

صلى الله عليه وسلم



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر سرعت در لوله مکش بهینه بر راندمان تخلیه رسوب روش هیدروساکشن با استفاده از مدل

فیزیکی

علی مقصودلو نژاد

اساتید راهنما :

دکتر احمد احمدی

دکتر مجتبی صانعی

استاد مشاور :

دکتر صمد امامقلی زاده

شهریور ۱۳۹۴

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی مقصودلو نژاد

تحت عنوان: بررسی تاثیر سرعت در لوله مکش بهینه بر راندمان تخلیه رسوب روش

هیدروساکشن با استفاده از مدل فیزیکی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استادان مشاور	امضاء	استادان راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر صمد امامقلی زاده		نام و نام خانوادگی: دکتر احمد احمدی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی: دکتر مجتبی صانعی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	استادان داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر گلی		نام و نام خانوادگی : دکتر بهناز دهرآزما
			نام و نام خانوادگی : دکتر سعید گلپایان
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیر و تشکر

از استادان گرامی جناب آقای دکتر احمدی، جناب آقای دکتر صانعی و جناب آقای دکتر امامقلی زاده که در تمام مراحل مطالعات و انجام آزمایش‌های با راهنمایی‌های خود سبب کامل تر شدن مطالعات و طرح اینجانب شدند کمال تشکر را دارم.

در اینجا لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر ایوب زاده، جناب آقای مهندس پیشگر و گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس که در مراحل تجهیز آزمایشگاه و انجام آزمایش‌ها با راهنمایی و کمک‌هایشان موجبات پیشبرد این طرح را فراهم نمودند کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب علی مقصودلو نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تاثیر سرعت در لوله مکش بهینه بر راندمان تخلیه رسوب روش هیدرو ساکشن با استفاده از مدل فیزیکی تحت راهنمایی آقای دکتر احمد احمدی و آقای دکتر مجتبی صانعی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

امضای دانشجو

تاریخ

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

در جهان امروز عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کره زمین و بهره برداری بی رویه از منابع محیط زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر خاص خود را در رابطه با منابع آب برجای گذارده است. باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد، تنها کاری که می توان کرد مدیریت منابع آب موجود و بهبود روش های استفاده از آن است. سد سازی از هزاران سال قبل فنی شناخته شده در مدیریت منابع آب بوده است. در چند دهه اخیر هرچند سد سازی از نظر کمی روند افزایشی داشته، ولی معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهم ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب متروکه شده اند. روش های متنوع و زیادی از جمله حفاری، تخلیه هیدرولیکی، سیستم کنارگذر و غیره برای رسوب زدایی از مخازن سدها وجود دارد. استفاده از این روش ها محدود و کنترل مقدار دقیق کیفیت و کمیت رسوب تخلیه شده دشوار بوده و باعث کاهش حجم ذخیره مخزن می گردند. همچنین به دلیل مشکلات زیست محیطی و محدودیت های مالی تخلیه کامل رسوب مخازن غیر ضروری بوده و با رسوب زدایی قسمت های حیاتی سد از جمله آبگیرها می توان به بهره برداری از آن ادامه داد.

هیدروساکشن یکی از تکنیک های موثر برای رفع مشکل رسوب گذاری در مخازن سدها می باشد، که تاثیر موضعی داشته و معمولاً برای خارج کردن رسوبات نهشته شده اطراف ورودی آبگیر نیروگاه بکار می رود. هیدروساکشن خود شامل مدل های متفاوتی می باشد که یکی از جدید ترین آنها " روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات " می باشد. در این تحقیق تاثیر تغییرات سرعت در لوله، اندازه رسوب و درصد بازشدگی آبگیر بر راندمان تخلیه رسوب روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو قطر لوله مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی نتایج نشان داد که در یک رسوب با اندازه مشخص با افزایش سرعت در لوله راندمان تخلیه رسوب خروجی افزایش می یابد و در یک سرعت ثابت با بزرگ تر شدن قطر اندازه رسوب راندمان تخلیه

رسوب خروجی کاهش می‌یابد. همچنین در یک سرعت ثابت و در یک اندازه رسوب مشخص هرچه ورودی آبگیر لوله بسته تر باشد راندمان رسوب شویی افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش در دو لوله $6/1$ و $4/7$ سانتی متری با سرعت و اندازه رسوب‌های ثابت نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله راندمان افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: هیدروساکشن، رسوب زدایی، تاثیر سرعت، لوله مکش

لیست مقالات

مقصودلونژاد ع، احمدی ا، صانعی م، امامقلی زاده ص، (۱۳۹۴) "تاثیر سرعت در لوله مکش بر راندمان روش هیدروساکشن"، کنفرانس ملی معماری، عمران و توسعه شهری، بابل.

فهرست مطالب

۱-۱	فصل اول : کلیات	۱
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	کاربرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات	۳
۳-۱	طرح مسئله	۴
۴-۱	ساختار پایان نامه	۵
۲-۲	فصل دوم: روش‌های رسوب‌زدایی مخازن (مطالعات و تاریخچه)	۷
۱-۲	مقدمه	۸
۲-۲	بررسی‌های زیست‌محیطی رسوب‌زدایی مخزن	۱۷
۱-۲-۲	اثرات نهشته شدن رسوب	۱۸
۱-۲-۲-۱	اثرات بالادست سد (شامل مخزن و بالادست آن)	۱۸
۲-۲-۲-۱	اثرات پایین‌دست سد	۲۲
۲-۲-۲-۳	اثرات درون مخزن سد	۲۳
۲-۲-۲	تأثیر اجتماعی - زیست محیطی مواد لایروبی شده	۲۶
۲-۲-۳	نکاتی در خصوص بهبود کیفی آب در خلال رسوب‌زدایی	۲۷
۳-۲	روش‌های مدیریت رسوب	۲۹
۱-۳-۲	رسوب‌زدایی با استفاده از تونل کنارگذر	۳۰
۲-۳-۲	احداث کنارگذر لوله‌ای	۳۰
۳-۳-۲	استفاده از لایروب	۳۱

۳۱	 استفاده از لایروب هیدرولیکی (پمپ لایروبی)
۳۳	 استفاده از لایروب مکانیکی
۳۳	 تخلیه بخشی از رسوب در زمان سیلاب
۳۴	 تخلیه رسوب ریزدانه با جریان‌های چگال
۳۴	 رسوب‌زدایی هیدرولیکی
۳۵	 رسوب‌زدایی هیدرولیکی تحت فشار
۳۶	 رسوب‌زدایی هیدرولیکی آزاد
۳۷	 روش تخلیه هیدرولیکی HSRS (هیدروساکشن)
۳۷	 حالت لایروبی
۳۸	 حالت کنارگذر
۳۹	 مزایا، معایب و کاربردهای روش تخلیه تحتانی رسوبات
۴۰	 کاربردها:
۴۰	 ۴-۲ مروری بر کارهای انجام شده
۵۱	 فصل سوم : مواد و روش‌ها
۵۲	 ۱-۳ مقدمه
۵۲	 ۲-۳ مدل آزمایشگاهی
۵۲	 ۱-۲-۳ سیستم تامین آب
۵۲	 ۲-۲-۳ مخزن اصلی
۵۴	 ۳-۲-۳ رسوب
۵۵	 ۴-۲-۳ سرریز مثلثی
۵۶	 ۱-۴-۲-۳ واسنجی سرریز

۵۶	۵-۲-۳ حوضچه تله اندازی رسوب
۵۷	۶-۲-۳ مشخصات لوله مکش بهینه
۵۸	۳-۳ روند انجام آزمایش ها
۵۹	۴-۳ زمان تعادل
۶۰	۵-۳ مشکلات انجام آزمایش ها
۶۲	۴- فصل چهارم : نتایج و تحلیل داده ها
۶۳	۴-۱ آنالیز ابعادی
۶۷	۴-۲ نتایج آزمایش ها
۶۷	۴-۳ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان روش هیدروساکشن
۶۸	۴-۳-۱ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر
۶۹	۴-۳-۲ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر
۷۰	۴-۳-۳ بررسی اثر تغییرات مقیاس در دو لوله با قطرهای ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متر
۷۲	۴-۴ تاثیر اختلاف هد بالادست و پایین دست لوله بر راندمان روش هیدروساکشن
۷۳	۴-۴-۱ تاثیر اختلاف هد بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر
۷۳	۴-۴-۲ تاثیر اختلاف هد بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر
۷۴	۴-۵ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان روش هیدروساکشن
۷۴	۴-۵-۱ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر
۷۵	۴-۵-۲ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر
۷۶	۴-۵-۳ بررسی اثر تغییرات مقیاس در دو لوله با قطرهای ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متر

۶-۴	تاثیر وضعیت آبگیر بر راندمان روش هیدروساکشن	۷۹
۷-۴	تحلیل روند آزمایش بر اساس غلظت‌های لحظه‌ای	۸۲
۸-۴	مخروط آبشویی	۸۳
۹-۴	محاسبه رابطه غلظت متوسط تخلیه رسوب	۸۵
۱۰-۴	آنالیز حساسیت	۸۸
۵- فصل پنجم :	نتیجه گیری و پیشنهادات	۸۹
۱-۵	مقدمه	۹۰
۲-۵	پیشنهادهای	۹۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱:	نحوه عملکرد مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات	۴
شکل ۱-۲:	الف) نمایی از بند قدیمی امیر ب) نمایی از بند قدیمی بهمن	۱۲
شکل ۲-۲:	نمایی از بالادست سد سفیدرود که انباشته شده از رسوب	۱۳
شکل ۳-۲:	نمایش روش کنارگذر لوله‌ای	۳۱
شکل ۴-۲:	نمایش استفاده از پمپ لایروبی	۳۲
شکل ۵-۲:	چگونگی تشکیل جریان غلیظ و حرکت آن به درون مخزن	۳۴
شکل ۶-۲:	نحوه عمل رسوب زدایی آزاد	۳۶
شکل ۷-۲:	حذف رسوب به روش لایروبی هیدروساکشن،	۳۸

- شکل ۲-۸: حذف رسوب به روش کنارگذر هیدروساکشن ۳۸
- شکل ۲-۹: سیستم مورد استفاده در آزمایش‌های ۴۲
- شکل ۲-۱۰: آبیگرهای مدفون در حالت ۲ آبیگره ۴۴
- شکل ۲-۱۱: حالت ۴ آبیگره ۴۴
- شکل ۲-۱۲: نحوه عملکرد مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات ۴۵
- شکل ۲-۱۳: لوله مدل کوچک مقیاس ۴۶
- شکل ۲-۱۴: نمای شماتیک Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe با گسترش
حفره‌ها در بالا دست ۴۷
- شکل ۲-۱۵: الف) لوله مورد استفاده در تحقیق میدانی ب) لوله پس از مکش ۴۸
- شکل ۲-۱۶: حالت‌های مختلف اندازه و فاصله سوراخ‌ها ۴۹
- شکل ۳-۱: شمای کلی مدل آزمایشگاهی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس
..... ۵۲
- شکل ۳-۲: طرح شماتیک مدل فیزیکی ۵۳
- شکل ۳-۳: سرریز مثلثی ۶۰ درجه ۵۵
- شکل ۳-۴: حوضچه تله اندازی رسوب ۵۷
- شکل ۳-۵: لوله مکش با قطر ۶/۱ سانتی‌متری ۵۸
- شکل ۳-۶: آرایش سوراخ‌ها در قسمت خم لوله ۵۸
- شکل ۳-۷: رسوب بیل زده شده ۶۱
- شکل ۴-۱: پارامترهای تاثیرگذار در لوله ۶۳
- شکل ۴-۲: وضعیت آبیگر ۸۰
- شکل ۴-۳: شکل مخروط آبشویی با فرو رفتن لوله در رسوب ۸۳
- شکل ۴-۴: شکل مخروط آبشویی در مخزن ۸۴

شکل ۴-۵: شکل مخروط آبشویی در نرم افزار SURFER ۸۴

فهرست جداول

جدول ۱-۲: وضعیت منابع آب تجدید شونده در مناطق مختلف جهان (تا سال ۲۰۰۴).....	۱۴
جدول ۲-۲: نرخ رسوب گذاری در مخازن سدها در مناطق مختلف جهان (1975).....	۱۵
جدول ۳-۲: تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان.....	۱۵
جدول ۴-۲: وضعیت رسوب در تعدادی از سدهای مخزنی ایران.....	۱۷
جدول ۵-۲: اثرات زیست محیطی ناشی از رسوبات سد.....	۲۵
جدول ۱-۴: مقادیر پارامترهای بدون بعد π_8 و π_9 و π_{10}	۶۶
جدول ۲-۴: بررسی خطا و رگرسیون خطی و غیر خطی ترکیب پارامترهای بی بعد.....	۸۶

فهرست نمودارها

نمودار ۱-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50}=1/15$ میلی متر.....	۵۴
نمودار ۲-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50}=0.24$ میلی متر.....	۵۴
نمودار ۳-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50}=0.6$ میلی متر.....	۵۵
نمودار ۴-۳: واسنجی سرریز مثلثی ۶۰ درجه.....	۵۶
نمودار ۱-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در لوله ۴/۷ سانتی متری.....	۶۸
نمودار ۲-۴: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد C/ρ برای تغییرات سرعت در لوله ۴/۷ سانتی متری.....	۶۸
نمودار ۳-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در لوله ۶/۱ سانتی متری.....	۶۹

نمودار ۴-۴: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/ρ برای تغییرات سرعت در لوله

۶/۱ سانتی متری ۷۰

نمودار ۵-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری در رسوب

با $D_{50} = 0/24$ میلی متر ۷۱

نمودار ۶-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری در رسوب

با $D_{50} = 0/6$ میلی متر ۷۱

نمودار ۷-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ در رسوب با $D_{50} =$

1/15 میلی متر ۷۲

نمودار ۸-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اختلاف هد در لوله ۶/۱ سانتی متری ۷۳

نمودار ۹-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اختلاف هد در لوله ۴/۷ سانتی متری ۷۳

نمودار ۱۰-۴: تغییرات غلظت متوسط برای ۳ اندازه رسوب در لوله ۴/۷ سانتی متری ۷۴

نمودار ۱۱-۴: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/ρ برای تغییرات اندازه رسوب

در لوله ۴/۷ سانتی متری ۷۵

نمودار ۱۲-۴: نمودار تغییرات غلظت متوسط برای ۳ اندازه رسوب در لوله ۶/۱ سانتی متری ۷۵

نمودار ۱۳-۴: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/ρ برای تغییرات اندازه رسوب

در لوله ۶/۱ سانتی متری ۷۶

نمودار ۱۴-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت $2/16$ m/s ۷۷

نمودار ۱۵-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت $1/87$ m/s ۷۷

نمودار ۱۶-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت $1/75$ m/s ۷۸

نمودار ۱۷-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت $1/3$ m/s ۷۸

نمودار ۱۸-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت $0/8$ m/s ۷۹

نمودار ۱۹-۴: تغییرات غلظت برای حالت های مختلف آبگیر در لوله ۴/۷ سانتی متری ۸۱

نمودار ۴-۲۰: روند تغییرات عدد بی بعد Ag/D^2 در برابر عدد بی بعد c/ρ برای حالت‌های مختلف آبگیر

در لوله ۴/۷ سانتی‌متری در ۵ سرعت ۲/۱۶، ۱/۸۷، ۱/۷۵، ۱/۳، ۰٫۸ ۸۱

نمودار ۴-۲۱: روند تغییرات غلظت لحظه ای در طول زمان آزمایش‌های رسوب با $D_{50}=0/24$ میلی‌متر در

لوله ۶/۱ سانتی ۸۲

نمودار ۴-۲۲: خط برازش ۴۵ درجه بین $c\rho$ اندازه گیری شده و $c\rho$ پیش بینی شده ۸۷

نمودار ۴-۲۳: آنالیز حساسیت پارامترهای تاثیر گذار ۸۸

۱- فصل اول : کلیات

۱-۱ مقدمه

در جهان امروز عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کره زمین و بهره برداری بی رویه از منابع محیط زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر خاص خود را در رابطه با منابع آب برجای گذارده است. بطوریکه مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب از دیدگاه سازمان ملل متحد پس از مشکل جمعیت به عنوان دومین مسئله اصلی جهان شناخته شده است. باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد، تنها کاری که می توان کرد مدیریت منابع آب موجود و بهبود روش های استفاده از آن است (بیران و همکاران، ۱۳۸۶).

سد سازی از هزاران سال قبل فنی شناخته شده در مدیریت منابع آب بوده است. صنعت سد سازی به عنوان یکی از قدیمی ترین و پیچیده ترین فعالیت های ساختمانی همواره مد نظر جوامع مختلف بوده و از نظر اقتصادی نیز یکی از منابع مهم اقتصادی هر کشور و منطقه محسوب می شده است. طراحی و اجرای سدها به گونه ای است که اگر عواملی مثل رسوب گذاری مخزن و غیره وجود نداشته باشد، محدودیتی در عمر و محدوده زمانی بهره برداری از سد وجود نخواهد داشت (مشکاتی شه میرزادی و همکاران، ۱۳۸۸). معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهم ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پر شدن از رسوب متروکه شده اند. روش های متنوع و زیادی از جمله حفاری، تخلیه هیدرولیکی، سیستم کنارگذر و غیره برای رسوب زدایی از مخازن سدها وجود دارد. استفاده از این روش ها محدود و کنترل مقدار دقیق کیفیت و کمیت رسوب تخلیه شده دشوار می باشد.

هیدروساکشن یکی از تکنیک های موثر برای رفع مشکل رسوب گذاری در مخازن سدها می باشد، که تاثیر بسیار موضعی داشته و معمولاً برای خارج کردن رسوبات نهشته شده اطراف ورودی آبگیر نیروگاه بکار می رود. هیدروساکشن خود شامل مدل های متفاوتی می باشد که یکی از جدیدترین آنها

"روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات"^۱ می‌باشد.

