ به ۱ افزایش می‌یابد کارایی کاهش می‌یابد. در هر ۴ مقدار چگالی انحناء لوله مکش این روند وجود دارد. با توجه به مطالب گفته شده، در بیان علت اثر کاهش فاصله روزنه‌ها بر کارایی می‌توان گفت، اگرچه افزایش فاصله بین روزنه‌ها بر قدرت مکش روزنه‌ها می‌افزاید، اما در محدوده شرایط آزمایش‌های این پژوهش افزایش قدرت مکش به اندازه‌ای نیست که بتواند جبران کننده فاصله باشد، در نتیجه از آیشویی پیوسته رسوبات می‌کاهد و کارایی کاهش می‌یابد.

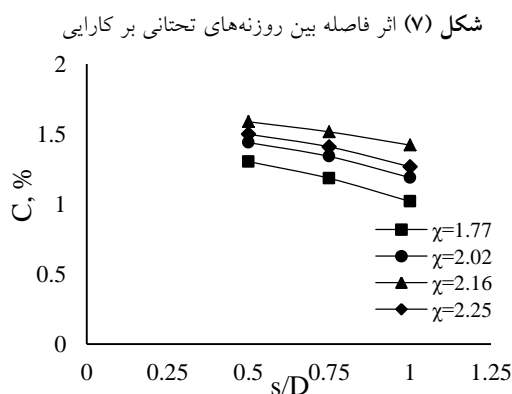


Figure 7. The influence of holes spacing on performance

۳-۲- تاثیر چگالی بی‌بعد انحناء لوله مکش

در آزمایش‌های اولیه مشاهده شد که با شروع مکش رسوبات و ایجاد مخروط آیشویی، لوله مکش انطباق‌پذیری خود با مخروط آیشویی را از دست می‌دهد و بین روزنه‌های تحتانی و سطح

هم با یکدیگر همپوشانی مناسبی نداشته باشند، ناحیه رسوبات بین دو روزنه با تاخیر شسته می‌شود. ناحیه‌ی دارای آیشستگی با تاخیر موجب می‌شود که روزنه‌ها از سطح رسوبات فاصله پیدا کنند، در نتیجه سرعت دفن شدن لوله مکش کاهش و غلظت رسوبات خروجی کاهش می‌یابد. از این‌رو، یکی از مهم‌ترین اهداف این مطالعه تاثیر فاصله بین روزنه‌های تحتانی بر کارایی روش هیدروساکشن است. شکل ۶ به صورت شماتیک پلان و پروفیل ناحیه تاثیر هر روزنه را نشان می‌دهد. در پلان شعاع تاثیر هر روزنه تحتانی و در پروفیل مثلث تاثیر هر روزنه نشان داده شده است (در شکل ۶ برای به تصویر کشیدن واضح‌تر ناحیه‌های تاثیر، فقط وجه پایین دست لوله مکش ترسیم شده است، همچنین در شکل ۶ الف فاصله بین روزنه‌ها نصف فاصله متناظر در شکل ۶ ب است). شکل ۶ الف بیانگر حالتی است که روزنه‌ها فاصله مناسبی از یکدیگر دارند و همپوشانی بین ناحیه تاثیر هر دو روزنه مجاور مناسب است و ناحیه آیشستگی با تاخیر در آن رخ نمی‌دهد و امکان مکش پیوسته رسوبات در آن بیشتر است. شکل ۶ ب نیز حالتی را نشان می‌دهد که تعداد روزنه‌ها کمتر است و بخاطر بیشتر بودن قدرت مکش هر روزنه ناحیه تاثیر هر روزنه شعاع بیشتری دارد، اما همپوشانی بین ناحیه‌های تاثیر مناسب نیست و بین روزنه‌ها، ناحیه دارای آیشستگی با تاخیر بوجود می‌آید که مانع مکش پیوسته رسوبات شده و کارایی روش را کاهش می‌دهد.

۳-۳- تاثیر فاصله بین روزنه‌های تحتانی بر کارایی

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، بخاطر ثابت بودن طولی از لوله که روی آن روزنه‌ها وجود دارد، افزایش فاصله بین روزنه‌ها موجب می‌شود تعداد آن کمتر شود. با ثابت بودن جریان داخل لوله مکش، و فرض ثابت بودن نقش آبگیر در بالادست لوله مکش، با افزایش فاصله بین روزنه‌های تحتانی و کم شدن تعداد آن‌ها جریانی که هر یک از روزنه‌ها مکش می‌کند بیشتر می‌شود. به عبارت بهتر، افزایش فاصله منجر به افزایش قدرت مکش روزنه‌ها نیز می‌شود. اثر متقابل فاصله روزنه‌های تحتانی و قدرت مکش بر یکدیگر و بر کارایی روش

لوله مکش در تامین جریان را، روزنه‌های بالادست و آبنگیر انتهایی جبران می‌کند که این امر موجب کاهش راندمان می‌شود.