۲-۱ کاربرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات

روش فوق روشی است که در آن با استفاده از انرژی هیدرولیکی اختلاف تراز آب مخزن و پائین دست و استفاده از یک لوله مکش که ممکن است بصورت سیفون نیز عمل کند اقدام به تخلیه رسوب از مخازن سدها می‌شود. این روش برای حل مسئله گرفتگی دهانه آبگیر تحتانی، کشاورزی و همچنین آبگیر نیروگاه‌های برقابی کاربرد دارد. عمده کاربرد این روش برای سدهای با حجم کمتر از ۱۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. اجزای اصلی سیستم مورد استفاده در روش هیدروساکشن شامل ورودی مکش، لوله، قسمت خروجی و تجهیزات وابسته می‌باشد. در این روش، لوله در ابتدا بر روی سطح رسوبات ته‌نشین شده قرار می‌گیرد. با شروع تخلیه جریان، حفره‌های تحتانی شروع به مکش رسوبات در قسمت خم می‌کنند. بتدریج، بخاطر اختلاف هد آبی، قسمت خم لوله به داخل رسوبات فرو می‌رود.

استفاده از روش‌های معمول دیگر از قبیل حفاری^۲، فلاشینگ^۳، سیستم کنارگذر^۴، لایروبی^۵ با پمپ و غیره در رسوب‌زدایی از مخازن سدها با محدودیت‌هایی مانند هزینه اجرایی بالا، نیاز به عملیات عمرانی گسترده، هدر رفت آب بالا، عدم قابلیت کنترل رسوب خروجی و محدودیت‌های اجرایی روبه‌رو هستند. اما روش لوله مدفون شده مکش رسوبات با هزینه ساخت، نصب و اجرای پایین، انعطاف پذیری در جانمایی، راندمان مناسب، قابلیت کنترل غلظت رسوب خروجی، عدم نیاز به انرژی خارجی، توانایی جمع‌آوری رسوب خروجی و عملکردی موضعی مشکلات روش‌های دیگر را ندارد. شکل ۱-۱ نحوه عملکرد لوله مدفون شده مکش رسوبات را نشان می‌دهد.

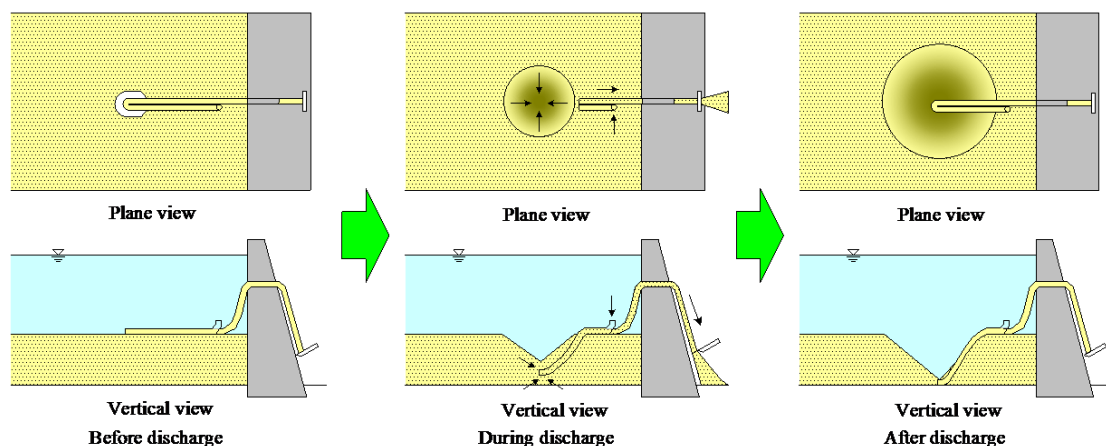
^۱ Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe

^۲ Excavation

^۳ Flushing

^۴ By-passing

^۵ Dredging



شکل ۱-۱: نحوه عملکرد مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات (Sakurai, et al., 2011)

۳-۱ طرح مسئله

قبل از شروع به تحقیق در خصوص روش رسوب زدایی لوله مدفون شده مکش رسوبات پاسخگویی به تعدادی از سوالات ضروری به نظر می‌رسد که به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

✓ با توجه به فراوانی روش‌های رسوب زدایی به چه دلیل روش رسوب‌زدایی لوله مدفون

شده مکش رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است؟

با توجه به معضل خشکسالی و کم‌آبی در کشور و کاهش حجم ذخیره سازی به دلیل انباشته شدن رسوبات در آن‌ها و نیاز مبرم به مدیریت آب‌های سطحی لزوم بررسی روشی کم هزینه و کاربردی برای احیای حجم مفید ذخیره سازی سدها به شدت احساس می‌شود.

✓ لزوم بررسی سرعت در عملکرد روش رسوب زدایی لوله مدفون شده مکش رسوبات در

چیست ؟

سرعت به عنوان مهم‌ترین پارامتر در کنترل میزان رسوب خروجی مطرح است و با تنظیم آن می‌توان به مقدار بهینه غلظت رسید که کم‌ترین میزان کاهش حجم مخزن و اتلاف انرژی را

در لوله داشته باشد. همچنین در استفاده از لوله‌های انعطاف پذیر موجود در بازار محدودیت جدی مقاومتی وجود دارد و نمی‌توان سرعت‌های خیلی زیاد در لوله ایجاد کرد.

✓ لزوم بررسی قطر اندازه رسوبات در عملکرد روش رسوب زدایی لوله مدفون شده مکش

رسوبات در چیست ؟

با اهتمام به این موضوع که رسوبات ته‌نشین شده در سدها دامنه وسیعی از رسوبات با دانه‌بندی‌های مختلف اعم از درشت‌دانه، ریزدانه، چسبنده و غیرچسبنده را شامل می‌شود لذا باید بررسی شود که این روش در چه دانه‌بندی رسوبی قابلیت استفاده دارد.

✓ لزوم بررسی وضعیت باز شدگی آبگیر در عملکرد روش رسوب زدایی لوله مدفون شده

مکش رسوبات در چیست ؟

با توجه به عدم یکنواختی رسوبات ته‌نشین شده در مخازن سدها و وجود سنگ‌های درشت دانه، پلاستیک و اجزای درختان آورده شده با سیل امکان مسدود شدن لوله همواره وجود خواهد داشت. لذا آبیگری در انتهای لوله تعبیه شده است که با عبوردهی آب از این مشکل جلوگیری شود. حال بررسی می‌شود که وضعیت بسته شدگی آبگیر چه تاثیری بر راندمان روش خواهد داشت.

۴-۱ ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر پس از طرح مسئله در فصل جاری، به مطالعه مختصری در خصوص رسوب‌گذاری سدها و روش‌های مختلف رسوب‌زدایی و بیان تاریخچه مختصری از روش هیدروساکشن در فصل دوم می‌پردازد. در فصل سوم به بررسی مدل فیزیکی و روش‌های انجام آزمایش‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه آنالیز ابعادی پارامترهای تاثیرگذار، نتایج و تحلیل آزمایش‌ها در فصل چهارم ارائه خواهد شد. همچنین در همین فصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS V22 و آنالیز حساسیت داده‌ها رابطه‌ای برای پیش‌بینی

غلظت منتقل شده توسط این روش ارائه خواهد شد. جمع‌بندی تحقیق پیشرو و نیز ارائه پیشنهادها برای ادامه مطالعات در فصل پنجم گنجانده می‌شود.

۲- فصل دوم: روش‌های رسوب‌زدایی مخازن (مطالعات و تاریخچه)

۲-۱ مقدمه

در سراسر تاریخ بشر دسترسی مطمئن به آب، یک شرط اولیه و اساسی برای توسعه اجتماعی، اقتصادی و پایداری فرهنگ و تمدن بوده است. به گفته آب شناسان، آب دیگر یک کالای فراوان و فاقد ارزش اقتصادی نیست، بلکه یک کالای بدون جایگزین و با ارزش اقتصادی زیاد در همه زمینه‌های مصرف می‌باشد (صادقی، ۱۳۸۵). موضوع منابع آب به عنوان یک موضوع با اهمیت در صحنه سیاست داخلی کشورها به ویژه در مناطق خشک و کم آب جهان از دیرباز همواره مطرح بوده و هم اکنون نیز اهمیت خود را حفظ کرده است (زیبا کلام، ۱۳۸۵). اما می‌توان گفت نکته‌ای که باعث افزایش اهتمام به منابع آب شده، اهمیت فزاینده مسئله محیط زیست در طی دهه‌های اخیر به ویژه از اواخر دهه ۱۹۸۰ و انتشار «گزارش برانتلند»^۱، برگزاری «کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل» و به دنبال آن برگزاری و تشکیل کنفرانس‌های جهانی بحران و مدیریت آب و موج عظیم کنوانسیون‌ها، پروتکل‌ها و قراردادهای جهانی از سوی جامعه بین الملل می‌باشد (بزی و همکاران، ۱۳۸۹).

امروزه آب‌شناسان و حتی سیاستمداران کشورهای مختلف جهان یقین دارند که نحوه استفاده از منابع آب دنیا و چگونگی مصرف بهینه و مشترک از منابع آب شیرین موجود در جهان که هم محدود و آسیب پذیر و هم عامل اصلی زندگی و توسعه محیط است، می‌تواند تعیین کننده وضعیت جنگ یا صلح در عصر حاضر باشد. بطوریکه شرکت کنندگان در دومین کنفرانس آب در مارس ۱۹۹۴ در کشور هلند تقسیم آب در دنیا را «تقسیم حیات» خوانده‌اند (صادقی، ۱۳۸۵). به همین دلیل است که ابراز می‌شود نقش آب برای جامعه بشری بدل به همان نقشی خواهد شد که امروزه نفت در حیات آدمیان ایفا می‌کند؛ یعنی عنصری کمیاب، گران بها و در معرض خطر به اتمام رسیدن، اما با این تفاوت مهم که به اتمام رسیدن منابع آب به مفهوم پاره شدن رشته حیات انسان در روی کره زمین است.

^۱ گزارشی است که به عنوان آینده مشترک ما در سال ۱۹۸۷ از سوی کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED) به ریاست خانم «گردهارلم برانتلند» انتشار یافت.

بر اساس آمار موجود، در حال حاضر نزدیک به ۲۰ درصد از مردم جهان از دسترسی به آب سالم محرومند و نزدیک به ۲/۶ میلیارد نفر از ساکنان زمین از دسترسی به آب کافی برای مصارف بهداشتی محرومند (Mostert, 2003).

این بحران، علیرغم فراگیر بودن آن، شاید در هیچ جای دیگری به اندازه خاورمیانه ابعاد سیاسی-امنیتی نیافته است. کمبود طبیعی، توزیع نامتوازن، اشتراکی و بی جایگزین بودن منابع آب در کنار مسائلی نظیر افزایش بی رویه جمعیت و مصارف آبی در کشورهای خاورمیانه، اقتصاد متکی بر کشاورزی، سوء مدیریت کلی و جمعی و تخصیصات ارضی، مرزی، قومی و ایدئولوژیکی این کشورها و فقدان قوانین بین المللی حاکم بر آبهای مشترک از جمله عوامل تشدید کننده این بحران هستند که آن را به یک منبع عمده تولید خشونت تبدیل می کند. بسیاری بر این باورند، جنگ های آینده جهان ممکن است بر سر منابع آب صورت گیرد. با این وجود، چنین به نظر می رسد که در جهان اراده محکم سیاسی جهت حل مشکل کم آبی وجود ندارد و برخلاف سخنان پرطمطراق جامعه بین المللی به اندازه کافی به این مسئله توجه نمی شود. در این میان آنچه حائز اهمیت به نظر می رسد، توجه به این مسئله است که همه به آب شیرین و پاکیزه نیاز دارند. اما کمبود آن در کشورهای جهان سوم به معنای در خطر بودن جان انسان ها است و در این میان خاورمیانه یکی از مناطق بحرانی جهان محسوب می شود (بزی و همکاران، ۱۳۸۹).

اکثر متخصصان بر این عقیده اند که اگر اقدامی جدی در زمینه توزیع منابع، الگوهای بهینه مصرف آب و مدیریت منابع آب صورت نپذیرد، تا سال ۲۰۲۵ حدود دو سوم جمعیت جهان دچار کمبود نسبی یا شدید آب خواهند شد (تازی صادق، ۱۳۸۴).

سد سازی از هزاران سال قبل فنی شناخته شده در مدیریت منابع آب بوده است. صنعت سد سازی به عنوان یکی از قدیمی ترین و پیچیده ترین فعالیت های ساختمانی همواره مد نظر جوامع مختلف بوده و از نظر اقتصادی نیز یکی از منابع مهم اقتصادی هر کشور و منطقه محسوب می شده است.

مهندسی سد را می‌توان مجموعه‌ای از علوم فنی و پایه مهمی دانست که در کنار یکدیگر طراحی و اجرای سد را ممکن می‌سازد و سازه سد را از نظر بارگذاری‌های وارده و مقاومت در برابر عوامل مخرب مورد بررسی قرار می‌دهند. طراحی و اجرای سدها به گونه‌ای است که اگر عواملی مثل رسوب‌گذاری مخزن و غیره وجود نداشته باشد، محدودیتی در عمر و محدوده زمانی بهره‌برداری از سد وجود نخواهد داشت. در این راستا نیازهایی از جمله تأمین آبیاری و آبرسانی مطرح بوده و یا در مناطقی نیز به خاطر پایین بودن سطح آب‌های رودخانه‌ها یا نیاز تغییر جهت مسیر رود، سد سازی انجام می‌گرفته تا بتوانند سطح آب را بالا آورده و برای نیازهای کشاورزی و عمرانی از آن استفاده کنند. (مشکاتی شه‌میرزادی و همکاران، ۱۳۸۸).

در سرزمین‌های باستانی و کهن که از قدیم در معرض سیلاب و طغیان رودخانه‌ها قرار داشته اند، ساخت بندهای متفاوت در طول مسیر رودخانه‌ها و یا مناطق سیل خیز به جلوگیری از خسارات کمک فراوانی کرده است. تاریخ سد سازی در ایران، مصر و بین‌النهرین قدمتی بسیار طولانی دارد و هنوز هم می‌توان نشانه‌هایی از آنها را در این سرزمین‌ها یافت. به طور کلی سد سازی و نیز لایروبی و مرمت آنها از دیر باز مانند سایر کارهای عام‌المنفعه و پروژه‌های بزرگ معمولاً به دست حکومت‌ها و پادشاهانی که به امورآبادانی و آبادی علاقه بیشتری داشتند انجام می‌گرفته است و در این میان رونق اقتصادی و پیشرفت آبادی‌ها و شهرهای مرتبط با سیستم‌های آبیاری و آبرسانی نیز بستگی بسیار زیادی با مقوله سد و سد سازی و اهمیت حکمرانان به این مسایل داشته است (تقوی نژاد دیلمی، ۱۳۶۳).

شاید اولین سدی که به دست بشر ساخته شده است، سد «الکافرا» در مصر باشد که تاریخ ساخت آن به ۲۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. این سد که از نوع خاکی بوده، با هسته خاکی و پوسته سنگریزه‌ای و پوشش حفاظتی سنگچین با ارتفاع ۱۴ متر ساخته شده است. همچنین پس از آن، تعداد بیشماری سد توسط تمدن‌های کهن، در مناطق مختلف خاورمیانه از جمله ایران، عراق و عربستان احداث شده است. اولین سد مهم ساخته شده با ملات و سنگ نیز در دوران مشابهی در ترکیه ساخته

شد، که این سد با نام « کسپس لگو »، ارتفاعی حدود ۱۰ متر دارد. پس از آن دوره، ساخت سدهای مدرن‌تر، از قرن دهم بعد از میلاد، شروع و ارتفاع سدهای ساخته شده افزایش پیدا کرد. بالاخره در سال ۱۷۸۰ با طلوع اولین انقلاب صنعتی و شروع صنعت کانال سازی، توجه به صنعت سد و سد سازی بیشتر شد و به عنوان مثال کار اجرای سد « انت دیستل » در انگلستان به عنوان اولین سد مدرن در سال ۱۸۳۸ به اتمام رسید. این سد که اولین سد در نوع خود بوده است، ارتفاعی در حدود ۳۰ متر داشت (تقوی نژاد دیلمی، ۱۳۶۳).

در ایران به جهت وجود مشکلات ناشی از کمبود آب و شرایط اقلیمی خاص، همواره آب به عنوان ماده‌ای بسیار ارزشمند و استراتژیک مدنظر بوده است بطوریکه این موضوع سبب گردیده است تا بندسازی، سدسازی و احداث دیگر تأسیسات ذخیره سازی و انتقال آب در آثار به جا مانده در فرهنگ و تمدن ایرانی، نمود خاصی داشته باشد. پادشاهان هخامنشی به واسطه نیاز جغرافیایی کشور ایران و علاقه‌ای که در گسترش و آبادانی سرزمین تحت فرمانروایی از خود نشان می‌دادند، در زمان امپراتوری خود سدها و بندهای زیادی در بخش‌های جنوب غربی و جنوبی ایران ساختند. بسیاری از سیستم‌های آبرسانی و آبیاری که تا سال‌های متمادی نیز در ایران از آنها استفاده شد مرهون تلاش مهندسان و صنعتگران ایرانی است که در زمان‌های بسیار دور تلاش نمودند تا نیازها و کمبودها را در زمینه‌های عمرانی و آبادی برطرف نمایند و آثار و شواهد آن را نیز می‌توان در نقاط مختلف ایران درک نمود. علاوه بر آن بسیاری از آثار به جا مانده از این دوره‌ها در سرزمین‌های تابعه حکومت‌های ایران باستان نیز قابل مشاهده است (فرشاد، ۱۳۶۲). شکل ۱-۲ نمایی از چند سد قدیمی ایران را نشان می‌دهد.



ب



الف



د



ج

شکل ۱-۲: الف) نمایی از بند قدیمی امیر (دوره آل بویه) ب) نمایی از بند قدیمی بهمن (دوره هخامنشی)

ج) نمایی از بند قدیمی شاه عباسی (سده ۷ ه.ق) د) نمایی از بند قدیمی فریمان (حدود ۱۰۰۰ سال پیش)
(فرهنگی، ۱۳۷۲)

مخازن سدها که با هدف ذخیره کردن بخشی از جریان‌های سیلابی رودخانه و به منظور کنترل سیل، ذخیره‌ی آب برای مصارف پایین دست، تولید انرژی و یا تفریحات احداث می‌شوند، ترسیب رسوب در آن باعث از دست رفتن حجم مفید مخزن می‌گردد که به آن تلفات حجم مخزن می‌گویند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

مواد رسوبی که وارد مخازن سدها می شوند، حاصل عمل فرسایش پوسته زمین می باشند که توسط رودخانه حمل و به مخزن وارد می شوند. میزان فرسایش بستگی به عوامل متعددی همچون شرایط آب و هوایی، خصوصیات زمین شناسی منطقه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع کاربرد اراضی دارد. از این رو میزان ارتفاع فرسایش خاک ممکن است از ۰/۰۶ میلی متر در سال تا ۰/۱۶ میلی متر تغییر کند که به طور متوسط در حدود ۱۳۲ تن رسوب در هر کیلومتر مربع در هر سال حاصل می شود. بیش تر مواد رسوبی فرسایش شده به صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر توسط رودخانه حمل می شوند. رسوبات فوق پس از رسیدن به دریاچه های طبیعی یا مصنوعی، مخازن سدها و دریاها، در اثر تغییر شرایط هیدرولیکی ترسیب می شوند. مخازن سدها از جمله مکان هایی است که ممکن است تا صد درصد رسوبات همراه رودخانه را در خود ذخیره نماید. از این رو، حفظ و نگهداری مخازن موجود و به حداقل رساندن تلفات حجم مخزن در اثر ترسیب در اولویت برنامه ریزان مدیریت منابع آب کشورها قرار گرفته است (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱). شکل ۲-۲ نمایی از بالادست سد سفیدرود که انباشته شده از رسوب را نشان می دهد.



شکل ۲-۲: نمایی از بالادست سد سفیدرود که انباشته شده از رسوب (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

جدول ۱-۲ وضعیت منابع آب در مناطق مختلف جهان در سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد. هر چند که به طور متوسط ۱۲ درصد حجم منابع آب تجدید شونده طبیعی در مخازن سدها ذخیره می‌شود، ولی این میزان در مناطقی نظیر خاورمیانه به ۶۰ درصد هم می‌رسد. این جدول اهمیت حفظ و نگهداری مخازن موجود و نیاز به ساخت مخازن جدید را نشان می‌دهد (Holly, et al., 1990).

جدول ۱-۲: وضعیت منابع آب تجدید شونده در مناطق مختلف جهان (تا سال ۲۰۰۴) (Holly, et al., 1990)

منطقه	جمعیت (میلیون)	منابع آبی تجدیدشونده داخلی (سال / کیلومتر مکعب)	منابع آب تجدیدشونده طبیعی (سال / کیلومتر مکعب)	منابع آب تجدیدشونده طبیعی برای هر نفر در (سال متر مکعب)	حجم مخازن (کیلومتر مکعب)	درصد منابع آب تجدیدشونده طبیعی که در مخزن نگهداری می‌شود
آسیا	۳۵۷۴	۱۱۱۱۷	۱۴۵۰۸	۴۰۵۹	۱۲۶۲	۹
اروپا	۷۲۹	۶۵۹۲	۷۷۷۱	۱۰۶۵۶	۱۰۸۳	۱۴
خاورمیانه و شمال آفریقا	۴۳۵	۵۱۷	۶۵۴	۱۵۰۴	۳۹۲	۶۰
آمریکای شمالی	۳۲۶	۵۶۵۰	۵۹۵۳	۱۸۲۸۷	۱۸۴۵	۳۱
آمریکای مرکزی	۱۷۷	۱۲۱۱	۱۲۵۱	۷۰۷۴	۱۴۸	۱۲
آمریکای جنوبی	۳۶۷	۱۲۳۴۶	۱۷۱۹۵	۴۶۹۰۴	۸۹۱	۵
اقیانوسیه	۳۱	۱۶۹۴	۱۶۹۴	۵۵۱۴۳	۱۰۷	۶
صحرای آفریقا	۷۱۴	۳۸۸۷	۵۴۴۷	۷۶۳۴	۳۸۸	۷
جهان	۶۳۵۲	۴۲۹۱۳	۵۴۴۷۳	۸۵۷۶	۶۳۵۲	۱۲

نرخ متوسط ترسیب سالانه یا درصد حجمی از مخزن که توسط رسوب اشغال می‌شود، در مناطق مختلف جهان متفاوت است. مطابق جدول ۲-۲، هر ساله به طور متوسط بین ۰/۱ تا ۲/۳ درصد از حجم کل ذخیره مخازن سدهای جهان در اثر رسوب گذاری از دست می‌رود. متأسفانه در کشورهای نرخ رسوب گذاری بالا است که جمعیت بالاتری هم دارند (Ritchie, et al., 1975).

جدول ۲-۲: نرخ رسوب گذاری در مخازن سدها در مناطق مختلف جهان (Ritchie, et al., 1975)

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

به منظور تامین نیازهای آبی جمعیت و جبران بخشی از حجم مخازن از دست رفته، نیاز به ساخت مخازن جدید نیز می باشد. جدول ۲-۳ تقاضا برای ساخت مخازن جدید را در مناطق مختلف جهان نشان می دهد (FAN, et al., 1992).

جدول ۲-۳: تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان (FAN, et al., 1992)

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

در ایران نیز مساله رسوب گذاری در مخازن سدها حائز اهمیت زیادی می باشد، چرا که حدود ۷۰ درصد از منابع آب ایران را آب های سطحی تشکیل می دهد و عدم هماهنگی زمانی بین آبدهی حوضه ها و مصارف، نیاز به مخازن ذخیره آب را امری ضروری می کند. از طرفی عدم انجام اقدامات موثر آبخیزداری در حد کافی باعث شده است که فرسایش از حوزه های آبریز سدها از حد مجاز خیلی

بیش‌تر باشد و همین امر معضل رسوب‌گذاری در مخازن سدها را تشدید کند. مطابق جدول ۲-۴، جمع‌آوری شده از گزارش‌های مختلف، به‌طور سالانه یک درصد از حجم کل ذخایر مخازن سدهای ایران یعنی حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب پر از رسوب می‌گردد، که تنها برای حفظ وضعیت موجود، سالانه تعداد ۶ سد به اندازه سد «طرق» باید احداث گردد، در حالی که با توجه به رشد جمعیت، نیاز روزافزون کشور به ذخیره‌ی حجم آب بیش‌تری می‌باشد. از طرفی دو عامل محدودکننده‌ی بسیار مهم برای نیل به این هدف وجود دارد که یکی محدودیت منابع آب طبیعی تجدیدشونده و دیگری کمبود ساختگاه‌های مناسب سدسازی با توجه به عواملی نظیر زمین‌شناسی، آیین‌نامه‌های سختگیرانه‌ی محیط‌زیستی و هزینه‌ی بالای ساخت می‌باشد. از این رو به نظر می‌رسد که رویه مدیریت رسوب در مخازن برای مدیریت بر منابع آب کاربردی تر می‌باشد. روش‌های مدیریت رسوب در مخازن سدها به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که با انجام آن‌ها بتوان مخزن سد را در سال‌های بیش‌تر و در حد بهینه استفاده کرد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

جدول ۲-۴: وضعیت رسوب در تعدادی از سدهای مخزنی ایران (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

ردیف	نام سد	سال شروع بهره‌برداری	حجم اولیه (MCM) ^۲	وسعت حوضه آبریز ^۲ (کیلومتر مکعب)	رسوب ویژه (تن در مترمربع در سال)	متوسط حجم رسوب سالیانه (MCM)	حجم رسوب نهشته شده از زمان بهره‌برداری (MCM)	درصد تلفات سالیانه حجم مخزن در اثر رسوب
۱	دز	۱۳۴۱	۳۴۶۰	۱۷۵۲۳	۹۶۰۰۰	۱۴/۰	۶۰۳/۲	۰/۴۱
۲	کارون	۱۳۵۶	۳۱۳۹	۳۷۰۹۲	۱۱۱۰۰۰	۲۵/۰	۷۰۰/۴	۰/۸
۳	زاینده‌رود رود	۱۳۴۹	۱۴۷۰	۴۶۰۰	۶۶۰۰۰	۲/۵	۷۱/۰	۰/۱۷
۴	درودزن	۱۳۵۰	۹۹۳	۴۳۷۲	۲۸۰۰۰	۱/۰	۳۲/۲	۰/۱۰
۵	سفیدرود رود	۱۳۴۱	۱۷۶۵	۵۶۰۰۰	۷۹۰۰۰	۳۷/۰	۵۶۸/۸	۲/۱
۶	استقلال	۱۳۶۲	۳۴۵	۱۰۳۲۵	۴۶۰۰۰	۴/۰	۸۷/۳	۱/۱۵
۷	کرج	۱۳۴۰	۲۰۵	۸۵۰	۷۱۰۰۰	۰/۵	۲۳/۰	۰/۲۴
۸	لار	۱۳۶۰	۹۶۰	۷۴۴	۳۷۴۰۰۰	۲/۳	۳۲/۵	۰/۲۴
۹	لتیان	۱۳۴۶	۹۵	۶۹۱	۸۶۰۰۰	۰/۵	۱۹/۴	۰/۵۲
۱۰	ساوه	۱۳۷۲	۲۹۰	۱۷۰۴۳	۱۱۰۰۰	۱/۶	۱۵/۵	۰/۵۳
۱۱	گلپایگان	۱۳۳۵	۴۲/۳	۱۰۵۰	۱۴۰۰۰	۰/۱	۵/۳	۰/۲۸
۱۲	پانزده خرداد	۱۳۷۳	۲۰۰	۱۰۲۵۰	۵۰۰۰	۱/۴	۴/۶	۰/۲۱
۱۳	چاه نیمه	۱۳۶۱	۶۶۰	-	-	۱/۰	۱۷/۰	۰/۱۵
۱۴	قشلاق (وحدت)	۱۳۵۸	۲۲۴	۱۰۵۸	۵۳۰۰۰	۰/۵	۹/۴	۰/۲۱
۱۵	اکباتان	۱۳۴۲	۸	۲۱۳	۷۳۰۰۰	۰/۱	۴/۱	۱/۶۳
۱۶	جیرفت	۱۳۷۰	۴۲۵	۷۸۰۰	۹۸۰۰۰	۶/۴	۸۹/۰	۱/۵۰
۱۷	وشمگیر	۱۳۴۱	۶۰	۶۴۵۰	۱۸۰۰۰	۱/۰	۲۴/۶	۱/۶۴
۱۸	طرق	۱۳۶۷	۳۳/۱	۱۰۲۵۰	-	-	۰/۳	۰/۰۹۸
۱۹	کارده	۱۳۶۷	۲۸/۱	۵۹۹	۱۷۰۰۰	۰/۱	۱/۳	۰/۳۱
۲۰	بوکان	۱۳۵۰	۶۵۰	۶۸۹۰	۷۳۰۰۰	۴/۲	۱۰۰	۰/۶۴
۲۱	مهاباد	۱۳۴۹	۲۳۰	۶۵۲	۱۶۹۰۰۰	۰/۹	۳۲/۲	۰/۴۰
۲۲	ارس	۱۳۵۰	۱۳۵۰	۶۱۶۹	۱۶۱۰۰۰	۸/۳	۲۳۱/۴	۰/۶۱
۲۳	پیشین	۱۳۷۲	۱۷۵	۶۹۰۰	۳۲۰۰۰	۱/۸	۷/۳	۱/۰۴

۱- در این جدول MCM میلیون متر مکعب است.

۲- داده‌های این جدول براساس آخرین هیدروگرافی‌های انجام شده از سدهای مذکور تنظیم شده است.

۳- این جدول چکیده داده‌های جدول «میزان رسوبات ورودی به مخازن سدهای بزرگ ایران» می‌باشد که توسط معاونت حفاظت و بهره‌برداری - شرکت مدیریت منابع آب ایران در بهمن‌ماه ۱۳۸۸ تهیه شده است.

۲-۲ بررسی‌های زیست‌محیطی رسوب‌زدایی مخزن

شرایط هیدرولوژیکی رودخانه در اثر ساخت سد تحت تاثیر عوامل فراوانی قرار می‌گیرد. سدها بر شرایط جریان آب، حرکت رسوب، کیفیت آب و آبریان رودخانه تاثیر می‌گذارند و باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیکی رودخانه شده و در حقیقت روی تمام متغیرهای اکولوژیکی سیستم رودخانه اثرگذار می‌باشد. این تاثیرات منحصر به محل احداث سد نبوده بلکه ممکن است تا کیلومترها بالادست و پایین‌دست سد را نیز شامل شود.

۱-۲-۲ اثرات نهشته شدن رسوب

تمام رودخانه‌ها رسوب و آب حمل می‌کنند و احداث سد باعث تغییر شرایط انتقال آب و رسوب می‌شود. از آنجا که حجم آب منتقل شده توسط رودخانه بسیار بیش‌تر از میزان رسوب منتقل شده می‌باشد، مخزن سد خیلی دیرتر از رسوب پر می‌شود. معمولاً به دلیل این که نهشته شدن رسوب در مخزن سد تدریجی می‌باشد، در دوره بهره‌برداری چندان به آن توجه نمی‌شود و یا به عبارتی نادیده گرفته می‌شود تا این که مشکلی از نظر بهره‌برداری به وجود آید. دلیل آن هم این است که تغییرات بالا آمدن سطح رسوب از دید عموم پنهان می‌باشد. از طرفی وقتی مخزن پر از آب شد براحتی می‌توان آب اضافی را از طریق سرریز و یا دریچه‌ها به خارج هدایت کرد ولی رسوبات نهشته شده را نمی‌توان به این راحتی تخلیه کرد. با در نظر گرفتن موارد فوق و با توجه به این که تجمع رسوب در مخزن سد اثرات کوتاه مدت و بلندمدتی را هم در بالادست سد و هم در پایین‌دست سد ایجاد می‌کند، ضروری است که قبل از بروز هرگونه مشکلی پتانسیل آن مشکل بررسی و با پیش‌بینی‌های به موقع نسبت به اصلاح آن اقدام کرد (طلوعی، ۱۳۶۸).

۱-۱-۲-۲ اثرات بالادست سد (شامل مخزن و بالادست آن)

الف (کاهش حجم ذخیره مخزن

در اثر نهشته شدن تدریجی رسوب، حجم مفید مخزن به تدریج کاهش یافته و زمانی خواهد رسید که مخزن از نقطه نظر ذخیره و یا کنترل سیل موثر نمی‌باشد. همچنین از آنجا که طراحی سرریز سدها به منظور پر کردن حجم مفید مخزن برای کاهش پیک سیلاب می‌باشد، پس از پر شدن حجم مخزن از رسوب و در صورت وقوع سیلاب، امکان ذخیره آب و تسکین سیل فراهم نبوده و می‌تواند باعث خسارات جبران ناپذیری در پایین‌دست گردد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ب) ترسیب دلتا

بخش درشت‌دانه رسوب ورودی به مخزن در محل ورود رودخانه به مخزن نهشته می‌شود و دلتا را تشکیل می‌دهد. توسعه دلتا در جهت پایین‌دست باعث از دست رفتن حجم مفید مخزن و گسترش آن تا کیلومترها بالادست باعث گسترده شدن مناطق سیل‌گیر می‌گردد. این مساله ممکن است شهرها، اراضی کشاورزی و نواحی صنعتی بالادست را به مخاطره اندازد. هم‌چنین باعث افزایش تراز سطح آب زیرزمینی اراضی بالادست و شور شدن و قلیایی شدن اراضی آن نواحی گردد. علاوه بر این مشکلاتی را در کشتیرانی رودخانه‌ها و ابنیه‌های فنی احداث شده درون یا مجاور رودخانه به وجود می‌آورد. مناطق دلتا بسیار مستعد رشد درختان و گیاهان می‌باشند که در این صورت باعث افزایش زبری رودخانه و کاهش بیش‌تر سرعت جریان و رسوب‌گذاری بیش‌تر می‌گردد. ضمن این‌که افزایش عمق آب و توسعه مناطق سیل‌گیر را تشدید می‌کند. توسعه روزافزون پوشش گیاهی در مناطق دلتا باعث خواهد شد تا بخش مهمی از آب در فصول کم‌آبی به مصرف گیاهان برسد که در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار حائز اهمیت است. به طور مثال میزان هدررفت آب در سال در یکی از سدهای کشور مکزیک بالغ بر ۱۷۶ کیلومتر مکعب تنها در اثر تبخیر و تعرق گیاهان منطقه دلتا برآورده شده است (Brune, 1953).