۳-۴- تغییرات زمانی غلظت خروجی

تغییرات زمانی غلظت - به‌عنوان شاخص کارایی روش استفاده شده در این پژوهش برای تمام آزمایش‌ها در شکل ۹ ارائه شده است. مشخصه مربوط به هر تست پارامترهای s/D_o و χ است که در هر نمودار از شکل ۹ ارائه شده است. سه نمودار اول مربوط به $s/D_o = 0.5$ ، سه نمودار دوم مربوط به $s/D_o = 0.75$ و سه نمودار سوم مربوط به $s/D_o = 1$ است. محور افقی نمودارها زمان (دقیقه) و محور قائم غلظت حجمی خروجی جریان از سیستم هیدروساکش (درصد) است. ملاحظه می‌شود بیشینه غلظت مشاهده شده در بیشتر آزمایش‌ها در محدوده زمانی ۱-۰ دقیقه هر آزمایش رخ می‌دهد. با در نظر گرفتن محدوده زمانی ۱-۰ دقیقه به‌عنوان محدوده شروع آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که بیشینه غلظت جریان مکش بیشتر در شروع هر آزمایش رخ می‌دهد. علت این امر را می‌توان بیشتر به صاف بودن آب، همچنین تماس بودن روزنه‌های تحتانی با سطح رسوبات در شروع آزمایش نسبت داد. در بخش ۲-۴ توضیح داده شد که قبل از شروع آزمایش لوله مکش روی یک صفحه پلاستیکی گلاس نفوذناپذیر قرار داده می‌شد و در لوله مکش آب صاف جریان داشت، و با خارج کردن صفحه پلاستیکی گلاس، لوله مکش به صورت دفعی روی رسوبات قرار می‌گرفت و مکش رسوبات شروع می‌شد. از این‌رو، صاف بودن آب و زیاد بودن ظرفیت مکش و حمل رسوبات در شروع هر آزمایش از یک طرف و از طرف دیگر تماس بودن روزنه‌ها با سطح رسوبات موجب شد در عمده آزمایش‌ها بیشینه غلظت در ابتدای فرآیند مکش رسوبات رخ دهد. پس از شروع آزمایش غلظت کاهش می‌یابد و به یک نقطه کمینه نسبی می‌رسد، سپس رفته رفته افزایش یافته و بعد از رسیدن به مقدار بیشینه خود دوباره شروع به کاهش می‌کند. شیب شاخه نزولی انتهایی منحنی‌ها غلظت در ابتدا زیاد می‌باشند و رفته رفته از شیب کاسته می‌شود و به مقدار نزدیک صفر می‌رسد. روند گفته شده در عمده منحنی‌ها قابل مشاهده است.

رسوبات فاصله ایجاد می‌شود. هدف از افزایش چگالی بی‌بعد یا به اختصار چگالی انحاء لوله مکش حفظ فاصله بین روزنه‌های تحتانی و سطح رسوبات است.

شکل (۸) تاثیر قطر روزنه‌های تحتانی بر کارایی روش هیدروساکشن در سه فاصله مختلف بین روزنه‌ها

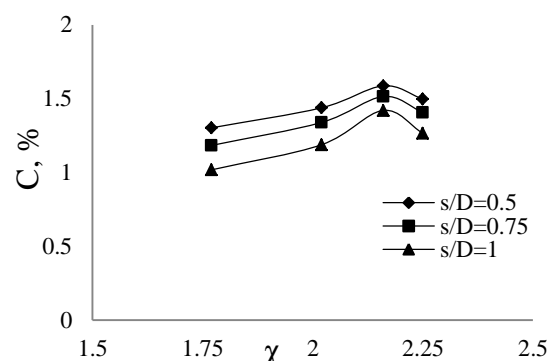


Figure 8. The influence of holes spacing on performance at three spacing

شکل ۸ اثر افزایش چگالی انحاء لوله بر کارایی لوله مکش را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با افزایش چگالی انحاء لوله از ۱/۷۷ به ۲/۱۶ راندمان افزایش می‌یابد و از آن به بعد کاهش می‌یابد. با افزایش چگالی انحاء لوله از ۱/۷۷ به ۲/۱۶، فشار قائم وارد بر انحاء لوله بیشتر می‌شود و فاصله بین روزنه‌های تحتانی و سطح رسوبات در آن ناحیه بهتر حفظ می‌شود. حفظ فاصله مناسب روزنه‌ها با سطح رسوبات در این ناحیه موجب می‌شود روزنه‌ها نقش موثرتری در روند آبشویی ایفا کنند، مکش رسوبات پیوسته شود و در نتیجه مکش رسوبات بیشتر و راندمان بیشتر می‌شود. علت اینکه بعد از $\chi = 2.16$ روند منحنی‌ها نزولی می‌شود را می‌توان کاهش مکش جریان و رسوبات توسط روزنه‌های تحتانی انحاء لوله مکش در اثر فشار زیاد ناشی از افزایش چگالی و در نتیجه افزایش نیروی وزن انحاء لوله بیان کرد. بدین‌صورت که زیاد بودن وزن انحاء لوله مانع از مکش طبیعی جریان و رسوبات به وسیله‌ی روزنه‌های قرار گرفته در این قسمت می‌شود و روزنه‌های این بخش از لوله جریان کمتری نسبت به حالت ۰/۱ مکش می‌کند در نتیجه راندمان افت می‌کند. به عبارت دیگر، در حالتی که چگالی انحاء بیشتر از $\chi = 2.16$ است، دبی و سرعت جریان لوله مکش کاهش نمی‌یابد بلکه سهم روزنه‌های انحاء

شکل (۹) تغییرات زمانی غلظت اندازه‌گیری شده برای آزمایش‌ها

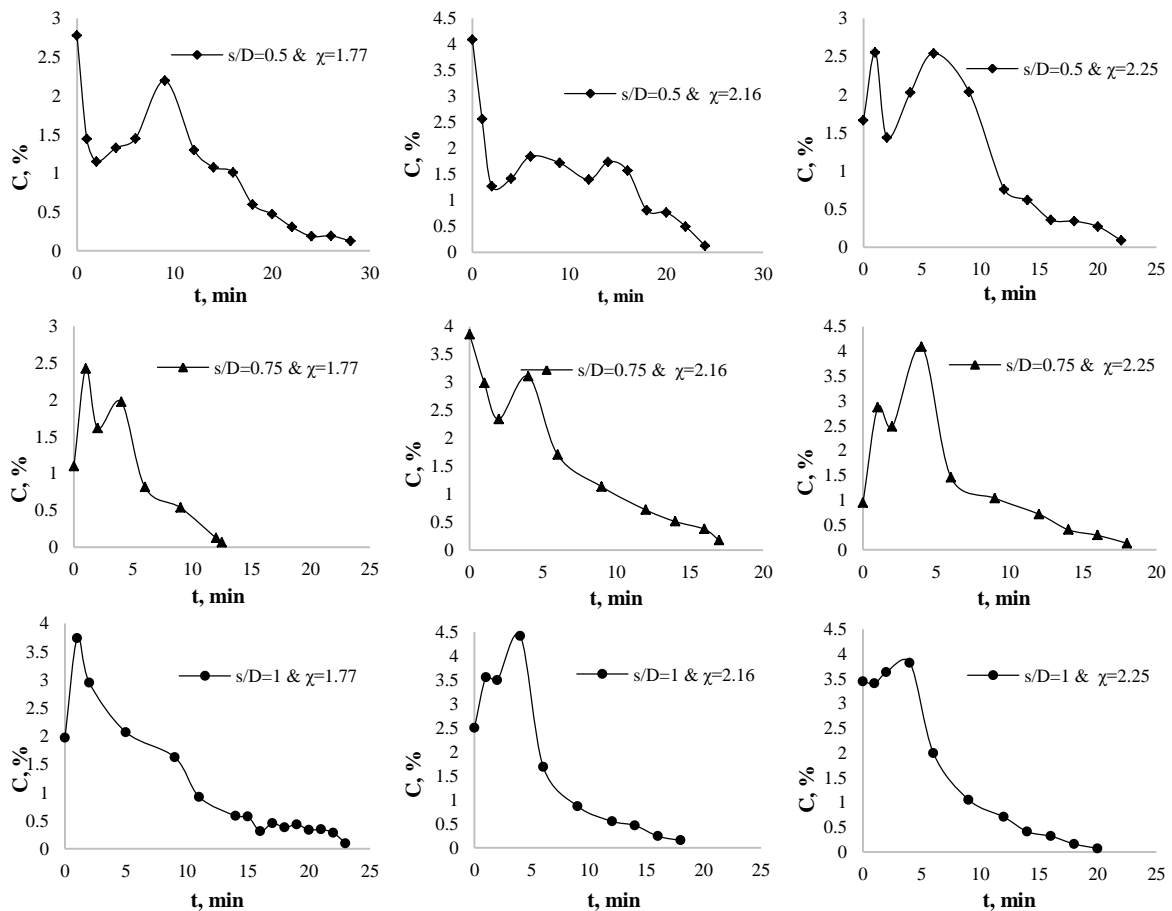


Figure 9. The time series of output concentration

توضیح داده شد. در بررسی علت تغییرات غلظت پس از شروع آزمایش می‌توان چگونگی شکل‌گیری حفره آبشویی مخروطی شکل رسوبات را تحلیل کرد.

شکل حفره مکش توسعه یافته در زیر روزنه‌های تحتانی در پلان تقریباً دایره و در پروفیل مثلث رو به پایین است. شکل حفره مکش تقریباً شبیه یک مخروط کامل رو به پایین است. در زمان آزمایش به تدریج ابعاد مخروط رسوبشویی (عمق، مساحت سطح مقطع و حجم) توسعه می‌یابند. افزایش عمق مخروط رسوبشویی موجب افزایش سطح مقطع مخروط در پلان و در نتیجه حجم مخروط رسوبشویی می‌شود. از آنجا که شیب جداره مخروط رسوبشویی تابع زاویه ایستای ذرات و ثابت است، می‌توان قطر سطح مقطع مخروط رسوبشویی را تابعی از عمق مخروط در نظر گرفت و در پایان رابطه حجم مخروط رسوبشویی و تغییرات حجم بر حسب زمان را به

۳-۵- منحنی بی‌بعد تغییرات زمانی غلظت برای فاصله‌های متفاوت بین روزنه‌ها

در شکل‌های ۱۰ تا ۱۵ منحنی تغییرات زمانی غلظت بی‌بعد و حجم بی‌بعد ارائه شده است. در این شکل‌ها C^* غلظت در هر زمان نسبت به بیشینه آزمایش مورد نظر و V^* حجم حفره آبشویی رسوبات نسبت به بیشینه حجم حفره آبشویی در انتهای آزمایش مورد نظر است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مربوط به حالت $s/D = 2$ ، شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مربوط به حالت $s/D = 3$ و شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مربوط به حالت $s/D = 4$ است.