ج) کوچ اجباری ساکنین بالادست

به دلیل توسعه دلتا و نیز به زیر آب رفتن بخش مهمی از اراضی بالادست، کشاورزان و روستاییان ساکن در این مناطق اجباراً باید منطقه را ترک کنند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

د) مشکل تردد آبزیان

به دلیل انباشت رسوب در بستر رودخانه و پس از فروکش کردن تراز سطح آب مخزن، تردد آبزیان به خصوص ماهیان به مناطق بالادست به منظور تخم‌ریزی مشکل خواهد بود (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ه (کشتی رانی

از دیگر فعالیت های اجتماعی که به شدت تحت تاثیر رسوب گذاری قرار می گیرد موضوع کشتیرانی تجاری و یا تفریحی در درون مخزن و بالادست آن می باشد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

و (آلودگی هوا

در مناطق خشک و نیمه خشک و در فصول خشک که سطح آب مخزن بسیار پایین می باشد، سطح زیادی از مخزن در تماس با هوا قرار می گیرد که در نتیجه مقدار زیادی از ر سوبات ریزدانه در اثر وزش بادهای شدید این فصول به مناطق شهری و کشاورزی و یا نواحی صنعتی منتقل می شوند. انتقال این ر سوبات می تواند مشکلاتی را برای کشاورزان، واحدهای صنعتی و مردم شهرها ایجاد کند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ذ (خطر بیش تر در صورت وقوع زلزله

از آنجا که ر سوب دارای وزن واحد حجم بیش تری نسبت به آب می باشد، در زمان زلزله ر سوب پشت سد می تواند نیروی بیش تری نسبت به آب وارد کند. علاوه بر این ر سوب تجمع یافته در نزدیک سد می تواند در اثر زلزله به حالت روان گرانی درآمده به سمت دریچه های تحتانی حرکت کرده و آن ها را غیر قابل استفاده کنند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ح (ساییدگی

ذرات ر سوب بزرگ تر از ۰/۱ میلی متر باعث تشدید ساییدگی پره های توربین نیروگاه ها می شود. ذرات ر سوبی تیز گوش حتی با اندازه های کوچک تر نیز می توانند خسارات جبران ناپذیری را به توربین ها وارد کنند. ادامه این روند باعث کوتاه شدن دوره تعمیرات نیروگاه می گردد که منجر به کاهش تولید انرژی سالانه نیروگاه می گردد. ذرات درشت دانه نیز که با سرعت از دریچه های تحتانی خارج می شوند می توانند باعث سایش شدید دریچه ها، جداره دریچه ها و سرریزها گردند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ت) کاهش انرژی

افزایش تدریجی حجم رسوبات نهشته شده باعث کاهش حجم مفید مخزن می شود که در نتیجه آن، مخزن نمی تواند حجم زیادی از سیلاب های بزرگ را برای آینده ذخیره کند و انرژی تولیدی نیز کاهش می یابد. در مناطقی که سدهای متوالی ساخته شده اند، توسعه دلتاهای سدهای پایین دست باعث افزایش عمق آب پایاب در سدهای بالادست می گردد که منجر به کاهش اختلاف بار آبی و در نتیجه کاهش انرژی تولیدی می شود (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ی) بسته شدن دریاچه های آبگیر و تحتانی

در صورت ادامه روند رسوب گذاری، رسوب می تواند باعث بسته شدن دریاچه های تحتانی گردد. گزارش های زیادی از نهشته شدن حجم زیادی از رسوب در سیلاب های بزرگ در بعضی از مخازن وجود دارد که باعث بسته شدن دریاچه های ورودی به نیروگاه یا دریاچه های تحتانی گردیده اند. باز کردن مجدد آن ها به زمان و هزینه های زیاد نیاز خواهد داشت (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

ک) فرسایش سواحل و لغزش دیواره ها

مخازنی که عرض کم ولی طول زیادی دارند، دارای طول سواحل بیشتری هستند، از این رو در معرض فرسایش های ناشی از امواج سطحی آب می باشند به خصوص در مناطقی که مستعد وزش بادهای تند می باشد. میزان فرسایش سواحل در بعضی از مخازن ممکن است به ۲/۵ متر در سال هم برسد. این میزان فرسایش البته ممکن است در مقایسه با رسوب ورودی به مخزن از طریق رودخانه ها قابل ملاحظه نباشد ولی باعث خساراتی به ابنیه فنی مجاور سواحل می گردد. ضمن این که فرسایش سواحل باعث می شود تا شیب سواحل به تدریج ناپایدار گردد و لغزش های توده ای را به دنبال داشته باشد. رسوب ورودی به مخزن در اثر لغزش های توده ای برعکس فرسایش سواحل ممکن است آنقدر زیاد

باشد که باعث پر شدن مخزن سد گردد. به طور مثال در مخزن سانمنسیا^۱ در کشور چین تنها در ۱۶ ماه اول بهره‌برداری نزدیک به ۱۷۷ میلیون مترمکعب رسوب در اثر لغزش دیواره‌ها وارد مخزن گردید (Chow, 1959).

ل (تغییر اکولوژی

رسوب‌گذاری در مخزن باعث تغییر نوع رسوب می‌شود که می‌تواند تغییر اکولوژی مخزن را به همراه داشته باشد و در نتیجه آن گونه‌های جانوری و آبزیان تحت تاثیر قرار گیرند (Holly, et al., 1990).

۲-۱-۲-۲ اثرات پایین دست سد

اثرات زیست‌محیطی در بازه‌های رودخانه پایین دست سد به دلایل متعددی بسیار بیش تر از مناطق بالادستی آن است، چرا که معمولاً در پایین دست سد دبی جریان و میزان رسوب رها شده کاهش می‌یابد. تغییر در نوع رسوب رها شده باعث تغییر در مواد غذایی همراه جریان می‌گردد. ضمن این که به دلیل افزایش رسوب ریزدانه نظیر رس، انتقال مواد آلی، سموم دفع آفات و آلودگی‌های ناشی از عناصر سنگین نسبت به قبل از احداث سد بیش تر می‌گردد. جریان رها شده در بیش تر مواقع سال از رقوم‌های پایین مخزن خارج می‌گردد که نسبت به قبل از احداث سد درجه حرارت آب رها شده بسیار پایین تر است. جریان آب خنک و زلال پایین دست باعث خواهد شد تا جانوران جدیدی در این نواحی رشد نمایند.

مورفولوژی رودخانه‌ی پایین دست به دلیل تغییر در میزان و کیفیت رسوبات و همچنین کاهش دبی اوج سیل تحت تاثیر قرار می‌گیرد. جریان آب صاف رها شده باعث فرسایش بستر رودخانه و گود شدن آن می‌گردد. به طور کلی، بستر رودخانه تا کیلومترها پایین دست فرسایش یافته و به تدریج لایه‌ی

^۱ Sanmenxia Reservoir

درشت دانه یا لایه‌ی محافظ بر روی بستر رودخانه تشکیل می‌شود. درشت شدن مصالح بستر رودخانه مشکلاتی را برای آبریان به خصوص از منظر تخم‌گذاری گونه‌های محلی و یا گونه‌های جدید فراهم می‌کند. گود شدن بستر نیز باعث تشدید فرسایش سواحل، آبشستگی پایه‌های پل و کاهش سطح آب زیرزمینی می‌گردد که همه این عوامل اثرات سوء بر محیط زیست رودخانه و اطراف آن بجا می‌گذارد. آب شستگی پایین دست خروجی دریچه‌های تحتانی و سرریز سد ممکن است تا بستر سنگی نیز ادامه یابد.

عرض رودخانه‌ی پایین دست ممکن است افزایش یا کاهش یافته و یا ثابت بماند. براساس گزارش‌های منتشر شده مقاطع عرضی رودخانه می‌توانند تا ۹۰ درصد کاهش و در بعضی دیگر تا صددرصد هم افزایش یابند و این بستگی به شرایط رودخانه در پایین دست دارد. معمولاً پس از احداث سد، دبی‌های اوج مربوط به سیلاب‌ها کاهش یافته و دوره‌ی بازگشت آن‌ها تغییر می‌کند ولی رسوبات ورودی از شاخه‌های فرعی تغییر نمی‌کند. در نتیجه، رسوب‌گذاری در پایین‌دست اتفاق می‌افتد که نتیجه‌ی آن ایجاد جزایر و رشد گیاهان در این جزایر و تثبیت آن‌ها می‌شود. این مساله باعث می‌شود که در صورت وقوع سیلاب با دبی اوج بالا، رودخانه ظرفیت عبور آن را نداشته باشد که این مساله افزایش خسارات ناشی از سیل و تعریض رودخانه را به همراه دارد. بدیهی است چنان‌چه در پایین دست شاخه‌ای با آورد رسوب بالا وجود نداشته باشد عرض رودخانه به تدریج کاهش می‌یابد (Holly, et al., 1990).

۳-۱-۲-۲ اثرات درون مخزن سد

تغییرات هیدرولوژیکی به وجود آمده در اثر احداث سدهای بزرگ، آثار بزرگی نظیر جلوگیری از مهاجرت آبریان، ترسیب بار رسوبی، لایه بندی حرارتی را به همراه دارد. در صورتی که تعادلی بین رسوب ورودی و خروجی از مخزن حاصل شود، شرایط مناسبی از نظر زیست محیطی در درون مخزن فراهم می‌شود. مخصوصاً برای حفظ مورفولوژی و آبریان بهتر است سد طوری طراحی شود تا بتوان رسوبات را

به صورت دوره‌ای به خارج هدایت کرد. متأسفانه، به دلایل متعددی امکان فراهم کردن این شرایط در مخازن بزرگ میسر نیست، چرا که این رسوبات در فواصل بسیار دورتری از دریچه‌ها ترسیب می‌شوند. احداث سدها باعث به زیر آب رفتن روستاها، زیستگاه‌های حیات وحش و جانوران بومی و هم‌چنین آثار باستانی می‌گردد. به عنوان مثال، سد آسوان در مصر نمونه‌ی بارزی از اثرات زیست محیطی را پس از ساخت شاهد بوده است. مخزن این سد بخشی از آثار تاریخی را به زیر آب برده، باعث ترسیب مواد غذایی همراه رسوب شده که قبل از آن این مواد به حاصل خیزی اراضی پایین دست و یا تامین مواد غذایی آبزیان کمک می‌کرده‌اند، باعث فرسایش شدید سواحل دریا در محل مصب گردیده و کف کنی زیادی در پایین دست آن به وجود آمده، ضمن این که باعث ترسیب کانال‌های آبیاری شده است (Holly, et al., 1990).

مطالعات الیچ و همکاران (۲۰۰۷) بر روی دریاچه هارتول^۱ نشان داده است که در شرایطی که شرایط لایه بندی حرارتی در دریاچه ایجاد می‌شود، ضخامت لایه رسوبی به میزان کمی (حدود ۶ درصد) نسبت به حالت غیر لایه بندی کاهش می‌یابد، هم‌چنین مشخص شده است که در شرایط لایه بندی شده سرعت لایه آب که در جهت وزش باد حرکت می‌کند. بیش تر می‌باشد و در نتیجه رسوبات فاصله طولانی‌تری را نسبت به حالت لایه بندی شده طی می‌کنند. جدول ۲-۵ آثار زیست محیطی ناشی از ساخت سد را که اشاره شد به طور خلاصه نشان می‌دهد (Elich, et al., 2007).

^۱ Hartwell

جدول ۲-۵: اثرات زیست محیطی ناشی از رسوبات سد (Holly, et al., 1990)

نوع تاثیر	توضیح
در محدوده مخزن	
از دست رفتن حجم	مزایای استفاده از سد به عنوان کنترل سیل و تولید انرژی کاهش خواهد یافت
رسوبات آلوده	نهشته شدن رسوبات آلوده باعث کاهش کیفیت آب مخزن می گردد
ترسیب رسوبات آلی	رسوبات آلی با مصرف اکسیژن محلول باعث کاهش کیفیت آب مخزن می گردد
کدورت (تیرگی)	تیرگی آب باعث کاهش عمق منطقه نورانی می گردد. کاهش دید ایجاد مشکل برای تغذیه ماهی ها می کند. کاهش وضوح (روشنی) آب نیز شرایط نامساعدی را برای تفریحات سالم فراهم می کند.
قایقرانی	رسوبات باعث پرشدن مسیر قایقرانی و آب بند کشتیرانی می شوند.
جانوران وحشی	در صورت رشد گیاه در جزایر ایجاد شده در اثر رسوب گذاری، شرایط مساعدی برای زندگی جانوران وحشی فراهم می شود. از طرفی نهشته شدن رسوبات ریزدانه باعث کاهش ازدیاد ماهی ها می گردد.
آلودگی هوا	در صورت پایین رفتن سطح آب مخزن، رسوبات ریزدانه در معرض فرسایش بادی قرار می گیرند.
بالادست مخزن	
برآمدگی کف و تشکیل دلتا	نهشته شدن مواد رسوبی در بالادست مخزن باعث بالا آمدن بستر رودخانه و در نتیجه، افزایش تراز سطح آب در زمان سیلاب می شود و یا به عبارتی مناطقی بیش تر در معرض سیل قرار می گیرند. افزایش تبخیر و تعرق نیز از آثار بالا آمدن بستر رودخانه است. البته نهشته شدن رسوب در بالادست رودخانه، باعث کاهش تلفات حجم مخزن می شود چرا که رسوب قبل از رسیدن به مخزن ترسب می شود. رشد درختان در منطقه دلتا منطقه مناسبی برای جانوران وحشی ایجاد می کند.

ادامه جدول ۲-۵: اثرات زیست محیطی ناشی از رسوبات سد (Holly, et al., 1990)

پایین دست مخزن	
کف‌کنی رودخانه باعث تشدید تخریب سواحل شده، پایین آمدن کف رودخانه‌ی اصلی باعث شروع فرسایش کف رودخانه‌های فرعی و شروع فرسایش پس رونده می شود. بستر رودخانه به تدریج خیلی درشت دانه شده و برای تخم ریزی آبزیان مکان مناسبی نخواهد بود.	کف‌کنی، فرسایش سواحل و تغییر شکل رودخانه به مثانداری
ابنیه فنی نظیر پل‌ها، آبگیرها و ایستگاه‌های پمپاژ تحت تاثیر قرار می‌گیرند. در بیش‌تر بازه‌های رودخانه علیرغم کاهش دبی طغیانی، تشدید فرسایش ساحل و افزایش قوس‌مئاندرها به دلیل کف‌کنی و کاهش شدید سطح آب به خصوص در فصول خشک است. در نتیجه حجم رسوب زیادی وارد رودخانه می‌گردد که در بازه‌های پایین دست بخش عمده آن نهشته شده و جزایر متعدد را به وجود می‌آورد.	کاهش دبی غالب سیلاب
کاهش دبی غالب رودخانه باعث کاهش ابعاد رودخانه و رشد پوشش گیاهی می‌گردد. این عوامل باعث کاهش ظرفیت انتقال می‌گردد و یا به عبارتی اثر مخزن در کنترل سیلاب کاهش می‌یابد.	کاهش رسوب ریزدانه
موجب کاهش رسوب‌گذاری و نیاز به لایروبی کم در آبراهه کشتیرانی می‌گردد. باعث افزایش فرسایش در طول سواحل، کاهش مواد غذایی و ورود رسوب به اراضی و کاهش تشکیل دلتا در مصب رودخانه می‌شود. شفافیت آب رها شده مزایایی برای استفاده کنندگان و آبزیان دارد.	رسوب‌زدایی
زمان و مقدار رسوب‌زدایی باعث تاثیرات منفی زیست محیطی، اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی می‌گردد.	

۲-۲-۲ تاثیر اجتماعی - زیست محیطی مواد لایروبی شده

یکی از راهکارهای احیای بخشی از حجم مفید مخزن رسوب‌زدایی می‌باشد. هر چند که خارج کردن مواد رسوبی می‌تواند فوایدی از منظر استفاده از مخزن را داشته باشد ولی باید توجه داشت که این مواد می‌توانند مشکلات زیست محیطی و اجتماعی را نیز باعث گردند. اطلاع از این مشکلات کمک می‌کند تا آن راهکارهایی که کم‌ترین خسارات را خواهند داشت مورد استفاده قرار گیرند. مواد رسوبی

که در اثر عملیات لایروبی یا رسوب‌زدایی در مکانی تخلیه می‌شوند باید از نظر فایده و یا آسیبی که ممکن است به محیط زیست وارد کنند مورد بررسی قرار گیرند. اندازه مواد رسوبی لایروبی شده از مخازن سدها تاثیر مهمی در این بررسی‌ها دارد. در صورتی که لایروبی از محل‌های بالادست مخزن نظیر دلتاها انجام شود، معمولاً بیش‌تر ذرات درشت‌دانه و در محدوده شن و ماسه هستند که از نظر زیست محیطی مشکلی ندارند ضمن این که می‌توان با احداث معادن شن و ماسه از این مصالح به نحو مطلوبی بهره‌برداری کرد. لایروبی مصالح ریزدانه سیلت و سطحی البته نیازمند بررسی بیش‌تر می‌باشد. این ذرات ممکن است حاوی عناصر مضر باشند، مثلاً عناصر سنگین، که از نظر زیست محیطی مشکل داشته باشند. آب همراه مواد لایروبی ممکن است از نظر ترکیب شیمیایی و یا pH مشکل داشته باشد. علاوه بر این محل تخلیه این رسوبات بخاطر این که عمل زهکشی به کندی صورت می‌گیرد، ممکن است باتلاقی شود و یا این مکان، محل مناسبی برای رویش گیاهان خودرویش نظیر گز و غیره گردد. در صورتی که در آن منطقه بادهای تند و طولانی مدتی وزش می‌کنند و مواد لایروبی شده ریزدانه در فضای آزاد ریخته می‌شوند، باید تمهیدات لازم به منظور جلوگیری از انتقال این رسوبات توسط جریان‌های بادی در نظر گرفته شود. به طور مثال مالچ پاشی، پوشش گیاهی، استفاده از دیواره‌های بادشکن و غیره می‌تواند در تثبیت مصالح لایروبی کمک کند. مهم‌تر از همه عملیات لایروبی باید در فصولی انجام گیرد که خسارات وارده به آبزیان به حداقل برسد، به طور مثال این عملیات نباید در فصل تخم‌ریزی تا رشد بچه ماهی‌ها انجام گیرد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

۲-۲-۳ نکاتی در خصوص بهبود کیفی آب در خلال رسوب‌زدایی

چنانچه بتوان در زمان عمل رسوب‌زدایی میزان اکسیژن محلول را اضافه کرد، ماهی‌های کم‌تری تلف خواهند شد. نتایج مطالعات محققین فرانسوی نشان داده است که با تزریق هوای آزاد می‌توان میزان اکسیژن محلول را به ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر هم افزایش داد و در صورت تزریق اکسیژن خالص، این میزان تا ۸ میلی‌گرم در لیتر هم می‌رسد.

از دیگر روش‌ها می‌توان به هدایت جریان‌های غلیظ رهاشده به مخازن موقت و طبیعی که خارج از مسیر رودخانه وجود دارد، اشاره کرد. رسوبات نهشته در این مخازن را سپس می‌توان به صورت مکانیکی تخلیه کرد. روش دیگری که در فرانسه استفاده شده است، اضافه کردن جریان آب زلال به جریان غلیظ رها شده از مخزن در زمان رسوب‌زدایی می‌باشد. آب زلال را می‌توان از مخزن فرعی تامین کرد.

در خلال برنامه‌ی رسوب‌زدایی، مصالح ریزدانه رسوبی روی بستر و ساحل رودخانه ترسیب می‌گردد و محیط نامناسبی را برای تخم‌ریزی ماهیان ایجاد می‌کند. از این رو بهتر است مدتی پس از رسوب‌زدایی، جریان زیادی از آب زلال مخزن رهاسازی شود تا این رسوبات ریزدانه نیز شسته شوند. در مخزن سد سفیدرود در پایان فصل رسوب‌زدایی، جریان آب زلال با دبی ۵۰۰ مترمکعب در ثانیه، معادل دبی لبریز رودخانه، رهاسازی می‌شود تا رسوبات ریزدانه که در بستر رودخانه ترسیب شده اند شسته شوند.