در بخش قبل نتیجه گرفته شد که اگر محدوده شروع آزمایش را در نظر بگیریم، منحنی تغییرات زمانی غلظت $(C-t)$ عمدتاً یک شاخه صعودی، یک نقطه بیشینه و سپس یک شاخه نزولی دارد. علت بالابودن غلظت در شروع آزمایش در بخش قبل

صورت زیر نشان داد: $s/D = 1$ به ترتیب، $0.22 < t^* < 0.32$ و

رسوبات مکش یافته برای حالت‌های $s/D = 0.75$ و $0.18 < t^* < 0.21$ و محدوده زمانی ۵۰ درصد حجم

رسوبات مکش یافته برای حالت‌های $s/D = 0.75$ و $0.24 < t^* < 0.295$ به ترتیب،

افزایش فاصله بین روزنه‌ها، زمان نسبی رسیدن مخروط رسوبشویی به بیشینه عمق کاهش می‌یابد.

شکل (۱۱) منحنی‌های تغییرات زمانی حجم تجمعی بی‌بعد $s/D = 0.5$

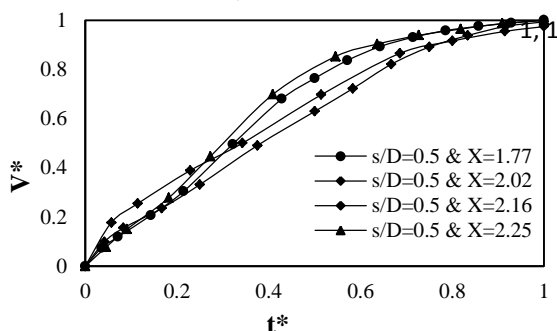


Figure 11. The time series of dimensionless cumulative volume for $s/D = 0.5$

شکل (۱۲) منحنی‌های تغییرات زمانی غلظت بی‌بعد $s/D = 0.75$

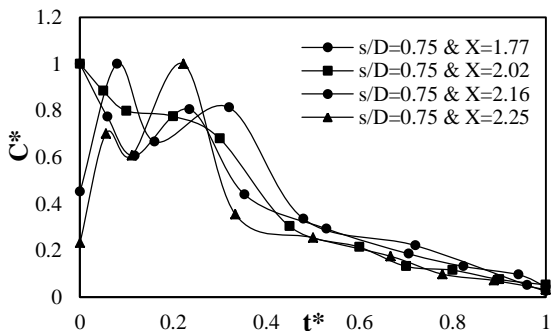


Figure 12. The time series of dimensionless output concentration for $s/D = 0.75$

شکل (۱۳) منحنی‌های تغییرات زمانی حجم تجمعی بی‌بعد

$s/D = 0.75$

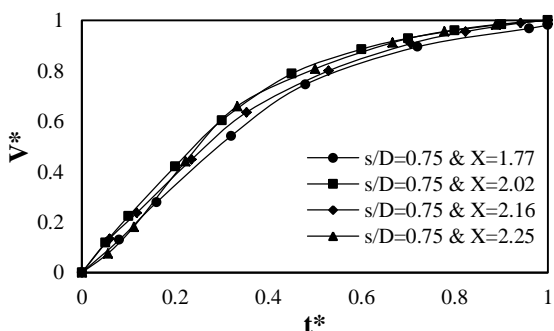


Figure 13. The time series of dimensionless cumulative volume for $s/D = 0.75$

$$V_c \propto d_c^2 h_c \xrightarrow{d_c \propto h_c} V_c \propto h_c^3 \quad (4)$$

$$\frac{\Delta V_c}{\Delta t} \propto \frac{\Delta h_c}{\Delta t} * h_c^2 \quad (5)$$

در روابط فوق V_c و d_c, h_c به ترتیب، عمق، قطر سطح مقطع و حجم مخروط رسوبشویی است. رابطه ۵ نشان می‌دهد،

در یک نسبت ثابت از تغییرات عمق به زمان، هر چه عمق مخروط رسوبشویی بیشتر باشد، تغییرات حجم مخروط به

زمان یا به عبارت دیگر غلظت جریان مکش بیشتر می‌شود. از

این‌رو، با توسعه مخروط رسوبشویی و افزایش عمق، غلظت

جریان مکش یافته به تدریج افزایش می‌یابد، و زمانی که عمق

مخروط رسوبشویی برابر ضخامت رسوبات می‌شود غلظت به

مقدار بیشینه خود می‌رسد. پس از اینکه عمق مخروط با

ضخامت رسوبات برابر شد توسعه عمقی مخروط پایان یافته و

منحنی غلظت نزولی می‌شود، و بخاطر توسعه عرضی مخروط

همچنان رسوبات شسته می‌شوند تا اینکه به تدریج رسوبات از

شعاع تاثیر روزنه‌ها خارج شده، توسعه عرضی متوقف شده و

غلظت صفر می‌شود. ساکورای و هاگوشینیز بیان کردند که

غلظت جریان خروجی تا زمان رسیدن لوله مکش به کف

افزایش می‌یابد و از آن به بعد کاهش می‌یابد [۱۳، ۱۴].

شکل (۱۰) منحنی‌های تغییرات زمانی غلظت بی‌بعد $s/D = 0.5$

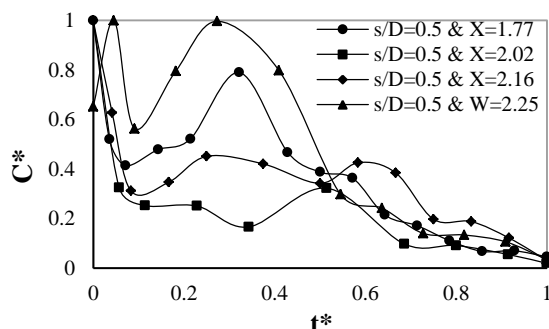


Figure 10. The time series of dimensionless output concentration for $s/D = 0.5$

در حالت $s/D = 2$ محدوده زمانی رسیدن مخروط رسوبشویی به بیشینه عمق $0.25 < t^* < 0.51$ است و ۵۰

درصد حجم رسوبات در محدوده زمانی $0.3 < t^* < 0.38$ مکش یافته است. همچنین محدوده زمانی رسیدن مخروط

رسوبشویی به بیشینه عمق برای حالت‌های $s/D = 0.75$ و

روش باشد. از آنجا که روش هیدروساکشن لوله مکش یک روش جابه‌جا شونده است و می‌تواند در فواصل مختلف عرض و طول مخزن سدها به کار رود،

شکل (۱۶) نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم متناظر طول روزنه‌دار لوله مکش $s/D = 2$

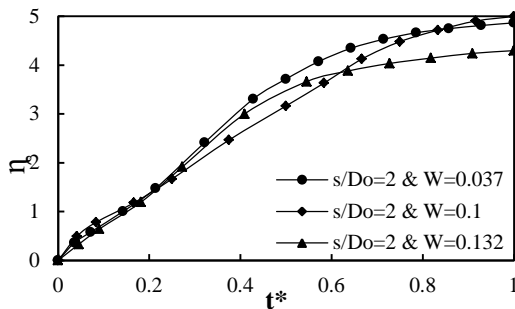


Figure 16. The ratio of flushing cone volume to equivalent of l_0 for $s/D = 2$

شکل (۱۷) نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم متناظر طول روزنه‌دار لوله مکش $s/D = 3$

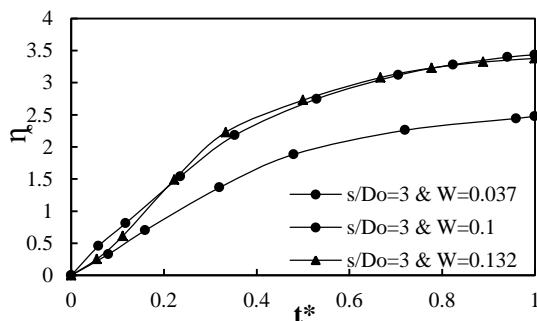


Figure 17. The ratio of flushing cone volume to equivalent of l_0 for $s/D = 3$

شکل (۱۸) نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم متناظر طول روزنه‌دار لوله مکش $s/D = 4$