قبل از رسوب‌زدایی در مقاطع مختلف رودخانه باید ایستگاه‌های اندازه‌گیری نصب، تا در خلال رسوب‌زدایی میزان غلظت رسوب، اکسیژن محلول و سایر پارامترهای کیفی آب به طور مرتب اندازه‌گیری شود (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

۳-۲ روش‌های مدیریت رسوب

الف - روش‌های کنترل فرسایش و رسوب شامل موارد زیر است :

- ✓ استفاده از تونل کنارگذر^۱
- ✓ مدیریت حوضه‌های آبریز
- ✓ سازه‌های رسوب‌گیر در بالا دست مخزن
- ✓ مخازن رسوب‌گیر خارج از رودخانه
- ✓ کانال‌های ذخیره‌ای خارج از رودخانه

ب - مدیریت رسوب در مخزن که عمدتاً شامل مورد زیر است:

- ✓ بهره‌برداری صحیح از مخزن

ج - روش‌های هیدرولیکی (هیدروساکشن^۲) تخلیه رسوب از مخزن نظیر روش‌های زیر است:

- ✓ رسوب‌زدایی (شویی) هیدرولیکی^۳
- ✓ سیفون کردن^۴
- ✓ عبوردهی جریان غلیظ^۵

د - استفاده از پمپ‌های لایروب:

- ✓ لایروب مکانیکی
- ✓ لایروب هیدرولیکی

^۱ By-passing

^۲ Hydrosuction

^۳ Hydraulic flushing

^۴ siphoning

^۵ Density current venting

۲-۳-۱ رسوب‌زدایی با استفاده از تونل کنارگذر^۱

از جمله روش‌هایی که در تعدادی از مخازن سدها استفاده شده است، قرار دادن دهانه تونل در محل ورودی رودخانه به مخزن و احداث آن تا پایین دست سد می باشد. بدین ترتیب در زمان‌های سیلابی که رودخانه بخش عمده‌ای از رسوبات را به همراه دارد، رسوب می‌تواند از این مجرا به پایین دست سد منتقل گردد. با این روش از تاثیر منفی عملیات رسوب‌زدایی در پایین دست جلوگیری می‌شود و تقریباً شرایط انتقال رسوب به شرایط قبل از احداث سد برمی‌گردد. البته موفقیت این سیستم بستگی به شرایط هیدرولیکی، هندسه مخزن، مسایل زیست محیطی، شرایط پایین دست و مسایل بهره‌برداری دارد. این سیستم در انتقال ذرات ریزدانه غیرچسبنده بسیار موثر می‌باشد. یکی دیگر از روش‌ها می‌تواند نصب لوله شکاف دار در بستر مخزن باشد. شکاف به صورت طولی بوده و رسوبات از این شکاف وارد لوله و نهایتاً به خارج هدایت می‌شوند (Holly, et al., 1990).

۲-۳-۲ احداث کنارگذر لوله‌ای^۲

کنار گذر لوله‌ای روش دیگری برای خروج رسوبات نهشته شده در داخل مخزن می باشد. در این روش رسوبات نهشته شده در مخازن بالادست مخزن اصلی را می‌توان از طریق لوله‌ای که از میان دریچه‌های تحتانی سد به طرف پایین دست سد هدایت می‌شود، تخلیه نمود. در این روش لوله به صورت دائمی قرار می‌گیرد و استفاده از آن برای خروج مواد رسوبی (حداکثر به اندازه ماسه) به صورت ثقیلی مناسب است. این روش در سد اسپنسر^۳ در رودخانه نیوبرارا^۴ استفاده شده است. برای راندن بیشتر در این روش، لوله در قسمت مکش باید قابلیت جابه‌جا شدن را داشته باشد و ضمناً برای

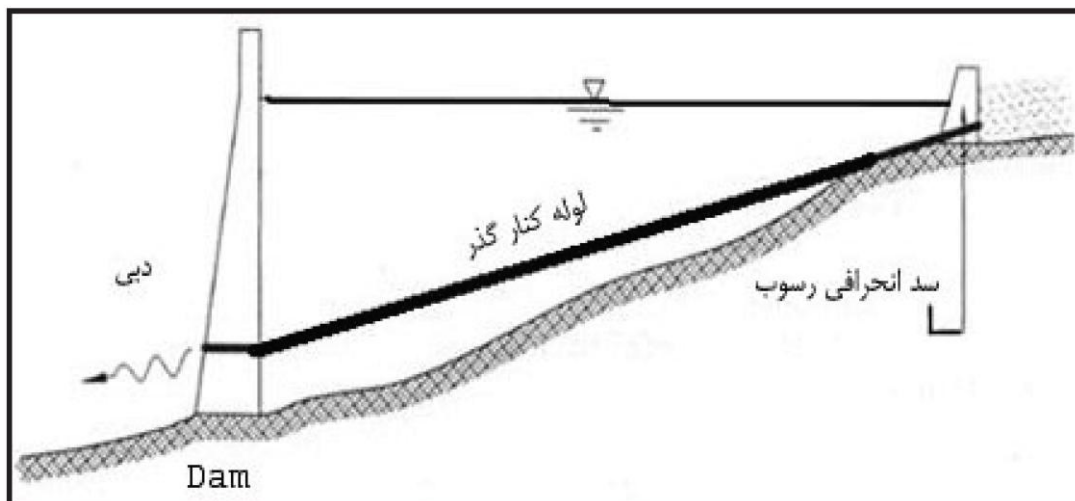
^۱ By pass tunnel

^۲ By pass pipe

^۳ Spencer dam

^۴ Niobrara River

شرایطی که امکان ورود شن وجود داشته باشد، برای تامین سرعت جریان بیش تر نصب پمپ ضروری است. شکل ۳-۲ کنارگذر لوله ای را نشان می دهد (Holly, et al., 1990).



شکل ۳-۲: نمایش روش کنارگذر لوله ای (Holly, et al., 1990)

۳-۳-۲ استفاده از لایروب

به طور کلی لایروب های استفاده شده در مخازن سدها را می توان به دو دسته کلی لایروب های هیدرولیکی و لایروب های مکانیکی تقسیم کرد.

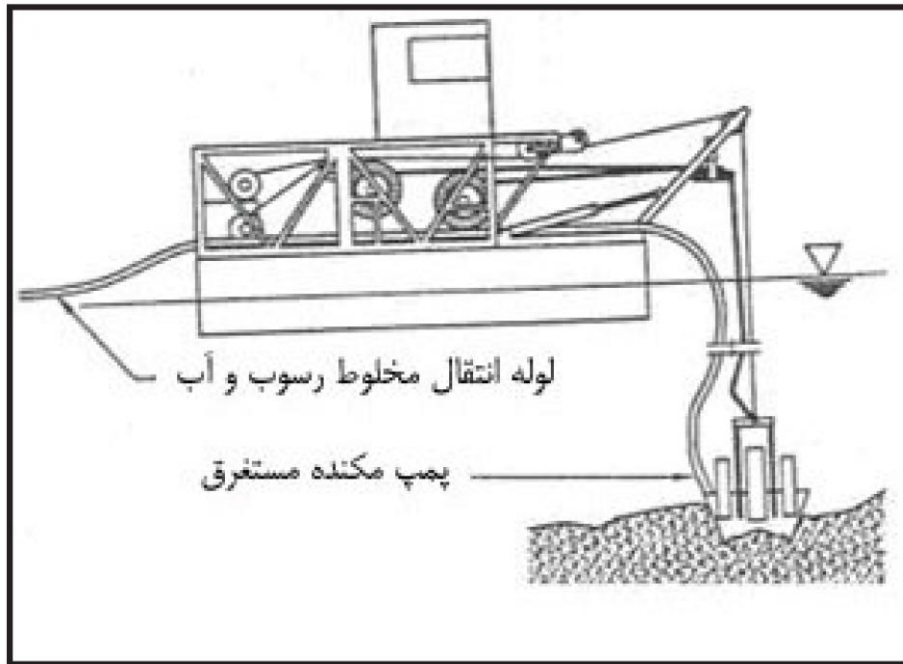
۱-۳-۳-۲ استفاده از لایروب هیدرولیکی (پمپ لایروبی)^۱

لایروب های هیدرولیکی شامل پمپ سانتریفیوژ نصب شده بر روی لایروب به منظور مکش رسوبات و لوله های انتقال برای حمل رسوبات به محل مورد نظر می باشد. از این روش در عمق ۲۰۰ متر مخزن لوزان^۲ کشور سوئیس با موفقیت برای خروج رسوبات نهشته شده در محل ورودی نیروگاه استفاده شده است. از مزایای این روش این است که رسوب کم تر با آب مخزن مخلوط می شود و نیازی هم به پایین آوردن سطح آب مخزن نیست. در این سیستم از پمپ های مخصوصی استفاده می شود تا با ایجاد گرداب مکنده نظیر آنچه که در گرداب ها دیده می شود، رسوب بستر را به سمت دهانه پمپ

^۱ Submerged dredge pump

^۲ Luzzzone Reservoir

مکش می‌کند در نتیجه نیازی به تیغه برای کندن رسوب نمی‌باشد. این سیستم قادر است تا قطعات چوب و سنگ را نیز منتقل کند. البته از معایب این سیستم هزینه زیاد آن در مقایسه با رسوب‌زدایی هیدرولیکی می‌باشد. شکل (۴-۲) پمپ لایروبی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲: نمایش استفاده از پمپ لایروبی (Holly, et al., 1990)

بدیهی است پمپ نمی‌تواند مواد رسوبی جامد را مکش نماید، از این رو ضروری است که رسوبات قبل از مکش توسط ابزارهای مخصوص کنده و همراه با جریان آب به بیرون حمل شوند. نوع تجهیزات برای کندن رسوبات بستگی به میزان تراکم رسوبات نهشته شده دارد. بعضی از انواع لایروب‌های هیدرولیکی که بر اساس نوع مکنده آن‌ها طبقه بندی می‌شود عبارتند از:

- لایروب مکنده تیغه‌ای^۱، لایروب سطل‌دار^۲، لایروب مکنده^۳، لایروب مخزنی^۴، لایروب

^۱ Cutter suction dredger

^۲ Bucket wheel dredger

^۳ Suction dredger

^۴ Trailing suction Hopper dredger

خاکروبه‌ای^۱ (Holly, et al., 1990)

۱-۱-۱-۱ استفاده از لایروب مکانیکی

نوع دیگر لایروب‌ها، لایروب‌های مکانیکی هستند. در این لایروب‌ها مواد رسوبی به صورت جامد از جا کنده شده و توسط تسمه نقاله به بیرون و یا در مخزن لایروب ذخیره می‌گردد. بعضی از انواع لایروب‌های مکانیکی عبارتند از:

لایروب سطلی^۲، لایروب بیل مکانیکی^۳، لایروب قاشقی^۴، لایروب چنگک دار^۵

۲-۳-۴ تخلیه بخشی از رسوب در زمان سیلاب

یکی از روش‌های کاهش رسوب‌زدایی رها سازی بخشی از جریان سیلابی می‌باشد. در این شرایط با باز کردن دریچه‌های تحتانی و یا سرریز، بخشی از جریان خارج ولی از آنجا که میزان جریان ورودی بیش‌تر از جریان خروجی است حجم عمده‌ای از جریان در مخزن ذخیره می‌شود که به تدریج خارج خواهد شد. لذا نمی‌توان با این روش کل رسوب ورودی همراه سیل را خارج کرد. توجه شود که معمولاً روش عبور دهی رسوب همراه با سیل در مقایسه با روش رسوب‌زدایی هیدرولیکی دارای اثرات زیانبار کم‌تری است چرا که غلظت رسوب رها شده از سد تقریباً برابر غلظت رسوب ورودی است. به طور کلی مقدار رسوبات تخلیه شونده در این روش بستگی به دبی، شیب، و مدت زمان سیلاب دارد. به طور کلی، روش عبوردهی رسوبات در زمان سیلاب زمانی موثر واقع می‌شود که پایین افتادن ارتفاع آب مخزن حدوداً نصف ارتفاع سد بوده و ظرفیت دریچه‌ها بیش‌تر از حداقل دو برابر متوسط جریان سالانه ورودی به سد باشد (Garric, et al., 1990).

^۱ Dustpan dredger

^۲ Bucket chain dredger

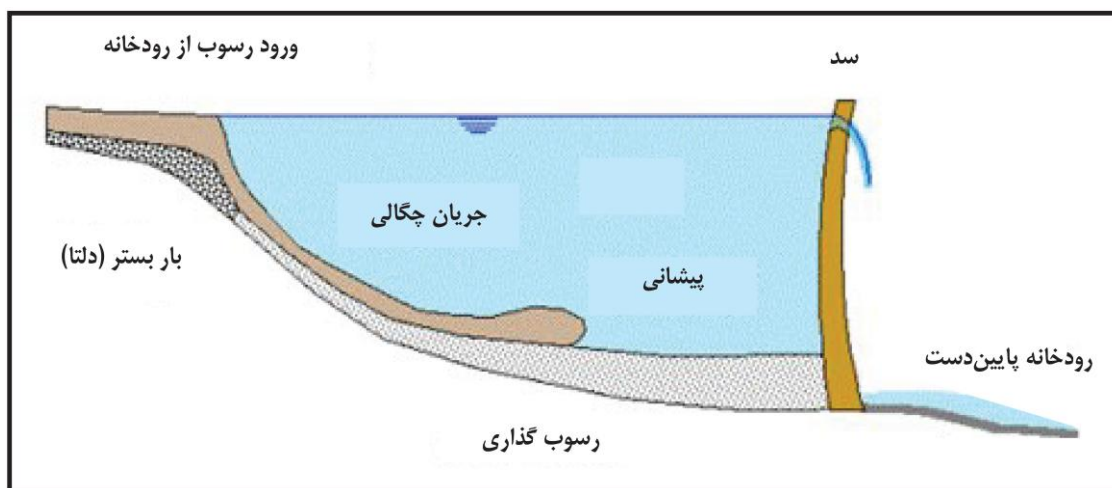
^۳ Backhaul dredger

^۴ Dipper dredger

^۵ Grab dredger

۲-۳-۵ تخلیه رسوب ریزدانه با جریان های چگال

در فصول سیلابی که با بارش شدید باران در حوضه های بالادست سد توأم است حوضه آبریز دارای سطح خشک و پوشش گیاهی اندکی است و به همین دلیل حجم بسیار زیادی از رسوبات حوضه به صورت معلق همراه با رواناب ناشی از بارندگی وارد رودخانه می شود. جریان ورودی به مخزن دارای غلظت بالایی از مواد رسوبی بوده و با کاهش سرعت در مخزن سد، مواد معلق در کف مخزن به شکل جریان گلی به سمت بدنه سد جریان می یابد که به آن جریان غلیظ می گویند. این جریان حتی می تواند تا ۱۰۰ کیلومتر طول دریاچه سد را طی کند. شکل ۲-۵ این پدیده را نشان می دهد. در مخازن عمیق و با شیب طولی زیاد، جریان غلیظ اهمیت بیش تری دارد. در این مخازن، دریاچه های تخلیه تحتانی تحت فشار بالایی قرار داشته و با سرعت زیادی می توانند رسوبات را منتقل کنند. شیب تند مخزن نیز باعث سرعت زیاد رسوبات می شود (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).



شکل ۲-۵: چگونگی تشکیل جریان غلیظ و حرکت آن به درون مخزن (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

۲-۳-۶ رسوب زدایی هیدرولیکی

رسوب زدایی هیدرولیکی و یا عملیات شاس (به زبان فرانسه) به عملیاتی اطلاق می شود که با باز کردن تخلیه کننده های تحتانی (درکف یا رقوم پایین تر) رسوبات نهشته شده در بستر مخزن در اثر

فرسایش کننده شده و به همراه جریان آب از مخزن خارج شود. در ابتدای بازکردن دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی به منظور رسوب‌زدایی، رسوبات تجمع یافته تحت فشار آب از مخزن تخلیه می‌گردد ولی چنانچه سطح آب مخزن تا حد دریچه‌ها پایین آورده شود، رسوبات در اثر فرسایش پس رونده به دلیل جریان‌های رودخانه‌ای کننده شده و به بیرون هدایت می‌شوند. در این روش که از انرژی جریان آب برای تخلیه رسوبات استفاده می‌گردد می‌توان بخشی از حجم ذخیره مخزن را که در اثر انباشت رسوبات از دست رفته است احیا نمود و ظرفیت ذخیره جدیدی را ایجاد کرد. این روش از دیرباز معمول بوده است. قدیمی‌ترین روش رسوب‌زدایی در کشور اسپانیا در قرن شانزدهم میلادی تجربه شده است. بسته به این که رقوم سطح آب مخزن سد در زمان انجام عملیات رسوب‌زدایی چگونه باشد، دو روش متفاوت رسوب‌زدایی به وجود می‌آید که عبارتند از: (Bonham-Carter, et al., 1968)

✓ رسوب‌زدایی آزاد^۱

✓ رسوب‌زدایی تحت فشار^۲

۱-۶-۳-۲ رسوب‌زدایی هیدرولیکی تحت فشار

در این روش رسوب‌زدایی، بخشی از رسوبات نهشته شده در داخل مخزن از طریق دریچه‌های عمقی به خارج از سد تخلیه می‌شود و سطح آب مخزن در زمان عملیات رسوب‌زدایی در تراز بالاتر از دریچه‌ها قرار دارد. در این روش رسوب‌زدایی، رسوبات نزدیک به دریچه تخلیه و پس از گذشت مدت زمان معینی یک مخروط رسوب شویی به شکل یک قیف در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی تشکیل شده و به سمت بالادست گسترش می‌یابد. پیشروی چاله به سمت بالادست تا زمانی ادامه دارد که مخروط تشکیل شده به تعادل برسد. مدت زمان به تعادل رسیدن آن بستگی به دبی جریان آب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و جنس رسوبات نهشته شده دارد. شیب چاله تشکیل شده

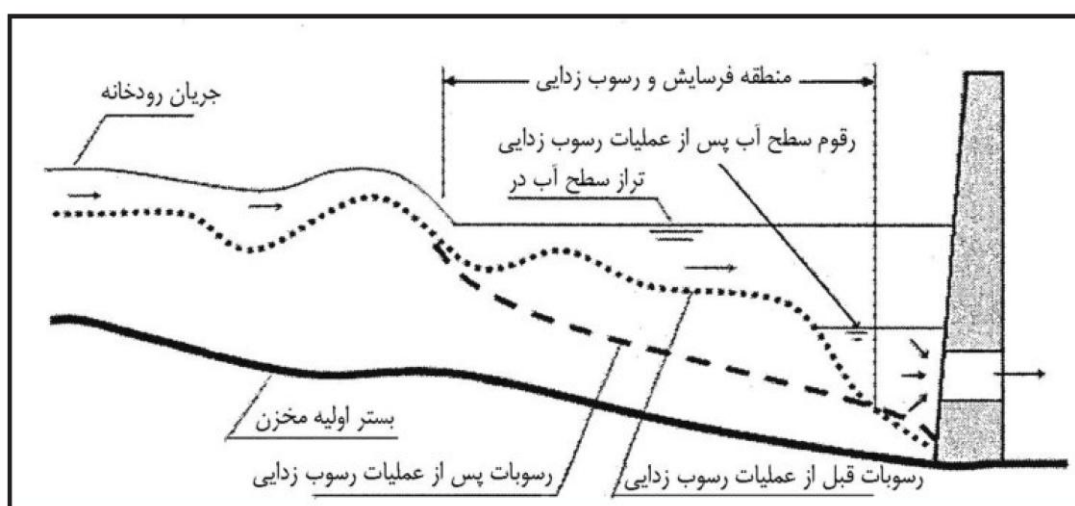
^۱ Free flushing

^۲ Pressure flushing

در محور رودخانه بیش‌تر از شیب عرضی چاله می باشد. مقدار شیب به جنس مصالح رسوبی نیز بستگی دارد به طوری که در رسوبات چسبنده شیب بسیار تندتر از رسوبات غیرچسبنده است. در روش رسوب‌زدایی تحت فشار معمولاً حجم کمی از رسوبات تخلیه می شوند و اثر این روش در دفع رسوبات موضعی می باشد. معمولاً در ابتدای عمل رسوب‌زدایی، رسوبات به صورت خمیری، سپس مخلوطی از رسوب و آب و در نهایت آب زلال خارج می شود (Bonham-Carter, et al., 1968).