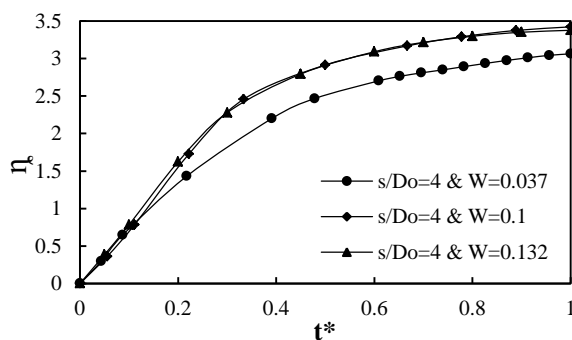


Figure 18. The ratio of flushing cone volume to equivalent of l_0 for $s/D = 4$

شکل (۱۴) منحنی‌های تغییرات زمانی غلظت بی‌بعد $s/D = 1$

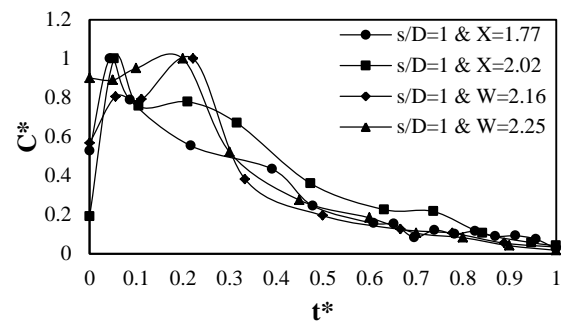


Figure 14. The time series of dimensionless output concentration for $s/D = 1$

شکل (۱۵) منحنی‌های تغییرات زمانی حجم تجمعی بی‌بعد $s/D = 1$

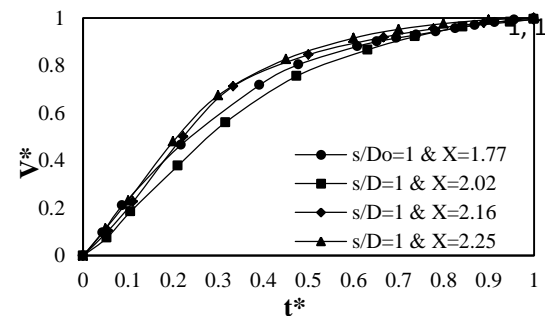


Figure 15. The time series of dimensionless cumulative volume for $s/D = 1$

۳-۶- تغییرات زمانی نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم

متناظر طول روزنه‌دار لوله مکش η

بر اساس جدول ۱ و قطر لوله مکش (۰/۶۱ متر)، طول قسمت روزنه‌دار لوله مکش ۱/۲ متر است که از ۰/۶ متری بالادست تا ۰/۶ متری پایین‌دست انحناء به موازات هم قرار گرفته‌اند. مستطیل محیط بر قسمت روزنه‌دار لوله مکش دارای طول ۰/۶ متر و عرض ۰/۲ است. عمق رسوبات نیز برابر ۰/۳۵ است. این‌رو، حجم رسوباتی که زیر روزنه‌های تحتانی انباشته شده‌اند ۰/۰۴۲ متر مکعب (۰/۳۵×۰/۲×۰/۶) است. نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم بالا برای سه حالت $s/D_0 = 2$ ، $s/D_0 = 3$ و $s/D_0 = 4$ در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود در حالت $s/D_0 = 2$ نسبت حجم‌ها، η ، تا ۵ برابر می‌رسد. این مقدار برای حالت $s/D_0 = 3$ تا ۳/۷ برابر و برای حالت $s/D_0 = 4$ تا حدود ۳/۴ برابر می‌باشد. نسبت حجم مخروط رسوبشویی به حجم محل قرارگیری لوله مکش به نوعی می‌تواند بیانگر کارایی

جدول (۳) مقایسه شرایط و نتایج این مطالعه با مطالعات گذشته.

| محقق | ابعاد فلوم، m (طول، عرض و ارتفاع) | قطر لوله مکش، mm | محدوده دبی، L/s | قطر متوسط ذرات رسوب، mm | آرایش روزنه‌های تحتانی | قطر روزنه تحتانی و جانبی، cm | غلظت متوسط حجمی خروجی، % |
|-----------|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|--|------------------------------|--------------------------|
| [۱۳] | ۱/۳، ۲/۵، ۴/۵ | ۶۰/۵ | ۰/۷۹-۴/۷۹ | ۰/۴ | ۵ روزنه در انحناء | ۲ و ۳ | ≈ ۴ |
| [16] | ۱/۳، ۲/۵، ۴/۵ | ۶۰/۵ | ۰/۷۹-۴/۷۹ | ۰/۴ | ۳ روزنه در انحناء، امتداد به پایین دست | ۲ و ۳ | ۲/۹۵ |
| این تحقیق | ۱/۵، ۱/۴، ۷/۱ | ۶۱ | ۵/۳۳ | ۰/۲۴ | امتداد روزنه‌ها به بالادست و پایین دست | ۱ و ۱/۶ | ۱/۳۸ |

Table 3. Comparison of conditions and results of this research with previous researches

۳-۷- مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات پیشین

در جدول ۳ نتایج این مطالعه با مطالعات گذشته مقایسه شده است. نتایج مربوط به شرایط مشابه سه مطالعه در جدول ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که قطر لوله مکش و قطر روزنه‌های تحتانی و جانبی در همه یکسان است. تفاوت در محدوده دبی، قطر متوسط ذرات رسوب و آرایش روزنه‌های تحتانی است. مقایسه نتایج ساکورای و هاگوشی و میاکاوا و همکاران نشان می‌دهد، با توجه به ثابت بودن محدوده دبی و قطر متوسط ذرات رسوب، آرایش روزنه‌های تحتانی نقش تعیین کننده‌ای در غلظت متوسط رسوبات خروجی ایفا می‌کند. در آزمایش‌های ساکورای و هاگوشی تعداد روزنه‌های تحتانی ۵ عدد و تنها در انحناء لوله مکش مشاهده شد در حالی که در آزمایش‌های میاکاوا روزنه‌های تحتانی علاوه بر انحناء لوله مکش به سمت پایین دست امتداد داده شده‌اند. این امر موجب کاهش کارایی این روش شده است [۱۳، ۱۶].

در این پژوهش نیز روزنه‌ها علاوه بر پایین دست به سمت بالادست انحناء لوله مکش امتداد داده شده‌اند و موجب شده است کارایی کاهش بیشتری نشان دهد. با مقایسه این سه پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که امتداد روزنه‌ها به سمت بالادست و پایین دست از کارایی این روش کم می‌کند.

۴- نتیجه گیری

مطالعه حاضر روش هیدروساکش لوله مکش دفن‌شونده را به

صورت آزمایشگاهی بررسی می‌کند. این پژوهش، مشخصات هندسی اجزای لوله مکش بر غلظت خروجی از لوله مکش در حالتی است که روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و پایین دست انحناء لوله مکش امتداد یافته‌اند را بررسی می‌کند. از متغیرهای مشخصات هندسی فاصله بین روزنه‌ها در این پژوهش بررسی شده است. همچنین اثر افزایش چگالی انحناء لوله مکش بر کارایی روش بررسی شد. آزمایش‌ها بر لوله مکش با قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر، قطر روزنه تحتانی ۱۶ میلی‌متر، سه نسبت فاصله بین روزنه‌ها به قطر روزنه تحتانی ۲، ۳ و ۴ و مقدار چگالی انحناء لوله ۱/۷۷، ۲/۰۲، ۲/۱۶ و ۲/۲۵ انجام شد. نتایج نشان داد،

۱) کاهش فاصله بین روزنه‌ها از ۴ برابر قطر روزنه به ۲ برابر قطر روزنه موجب افزایش راندمان روش می‌شود. میزان افزایش راندمان گفته شده برای $\chi = 2.16 = 12\%$ درصد است. در شرایط این پژوهش، افزایش قدرت مکش هر روزنه با کاهش تعداد آن‌ها در طول ثابت- قادر به جبران فاصله بین روزنه‌ها نبوده و از کارایی روش کاسته است.

۲) چگالی قسمت انحناء لوله مکش اثر قابل ملاحظه‌ای بر کارایی روش دارد. افزایش چگالی قسمت انحناء لوله مکش از ۱/۷۷ به ۲/۱۶ اثر افزایشی و از ۲/۱۶ به ۲/۲۵ اثر کاهش‌ی بر کارایی روش دارد. در شرایط آزمایش‌های این پژوهش روش هیدروساکش برای مقدار چگالی قسمت انحناء $\chi = 2.16$ بیشترین کارایی را دارا می‌باشد.

[۹] خسرونژاد، ع.، "مطالعه و ارائه راهکارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش رسوبزدائی هیدرو- ساکشن برای رسوبزدائی مخازن سدهای کشور". طرح پژوهشی وزارت نیرو به شماره ۸۵۱۰۰. تهران، ۱۳۸۷.

[10] Sakurai, T., Kashiwai, J. and Kubo, Y., "Sediment discharge facility using sheet and pipe", *Civil Engineering Journal*, Vol.48, No.12, 2006, pp.30-35 (in Japanese)

[11] Sakurai, T. & Hakoishi, N. "Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs, Dams and Reservoirs under Changing Challenges 79th Annual Meeting of ICOLD 2011, Switzerland, 2011, pp.371-378.

[12] Sakurai T. & Hakoishi N., "Hydraulic Characteristics of the Burrowing Type Sediment Removal Suction Pipe", *International Symposium on Dams for a Changing World*, Kyoto, Japan, 2012.

[13] Katayama, H. and Tajima, Y., "Pipeline Sediment Transportation Using Hydro Suction Sediment Removal Systems". *Japanese Journal of Multiphase Flow*, Vol. 27, No. 3, 2013, pp. 282-289.

[14] Miyakawa, M., Hakoishi, N., and Sakurai T., "Development of the Sediment Removal Suction Pipe By Laboratory and Field Experiments, *International Symposium On Dams In A Global Environmental Challenges*, June 2014.

[15] Pishgar, R., Ayyoubzadeh, S.A., and Ghodsian, M. (2015), *The Effect Of Bottom Holes's Spacing And Diameter Of Suction Pipe On The Efficiency Of Burrowing-Type Sediment Removal Method*, *Proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June - 3 July, The Hague, the Netherlands*.

[۱۶] پیشگر، ر.، ایوبزاده، س.ع. و صانعی، م. (۱۳۹۳)، تعیین فاکتور اصطکاک و زبری نسبی معادل لوله‌های انعطاف‌پذیر شفاف رایج در کشور با استفاده از روش تعیین افت فشار، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز، ۲۱-۲۲ آبان‌ماه.

[۱۷] پیشگر، ر. (۱۳۹۴)، بررسی اثر مشخصه‌های هندسی لوله مکش بر راندمان تخلیه رسوب از مخازن سدها به روش هیدروساکشن، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳) عمدتاً بیشینه غلظت جریان خروجی در شروع آزمایش رخ می‌دهد و پس از شروع آزمایش منحنی تغییرات زمانی غلظت یک شاخ صعودی، یک نقطه ماکزیم و یک شاخه نزولی دارد. ۴) پس از شروع آزمایش، غلظت جریان مکش تا رسیدن لوله مکش به کف رفته رفته افزایش و از آن به بعد کاهش می‌یابد. ۵) نسبت حجمی که مخروط آبخویی ایجاد می‌کند به حجم رسوبات انباشته شده در محل قرارگیری لوله مکش برای فاصله بین روزنه‌های $s/D = 2$ بیش از فاصله‌های دیگر بوده و مقدار آن، در شرایط این پژوهش، به ۵ هم می‌رسد. این نسبت حجم‌ها به نوعی بیانگر شعاع تاثیر لوله مکش و عملکرد مناسب روش است.