۲-۳-۶-۲ رسوب‌زدایی هیدرولیکی آزاد

چنانچه سطح آب مخزن سد در زمان عملیات رسوب‌زدایی به پایین‌ترین حد خود برسد به طوری که جریان رودخانه‌ای در داخل مخزن سد تشکیل گردد آنرا رسوب‌زدایی آزاد نامند. در رسوب‌زدایی هیدرولیکی آزاد پایین آوردن سطح آب مخزن در دو مرحله صورت می گیرد. در مرحله اول سطح آب مخزن به آهستگی پایین آورده می شود (برای مثال ۱ متر در هر روز سطح آب مخزن تا ترازدهانه ورودی نیروگاه). در مرحله دوم سطح آب مخزن خیلی سریع کاهش داده می شود. رسوب‌زدایی آزاد راندمان بیش‌تری نسبت به رسوب‌زدایی تحت فشار دارد. شکل ۲-۶ به طور شماتیک نحوه عمل رسوب‌زدایی آزاد را نشان می دهد. (Bonham-Carter, et al., 1968)



شکل ۲-۶: نحوه عمل رسوب‌زدایی آزاد (Bonham-Carter, et al., 1968)

۷-۳-۲ روش تخلیه هیدرولیکی HSRS (هیدروساکشن)

روش مکش هیدرولیکی رسوبات به دو صورت انجام می‌شود:

✓ مکش هیدرولیکی بصورت لایروبی^۱

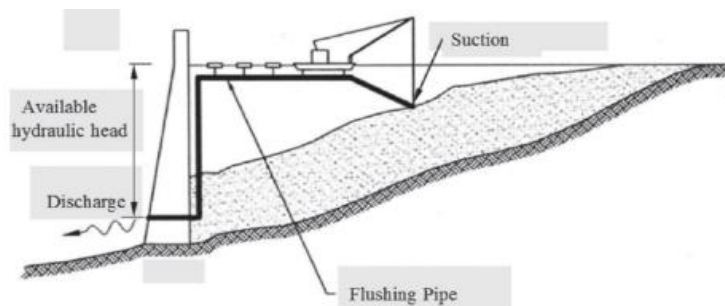
✓ مکش هیدرولیکی بصورت کنارگذر^۲

۱-۷-۳-۲ حالت لایروبی

روش‌های مرسوم مکش هیدرولیکی از یک پمپ مکانیکی برای تامین قدرت رانش مورد نیاز در مکش و انتقال رسوبات در مخزن استفاده می‌کردند. در مکش هیدرولیکی بصورت لایروبی، رسوبات ته‌نشین شده از طریق یک لوله و با استفاده از اختلاف هد آب بالادست و پائین‌دست مکش می‌شوند و به نقطه‌ای در پائین‌دست منتقل می‌شود. این روش نیازی به انرژی برق ندارد (Çetinkaya, 2006). از این‌رو، انرژی پتانسیل موجب مکش آب و رسوبات به لوله‌های انتقال می‌شوند و هیچ انرژی اضافی برای انتقال رسوبات از نقطه ورود تا نقطه تخلیه مورد نیاز نمی‌باشد. این روش از یک خط لوله استفاده می‌کند که بر روی بستر یا در نزدیکی بستر عبور داده می‌شود و به سمت بالادست تا نقطه ته‌نشین رسوبات امتداد می‌یابد. مکش هیدرولیکی به روش لایروبی دو نوع است: تخلیه تحتانی و لایروبی سیفونی. در لایروبی سیفونی، لوله انتقال از روی سد می‌گذرد، و در تخلیه تحتانی لوله از دریچه‌های تحتانی عبور می‌کند. هر دو روش از قایق شناور استفاده می‌کنند که ورودی خط لوله را در داخل مخزن حرکت می‌دهد تا ناحیه بزرگتری را تحت لایروبی قرار دهد (Hotchkiss, et al., 1995).

^۱Hydrosuction dredging

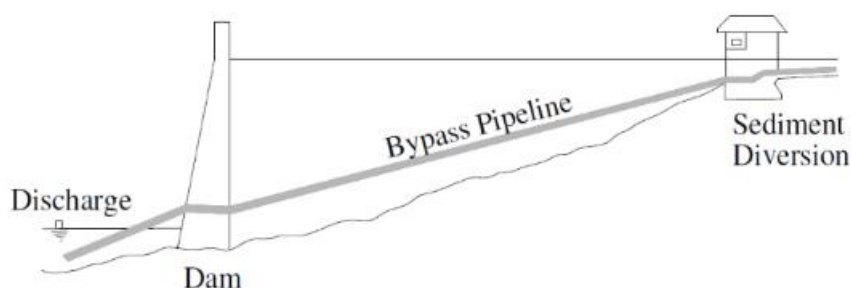
^۲Hydrosuction Bypass



شکل ۷-۲: حذف رسوب به روش لایروبی هیدروساکشن، (Hotchkiss, et al., 1995)

۲-۷-۳-۲ حالت کنارگذر

در مکش هیدرولیکی بصورت کنارگذر نیز، اصول مانند آنچه در مکش هیدرولیکی بصورت لایروبی گفته شد می باشد، با این تفاوت که یک ایستگاه دائمی در ورودی مخزن احداث می شود تا رسوبات را در یک خط لوله هدایت کند. مجرای لوله ای بین ورودی مخزن و پائین دست سد وجود دارد. در این روش رسوبات بدون اینکه در کف مخزن ته نشین شوند توسط لوله انتقال می یابند (Hotchkiss, et al., 1995). ایده ای شبیه به این روش توسط (Durgunoglu, 1991) ارائه شد که دارای یک سد در کف مخزن برای انباشته کردن جمع کردن رسوبات در بالادست خود بوده است. هیچ سیستم مکش هیدرولیکی بصورت کنارگذر را برای گزارش یافته نشده است و هیچ مثال میدانی برای این روش وجود ندارد (Hotchkiss, et al., 1995). شکل ۸-۲ نحوه عمل رسوب زدایی با روش کنارگذر را نشان می دهد.



شکل ۸-۲: حذف رسوب به روش کنارگذر هیدروساکشن (Hotchkiss, et al., 1995)

۳-۷-۳-۲ مزایا، معایب و کاربردهای روش تخلیه تحتانی رسوبات

مزایا:

۱. استفاده از اختلاف انرژی پتانسیل تراز آب بالادست و پائیندست مخزن و عدم نیاز به انرژی اضافی،

۲. هزینه اندک در مقایسه با روش‌هایی مانند لایروبی مکانیکی،

۳. قابل استفاده برای رسوبات نزدیک بدنه سد و دور از بدنه سد، در حالیکه روش آبشویی برای رسوبات اطراف دریچه، تخلیه تحتانی کاربرد دارد،

۴. رهاسازی رسوبات براساس ظرفیت حمل آبراهه در پائیندست و حفظ محیط زیست آبراهه،

۵. قابلیت انجام در فصول پرآبی و کم‌آبی،

۶. هدر رفت کمتر آب،

۷. عدم توقف در بهره‌برداری مخزن،

۸. قابلیت انتقال رسوبات به نقطه مورد نظر در پائیندست بجای دیپوی رسوبات بلافاصله در پائیندست بدنه سد.

۹. قابلیت استفاده مجدد از رسوبات در این روش

معایب:

۱. قابل استفاده برای سدهای کوچک.

۲. این روش برای ذرات ریزدانه موثر است و برای ذرات تحکیم یافته و ذرات درشت‌دانه موثر نمی‌باشد.

۳. احتمال گرفتگی لوله مکش رسوبات پس از رفتن داخل رسوبات وجود دارد .

۴-۷-۳-۲ کاربردها:

روش تخلیه تحتانی برای مدیریت رسوبات هر سد و مخزنی قابلیت کاربرد ندارد. عملکرد روش به هد آبی کافی برای انتقال مصالح رسوبی به پائین دست نیاز دارد. اگر دانه بندی رسوبات نسبتاً درشت باشد (شن و قلوه سنگ) و نیز چندین کیلومتر از سد فاصله داشته باشد، هد آبی زیادی برای انتقال آن مورد نیاز خواهد بود. همچنین روش مکش هیدرولیکی رسوبات برای انتقال ذرات ریز و غیرچسبنده بسیار موثر است (Hotchkiss, et al., 1995).

۴-۲ مروری بر کارهای انجام شده

رسوبات انباشته شده در مخازن می‌تواند با لایروبی هیدرولیکی^۱ یا حفاری مکانیکی^۲ تخلیه شود (Morris, et al., 1997). در روش‌های حفاری پارامترهای حجم و اندازه رسوب، شکل بستر، ارتفاع آب و ضوابط زیست محیطی باید مورد بررسی قرار بگیرد که همه آنها بر کارآمدی و هزینه‌های روش تاثیرگذار می‌باشند. همه روش‌های حفاری به دلیل حجم زیاد تجهیزات مورد استفاده و دشواری فراهم کردن مکان مناسب پرهزینه است. برداشتن حجم زیاد رسوبات از مخازن معمولاً نیازمند لایروبی است که رسوبات را از کف به سطح آب منتقل کرده و در مکانی دپو می‌کند (Herbich, 2000). بیشتر روش‌های لایروبی برای مخازن کوچک به دلیل پرهزینه بودن مناسب نیستند. روشی کم هزینه با راندمان بالا برای لایروبی در سدهای کوچک مورد نیاز است. در جاییکه نیاز به انرژی خارجی نباشد، لایروبی سیفونی^۳ روشی است که پیشنهاد می‌شود. این روش به دلیل استفاده از اختلاف انرژی پتانسیل بالادست و پایین دست به عنوان انرژی محرک از روش‌های دیگر متمایز است (Bruke, 1985). لوله مورد استفاده می‌تواند از بالای تاج سد یا از داخل دریچه تحتانی عبور داده شود (Hannoyer, 1974). اولین بار در

^۱ hydraulic dredging

^۲ excavation

^۳ Siphone dredging

مخزن سد جی دیویا^۱، در کشور الجزایر، طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۴ با استفاده از این روش سیفون ۱/۴ میلیون متر مکعب رسوبات تخلیه شد (Fan, et al., 1992). از سیستم مکش هیدرولیکی^۲ و سیفون در سد ریوماجون^۳ به منظور تخلیه رسوبات از مقابل آبگیرهای تحتانی سد استفاده شد. آن‌ها از لوله‌هایی به قطر ۴۰ تا ۴۵ سانتی متر و طول ۴۴ متر استفاده کردند که دبی و غلظت رسوب به ترتیب ۱ m³/s و ۱۵ kg/m³ بوده است (Evrard, 1980). تحقیقات گسترده‌ای بر روی این روش توسط افتخارزاده (۱۹۸۷) در ایالات متحده شروع شد. وی علاوه بر بیان اجزای اصلی مورد استفاده در این روش، طرح سیستم تخلیه هیدروساکشن را برای مخزنی در کالیفرنیا ارائه داد (Eftekharzadeh, 1987). همچنین از این روش برای رسوب‌زدایی مخزن سد آلپاین^۴ در کشور ایتالیا و جاهای دیگر استفاده شد و در طول ۲۰ سال اجرای این عملیات بیش از ۵ میلیون متر مکعب رسوبات تخلیه شد (Geolidro, 1990). در طی این عملیات از قایق هدایت شونده و تیغه در ورودی لوله برای ایجاد اغتشاش در رسوب استفاده شد. بیشترین تعداد استفاده از این روش در کشور چین گزارش شده است. آن‌ها از سال ۱۹۷۵ از سیستم سیفون و تخلیه تحتانی در بیش از ۱۰ مخزن استفاده کرده‌اند (Huang, 1989). حجم مخازن رسوب‌زدایی شده بین ۱/۵ تا ۲۴ میلیون متر مکعب و غلظت رسوب نیز در حدود ۱۹ تا ۱۵۰ kg/m³ بوده است. Wu پیشنهاد داد که برای افزایش راندمان روش لایروبی سیفونی سر لوله مکش اصلاح شود (Wu, 1998).

خسرونژاد طی یک طرح تحقیقاتی به مطالعه و ارائه راه کارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش هیدروساکشن برای رسوب‌زدایی مخازن سدهای کشور ایران پرداخت و روابط محاسبه دبی رسوبی در سیستم هیدروساکشن و دستورالعمل طراحی هیدرولیکی سیستم رسوب‌زدایی هیدروساکشن را ارائه کرد. وی بیان داشت، حالت بهینه انتقال رسوب در خط لوله زمانی رخ می‌دهد که جریان رسوبات در شرایطی

^۱ Djidiouia

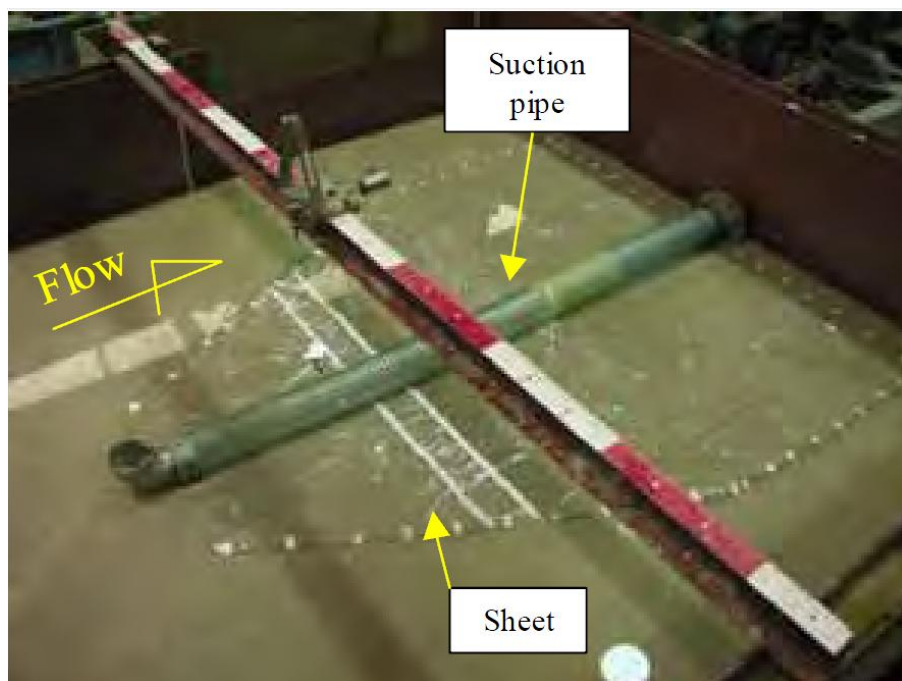
^۲ Hydro aspirator

^۳ Rioumajon

^۴ Alpine

درست قبل از ته‌نشینی ذرات رسوب (آستانه انتقال) باشد. وی همچنین با ارائه مدل Hydro- HSRD (Suction System for Reservoir Desiltation) به زبان برنامه نویسی Visual Basic تحقیقات خود را به صورت یک بسته نرم افزاری ارائه کرد. وی با کاربرد مدل HSRD برای سد انحرافی تاریک (پائین دست سد سفید رود، استان گیلان) نتیجه گرفت مدل HSRD بخوبی می‌تواند طرح هیدرولیکی مناسبی برای یک سیستم تخلیه رسوب هیدروساکشن ارائه نماید (خسرونژاد , ۱۳۸۷).

ساکورای^۱ و همکاران روش جدیدی را ارائه دادند. این روش شامل یک لوله مکش و یک صفحه می‌باشد که بر مبنای اختلاف انرژی بالادست و پایین دست عمل می‌کند (Sakurai, et al., 2007). لوله شامل یک آبگیر در قسمت جلویی و شیاری در طول قسمت زیرین آن است (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹: سیستم مورد استفاده در آزمایش‌های (Sakurai, et al., 2007)

مخزن مورد استفاده دارای ۴/۵ متر طول، ۲/۵ متر عرض، ۱/۳ متر ارتفاع بوده است. عمق رسوب درون مخزن ۸۰ سانتی متر و لوله مورد استفاده از جنس pvc به قطر داخلی ۱۰۱/۶ میلی‌متر بوده

^۱ Sakurai

است. در طول عملیات مکش، به دلیل تغییر شکل سطح رسوبات و فاصله بوحود آمده بین لوله و رسوب، تماس لوله با رسوبات قطع شده و فقط آب تخلیه می شود. در نتیجه تصمیم گرفتند که از لوله انعطاف پذیر استفاده کنند که همزمان با پایین رفتن سطح رسوبات لوله نیز خم شود و در تماس با رسوبات باشد. نتایج آزمایش های آنها به شرح زیر است:

۱. تازمانی که عمق مخروط آبشویی به ۵ برابر قطر لوله مکش برسد، عملیات تخلیه رسوب ادامه پیدا می کند.

۲. برای دبی بیشتر و قطر رسوب ریزدانه تر (غیر چسبنده) راندمان تخلیه رسوب افزایش پیدا می کند.

۳. با بزرگ تر شدن اندازه حفره آبشویی، عملکرد رسوب شویی افزایش پیدا می کند.