References

۵- مراجع

- [۱] ایمانشعار، ف.، حسنزاده، ی.، اعلمی، م. ت. و داندنمه‌مهر، ع.، "تحلیل عدم قطعیت در تعیین جرم مخصوص رسوبات ته‌نشین شده در مخازن سدها"، نشریه آب و خاک، جلد ۲۳ شماره ۱، ۱۳۹۲، صفحه‌های ۳۷ - ۲۷.
- [2] White, R., "Evacuation of Sediments from Reservoirs", *Thomas Telford Publishing, London*, 2001, p. 280.
- [3] Fan, J., "Turbid Density Currents in Reservoirs," *Water International*, 11 (3): 1986, 107-116.
- [4] Eftekharzadeh, S., "Sediment bypass system for impounding reservoirs", *PhD Thesis, Dept. of Civ. Eng. And Eng. Mech., Univ. of Arizona, Tucson, Ariz*, 1987.
- [5] Hotchkiss B. H. and Huang X. "Hydro suction sediment-removal systems (HSRS): Principles and field test", *Journal of Hydraulic Engineering*, June 1995, pp.479-489.
- [6] Morris, G.L. and Fan, J., *Reservoir sedimentation handbook*, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [7] *Water News*, (1993), *Water current*, Vol. 25, No. 3, p. 3
- [8] Okano, M., Matano, F., Sekimoto, T. and Katayama, H., "Experimental Study on the Hydraulic Characteristics of the Multi-Hole Suction Pipe", *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 48, 2004, 1393-1398.

Experimental Investigation of the suction pipe geometrical and mechanical characteristics effect on the sediment removing efficiency of hydrosuction method

R. Pishgar¹, S.A. Ayyoubzadeh^{2*}, M. Saneie³, M. Ghodsian⁴

1- PhD candidate of Water Structures Engineering, Water Structures Engineering Department, Tarbiat Modares University

2- Associate Prof. of Water Structures Engineering Department, Tarbiat Modares University

3- Associate Prof. of Rivers and Coastlines, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

4- Prof. Hydraulic Engineering, Hydraulic Engineering Department, Tarbiat Modares University

*ayyoub@modares.ac.ir

Abstract:

The purpose of constructing and using a dam reservoir is storage and conservation of water. Sedimentation declines this object and can arise many problems such as reduction in capacity for flow regulation, reservoir lifetime and flood control volume, blocking intakes in reservoirs and damage of tunnels and turbines, and many other types of sediment-related problems can occur both upstream and downstream of dams. Several techniques have been proposed to prevent entrance of sediment to the reservoirs and removing deposited sediment from reservoirs. However, actual observations of world reservoirs sedimentation rates have revealed that the problem still remains. The "burrowing-type sediment removal suction pipe method" is widely considered among the new methods introduced in the last decade. This study investigated the suction pipe geometrical and mechanical characteristics on the efficiency of the burrowing-type sediment removal suction pipe method. The the suction pipe geometrical and mechanical characteristics of this experimental study includes the bottom holes spacing ratio and suction pipe bends part's density. The suction pipe with different density at its bend part, used as a new technique conserving distance between bottom holes and sediment. The average concentration of suction flow during the experiment time known as the efficiency of the Hydrosuction sediment removal method. In this research, A series of experiments are carried out to reveal the effect of the bottom holes spacing and density of suction pipe bend part of the Hydrosuction method efficiency. The suction pipe used in this research is a flexible PVC pipe with an internal diameter of 61 mm. The ratio of bottom hole diameter to pipe diameter is 0.25, and the spacing ratio between bottom holes varies from 0.5 to 1. This study, also, used a layout of holes that the bottom holes extended both the upstream and downstream of the pipe bend part. This research also investigates the time series of suction flow concentration and suction cone volume. The results showed that the decrease of the bottom holes spacing ratio from 1 to 0.5 increases the efficiency of the method and the suction flow has its maximum average concentration (efficiency) at spacing ratio 2, with an amount of 1.58 %. Also, the density of pipe bend part has a remarkable effect on Hydrosuction method efficiency. Examination of pipe bend part density showed tha, with the increase of density of bend part from 1.77 to 2.16, the efficiency increases and it decreases just the pipe bend part density's dimensionless parameter have greater value than 2.16. Suction flow concentration showed that, mostly, the maximum concentration occurs at the beginning of the test and then the concentration curve has an ascending branch, a maximum point and descending branch, respectively. After commencing the test, the suction flow concentration has a rapidly increasing trend untill the pipe reaches to the level of reservoir bottom, then the concentration decreases gradually. Volume ratio of flushing cone to sediment filled under suction pipe location has its maximum value at holes spacing ratio of 2 that its value, in this research, reaches to 5.

Keywords: Reservoirs sedimentation, sediment removal, hydrosuction, suction pipe, efficiency.