آزمایش های فوق با لوله ای به قطر ۶۰/۵ میلی متر نیز انجام و نتایج فوق تکرار گردید. آنها در آزمایش های خود ۳ حالت تک آبگیر، ۲ آبگیر و ۴ آبگیر را مورد بررسی قرار دادند. در حالت تک آبگیر با بزرگ تر شدن حفره آبشویی، رسوب دیواره های مخروط بر روی صفحه ریزش می کند. در نهایت ورودی لوله در زیر رسوبات مدفون می شود و فضای داخل لوله بوسیله رسوبات پر می شود. در این حالت سیستم قادر نخواهد بود که بطور پیوسته مکش کند و خارج کردن سیستم از زیر رسوبات دشوار خواهد بود.

در حالت ۲ آبگیر از صفحه ای دایره ای شکل استفاده شد. لوله به وسط صفحه وصل شده و لوله دیگری به وسط لوله قبل اتصال یافته است. از این سیستم انتظار می رفت که به دلیل استفاده از ۲ ورودی، منطقه وسیع تری را مکش کند. برای حالتی که سرتاسر طول لوله شیار خورده است، قسمت مرکزی لوله در طول مدت آزمایش در زیر رسوبات دفن می شود. در این حالت خارج کردن تجهیزات از زیر رسوبات دشوار می باشد.

در حالت ۴ آبگیر نیز از صفحه ای دایره ای شکل و دو لوله که به صورت ضربدری بهم متصل شده

اند استفاده شده است. همانند حالت ۲ آبگیره مرکز لوله در زیر رسوبات مدفون می‌شود و شکل ضربدری لوله مانع تماس صفحه با سطح رسوب می‌شود. در نتیجه انتهای لوله از سطح رسوبات بلند شده و سیستم نمی‌تواند رسوب مکش کند.



شکل ۲-۱۰: آبگیرهای مدفون در حالت ۲ آبگیره (Sakurai, et al., 2007)

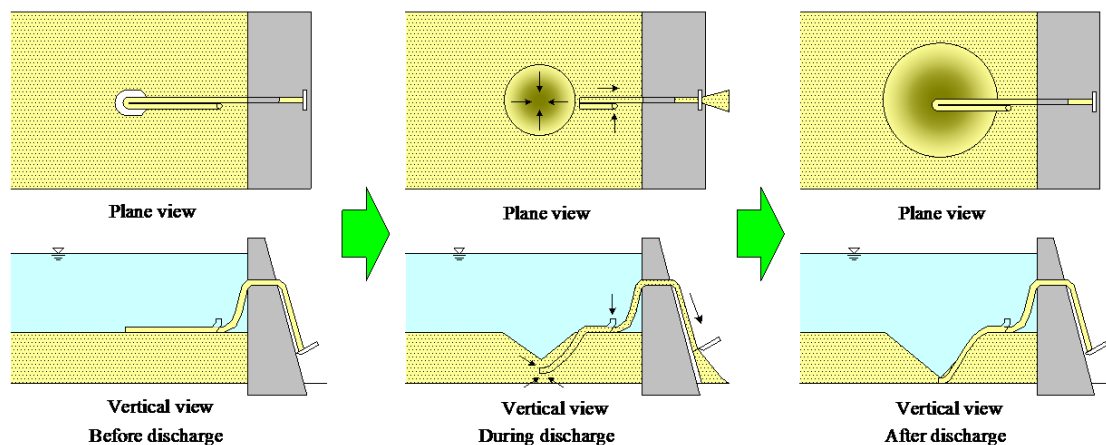


شکل ۲-۱۱: حالت ۴ آبگیره (Sakurai, et al., 2007)

در آخر آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حالت تک آبگیره به دلیل شکل و ساختار ساده تر پتانسیل

بیشتری برای تخلیه رسوب دارد.

ساکورای و هاکویشی^۱ در ادامه تحقیقات پیشین خود در مورد روش تخلیه رسوبات با لوله انعطاف پذیر، روش جدید تخلیه رسوب با استفاده از اختلاف تراز آب بین ناحیه بالادست و ناحیه پائین دست "سد" مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات^۲ را ارائه دادند (شکل ۲-۱۲). این مدل شامل یک لوله انعطاف پذیر U شکل، یک آبگیر در بالادست، یک صفحه نفوذ پذیر و حفره های مکش رسوبات در زیر قسمت خم لوله می باشد. آنها با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو مقیاس کوچک و متوسط عملکرد مدل را مورد بررسی قرار دادند. (Sakurai, et al., 2011).

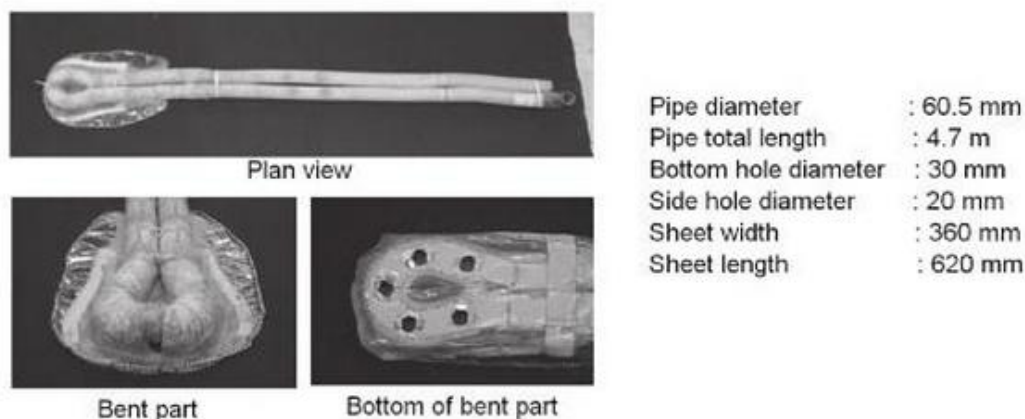


شکل ۲-۱۲: نحوه عملکرد مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات (Sakurai, et al., 2011)

مدل کوچک مقیاس شامل یک مخزن به ابعاد $1/3 \times 2/5 \times 4/5$ متر، ۶۰ سانتی متر ارتفاع رسوب و $60/5$ میلی متر قطر لوله می باشد (طول لوله $4/7$ متر، قطر حفره تحتانی ۳ سانتی متر، قطر حفره جلویی ۲ سانتی متر). مدل متوسط شامل یک مخزن به ابعاد $3/5 \times 7/5 \times 7/5$ متر، ۲۰۰ سانتی متر ارتفاع رسوب و ۱۰۰ میلی متر قطر لوله می باشد (طول لوله $9/4$ متر، قطر حفره تحتانی ۵ سانتی متر، قطر حفره جلویی ۳۳ میلی متر).

^۱ Hakoishi

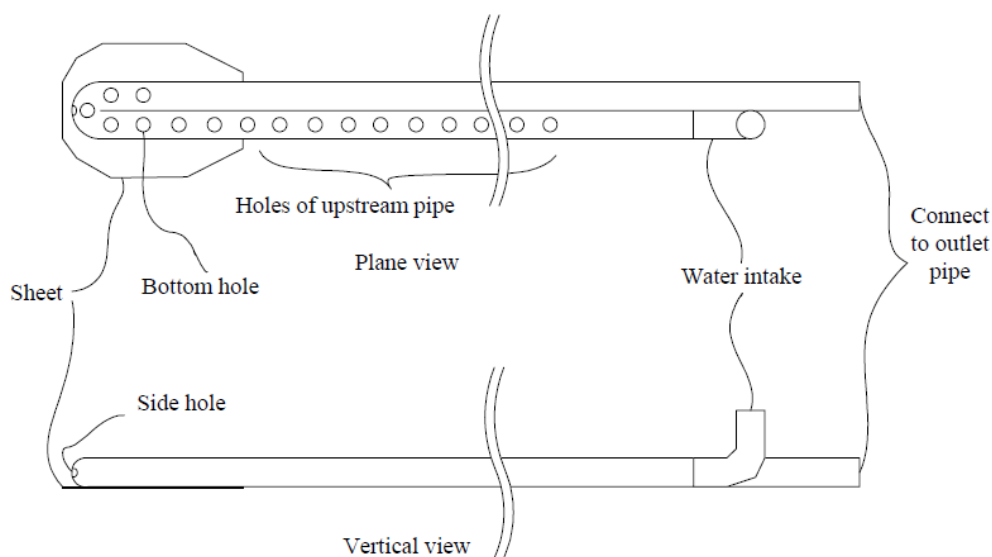
^۲ Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe



شکل ۲-۱۳: لوله مدل کوچک مقیاس (Sakurai, et al., 2011)

نتایج آزمایش‌های آن‌ها، که در سه دانه بندی غیر چسبنده با قطرهای ۱/۵۶، ۰/۸۹ و ۰/۳۶ میلی‌متر و تحت سه بازشدگی دریچه انجام شد، نشان داد که (۱) غلظت رسوبات از زمانی که لوله شروع به حفر حفره می‌کند تا زمانی که به ته مخزن می‌رسد با زمان افزایش می‌یابد (۲) با افزایش غلظت رسوبات نرخ دبی تخلیه شده کاهش می‌یابد و بالعکس (۳) هر چه نرخ جریان بیشتر باشد و ذرات ریزدانه تر باشند حداکثر غلظت رسوبات بیشتر می‌شود.

ساکورای و هاکویشی با گسترش حفره‌های مکش رسوب تحتانی به سمت بالادست لوله و انجام آزمایش‌های متعدد بر مدل‌های آزمایشگاهی متوسط و بزرگ مقیاس، رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوبات و اتلاف انرژی جریان و هد پیزومتریک حفره‌های مکش رسوب را، در مواد رسوبی غیر چسبنده، مورد بررسی قرار دادند (Sakurai, et al., 2012). نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش سرعت غلظت رسوبات افزایش می‌یابد، با افزایش غلظت رسوبات اتلاف انرژی لوله نیز بیشتر می‌شود و هد پیزومتریک با افزایش فاصله از آبگیر کاهش می‌یابد. به طور تقریبی ضریب افت فشار ۰/۲-۰/۳ برای افت فشار لوله مکش ارائه شد. آنها همچنین بیان کردند، به منظور استفاده بهینه از لوله مکش می‌بایست غلظت رسوبات را بین ۲-۵ درصد تنظیم داشت.



شکل ۲-۱۴: نمای شماتیک Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe با گسترش حفره‌ها در بالا دست

ساکورای و هاکویشی یک تحقیق میدانی با استفاده از لوله‌ای به قطر ۲۰۰ میلی‌متر و حفره‌هایی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر در یک مخزن کوچک (۱۴×۵×۶/۶ متر) در طبیعت انجام دادند. آن‌ها با بررسی مشخصات هیدرولیکی از جمله رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوب، افت انرژی در لوله و غیره به این نتیجه رسیدند که روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوب می‌تواند برای تخلیه رسوبات غیر چسبنده و بدون آشغال در مخازن کوچک کاربردی باشد (Sakurai, et al., 2013).



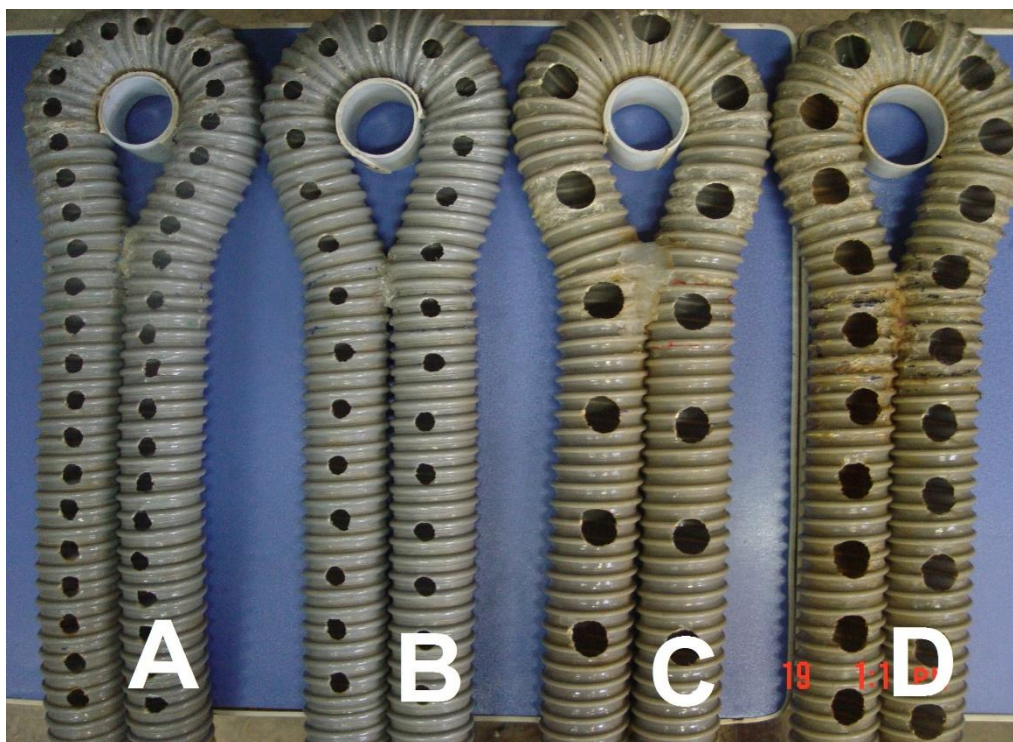
الف



شکل ۲-۱۵: الف) لوله مورد استفاده در تحقیق میدانی (Sakurai, et al., 2013) ب) لوله پس از مکش

میاکاوا و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات هیدرولیکی و قابلیت کاربرد لوله مکش را بصورت آزمایشگاهی و میدانی مورد بررسی قرار دادند (Miyakawa, et al., 2014). آن‌ها خصوصیات هیدرولیکی نظیر رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوب، اتلاف انرژی ارتفاعی آب و غیره را مطالعه کردند و تأیید کردند که استفاده از این روش برای حذف مواد رسوبی غیرچسبیده و مخازن کوچک قابلیت کاربرد دارد. با همکاری آقای پیشگر در قالب رساله دکتری ایشان و در ادامه مطالعات ساکورای و هاکویشی

پارامترهای هندسی لوله مکش از قبیل قطر سوراخ، فاصله سوراخ و تعداد سوراخ ها را برای دستیابی به لوله مکش بهینه مورد بررسی قرار دادیم. وی با مینا قرار دادن قطر لوله آزمایشات خود را در دو اندازه قطر حفره تحتانی ($0/33$ و $0/5$ برابر قطر لوله) و سه اندازه فاصله بین حفره ها ($2, 3$ و 4 برابر قطر حفره تحتانی) و حالت های مختلف امتداد سوراخ ها در پایین دست در لوله $6/1$ سانتی متری مورد بررسی قرار داد.



شکل ۲-۱۶: حالت های مختلف اندازه و فاصله سوراخ ها

(A) قطر حفره 2 سانتی متر ($\frac{1}{3}$ قطر لوله) و فاصله 2 برابر قطر حفره (B) قطر حفره 2 سانتی متر ($\frac{1}{3}$ قطر لوله) و فاصله 3 برابر قطر حفره (C) قطر حفره 3 سانتی متر ($\frac{1}{2}$ قطر لوله) و فاصله 3 برابر قطر حفره (D) قطر حفره 3 سانتی متر ($\frac{1}{2}$ قطر لوله) و فاصله 2 برابر قطر حفره

همچنین با در نظر گرفتن 4 وزنه کمکی ($0/6, 1/2, 1/8$ و $2/4$ کیلوگرم) در آزمایش های فوق

تاثیر آن ها را بر راندمان رسوب شویی ارزیابی کرد و نتایج زیر را ارائه کرد :

۱- قطر حفره تحتانی $0/5$ برابر قطر لوله با فاصله 3 برابر قطر حفره تحتانی به عنوان پارامترهای

هندسی بهینه پیشنهاد شد.

۲- همچنین نتایج وی نشان داد حفره‌های بالادست و پایین‌دست قسمت خمیده اثر کاهشی بر عملکرد روش دارند و برای آزمایش‌های انجام شده عملکرد روش هیدرو ساکشن با غیر فعال نمودن این حفره‌ها حدود ۳۲ برابر شده است. وی در آخر تعداد ۵ سوراخ در قسمت خمیده لوله به عنوان تعداد سوراخ‌های بهینه در نظر گرفت.

۳- با افزایش وزنه به نقطه‌ای رسید که بیشترین عملکرد را با یک وزنه بهینه را دارد و اگر وزنه از مقدار بهینه بیشتر شود از عملکرد روش کاسته خواهد شد. وی این وزنه را ۱/۸ کیلوگرم در نظر گرفت.

در این رساله هدف بررسی تاثیر سرعت بر راندمان رسوب خروجی روش هیدرو ساکشن برای اندازه رسوب‌ها و وضعیت‌های مختلف آبگیر در لوله مکش بهینه بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده در غالب همکاری با مهندس پیشگر است. در مجموع ۳۰ آزمایش در ۵ سرعت ۰/۸، ۱/۳، ۱/۷۵، ۱/۸۷ و ۲/۱۶ متر بر ثانیه و ۳ اندازه رسوب با D50، ۰/۲۴، ۰/۶ و ۱/۱۵ میلی متر در ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متر انجام شده است. در پایان ۱۵ آزمایش در ۴ وضعیت آبگیر (باز، نیمه باز، ۰/۷۵ بسته، کامل بسته) در اندازه رسوب ۰/۲۴ میلی متر و ۵ سرعت در لوله ۴/۷ مورد بررسی قرار گرفت که مشخصات مدل فیزیکی در فصل بعد ارائه خواهد شد.

۳- فصل سوم : مواد و روش‌ها

۱-۳ مقدمه

در این بخش مشخصات مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس که در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت و همچنین نحوه انجام آزمایش‌ها شرح داده خواهد شد.

۲-۳ مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی در نظر گرفته شده از ۶ قسمت کلی تشکیل شده است. سیستم تامین آب، مخزن اصلی، رسوب، سرریز مثلی، باکس جمع‌آوری رسوب و سیستم لوله مکش (شکل ۱-۳).



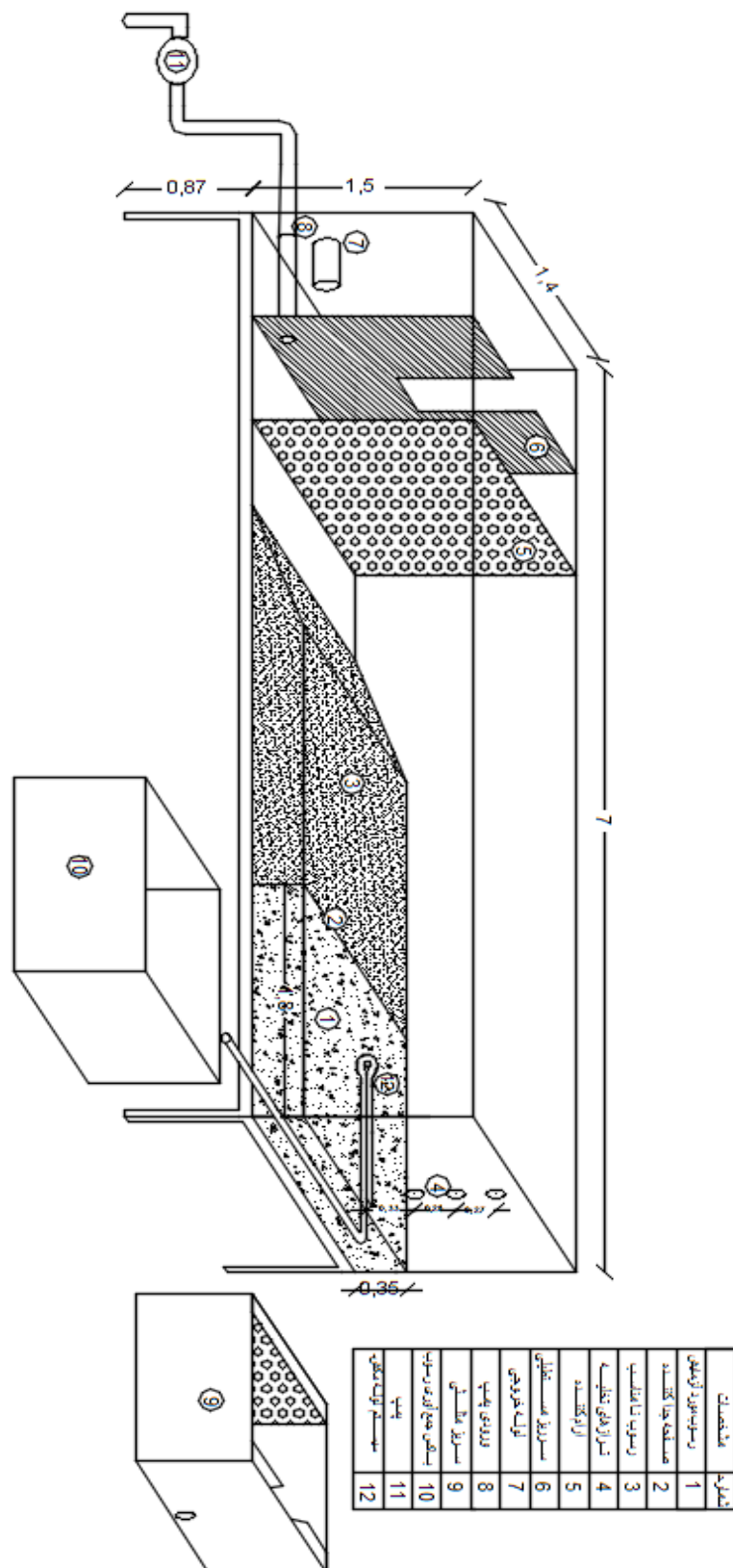
شکل ۱-۳: شمای کلی مدل آزمایشگاهی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس

۱-۲-۳ سیستم تامین آب

سیستم تامین آب از یک مخزن زیرزمینی و یک پمپ تشکیل شده است که آب به کمک یک لوله به قطر ۶ سانتی متر به وسیله پمپ به مخزن اصلی منتقل می‌گردد.

۲-۲-۳ مخزن اصلی

مخزن اصلی به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۷ متر طول، ۱/۴ متر عرض و ارتفاع ۱/۵ متر می‌باشد. در قسمت ورودی مخزن به کمک ۱ صفحه مشبک جریان آرام می‌گردد و به وسیله یک سرریز مستطیلی جریان مازاد تخلیه می‌گردد (شکل ۲-۳).



شکل ۳-۲: طرح شماتیک مدل فیزیکی

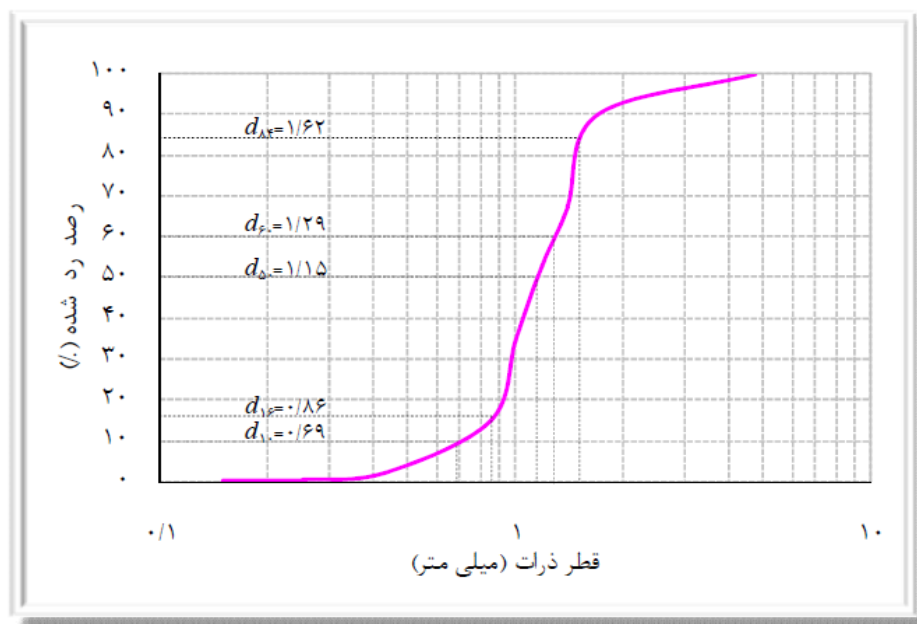
۳-۲-۳ رسوب

با اهتمام به این نکته که روش هیدرو ساکشن مناسب برای خاک‌های غیر چسبنده است از سه

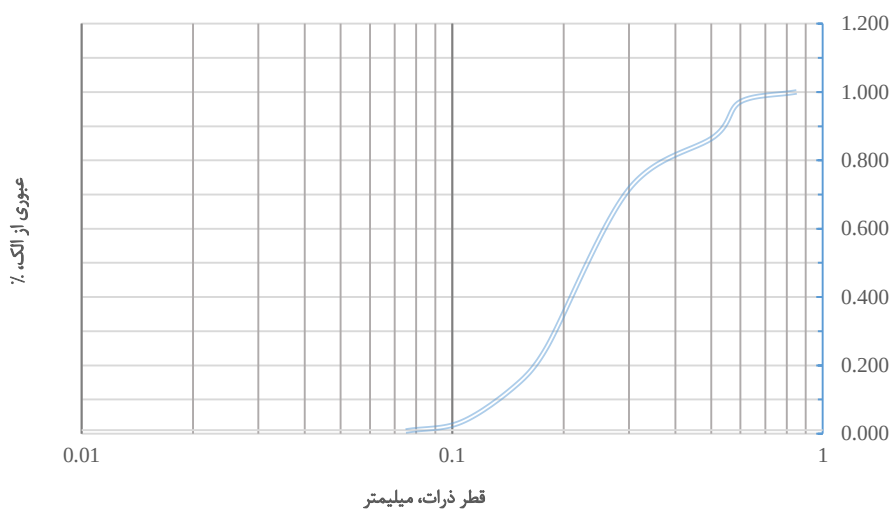
رسوب با مشخصات $D_{50} = 0/24$ میلی‌متر، $C_C = 0/99$ ، $C_U = 1/85$ و $D_{50} = 0/6$ میلی‌متر، $C_C = 0/94$

، $C_U = 4/04$ ، $D_{50} = 1/15$ میلی‌متر، $C_C = 1/07$ ، $C_U = 1/86$ استفاده شده که نمودار آن‌ها در زیر آمده

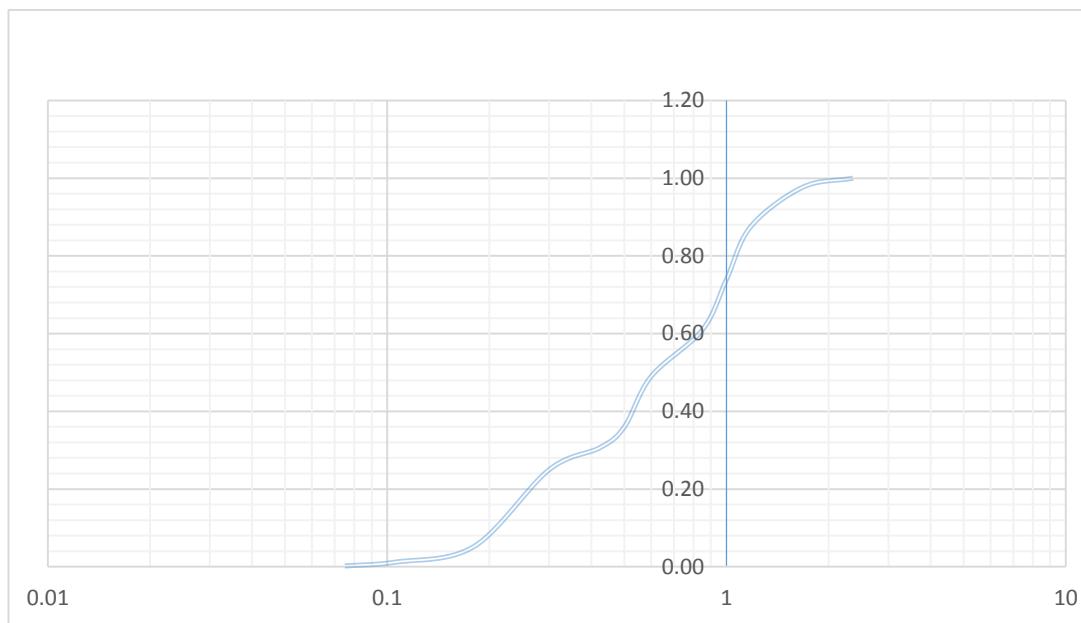
است. جنس رسوب مورد استفاده سیلیس شکسته کارخانه‌ای بوده است.



نمودار ۱-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50} = 1/15$ میلی‌متر



نمودار ۲-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50} = 0.24$ میلی‌متر



نمودار ۳-۳: دانه بندی رسوب با $D_{50}=0.6$ میلی متر

۴-۲-۳ سرریز مثلی

برای اندازه گیری و تنظیم جریان خروجی از لوله مکش از سرریز مثلی ۶۰ درجه استفاده

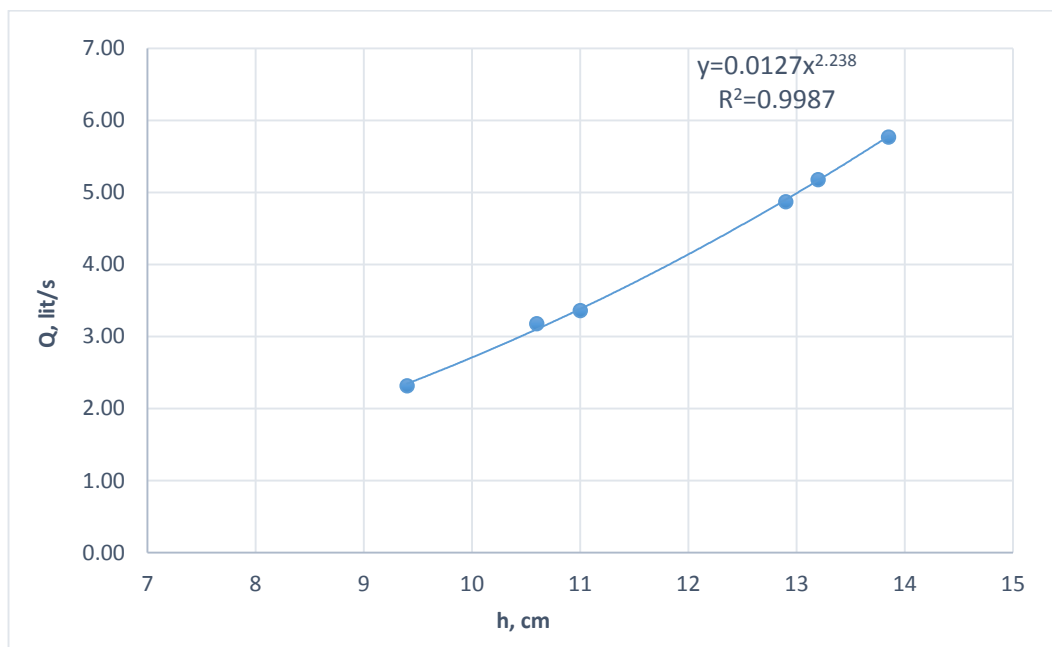
شد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳: سرریز مثلی ۶۰ درجه

۱-۴-۲-۳ واسنجی سرریز

از آنجا که مبنای سنجش ارتفاع آب روی سرریز از بین رفته بود، نیاز بود سررسیز واسنجی شود. با اندازه‌گیری حجمی چندین مقدار دبی خروجی از لوله مکش و یادداشت ضخامت متناظر جریان روی سرریز رابطه دبی-اشل واسنجی شد. نمودار ۴-۳ واسنجی سرریز مثلثی ۶۰ درجه را نشان می‌دهد. برای هر مقدار دبی ارائه شده در نمودار ۴-۳ اختلاف تراز مشخصی بین آب مخزن و تراز خروجی ایجاد شد و سپس دبی خروجی بین ۷-۴ بار بصورت حجمی اندازه‌گیری و مقدار میانگین دبی بدست آمده ثبت گردید.



نمودار ۴-۳ : واسنجی سرریز مثلثی ۶۰ درجه

۵-۲-۳ حوضچه تله اندازی رسوب

این جعبه با رویه پارچه‌ای برای عبور آب و جمع‌آوری رسوب طراحی گردید (شکل ۴-۳).



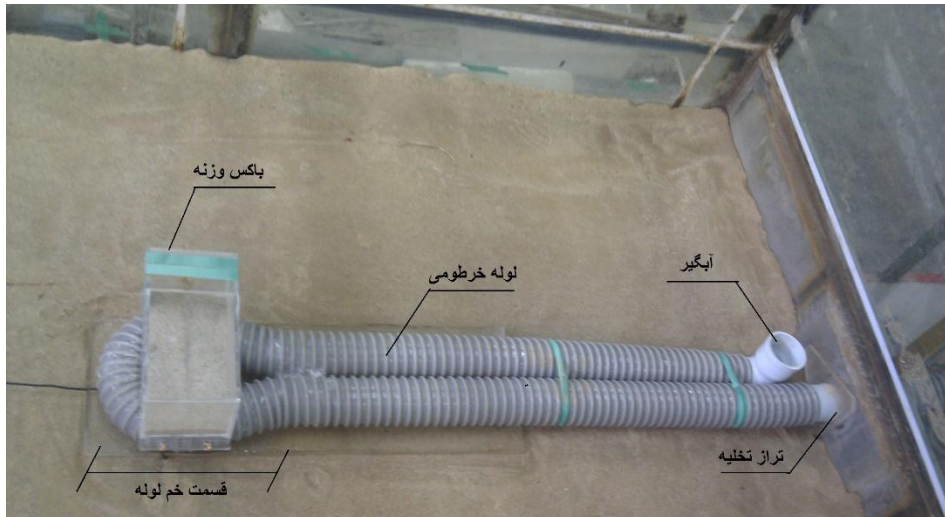
شکل ۳-۴: حوضچه تله اندازی رسوب

۳-۲-۶ مشخصات لوله مکش بهینه

همانطور که در مقدمه ذکر گردید، لوله مکش استفاده شده در آزمایش‌ها، لوله مکش بهینه بدست آمده از نتایج تحقیق در غالب همکاری با آقای پیشگر می‌باشد (شکل ۳-۵) که مشخصات آن به شرح زیر است:

- ✓ جنس لوله : لوله هوای خرطومی انعطاف پذیر
- ✓ قطر لوله : ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری
- ✓ تعداد حفره : ۵ حفره در قسمت تحتانی خم لوله (حفره تحتانی) و ۱ حفره در قسمت جلوی خم (حفره جلویی)
- ✓ قطر حفره: ۲/۳۵ سانتی متر در لوله ۴/۷ و ۳ سانتی متر در لوله ۶/۱ برای حفره‌های تحتانی ($d_0 = \frac{1}{2}D$) و ۱/۶ سانتی متر در لوله ۴/۷ و ۲ سانتی متر در لوله ۶/۱ برای سوراخ جلویی ($d_0 = \frac{1}{3}D$)
- ✓ فاصله حفره‌ها : تعداد ۵ حفره با فاصله ۳ برابر قطر حفره تحتانی ($3d_0$) (شکل ۳-۶)

- ✓ وزنه : ۱/۸ کیلوگرم رسوب که در داخل باکس بر روی قسمت خم لوله قرار می گیرد
- ✓ آبگیر : زانویی ۹۰ درجه که در ابتدای لوله به عنوان ورودی اصلی آب قرار گرفته است



شکل ۳-۵: لوله مکش با قطر ۶/۱ سانتی متری



شکل ۳-۶: آرایش سوراخ‌ها در قسمت خم لوله

۳-۳ روند انجام آزمایش‌ها

۱. بر روی رسوبات ترازبندی شده داخل مخزن یه صفحه پلکسی گلاس نفوذناپذیر قرار داده می شود و لوله مکش بر روی آن قرار می گیرد.
۲. درصد بازشدگی آبگیر و اندازه رسوب با توجه به آزمایش مورد نظر تنظیم می گردد.
۳. آب داخل مخزن به تراز مورد نظر (۱۸۹ سانتی متر از سطح زمین) رسانده می شود و با تنظیم همزمان سطح لوله خروجی، دبی تنظیم می گردد.

۴. لوله هوا گیری می شود.
۵. با برداشتن صفحه نفوذناپذیر از زیر لوله مکش آزمایش شروع می شود.
۶. در طول آزمایش خروجی لوله مکش داخل باکس جمع آوری رسوب برای تله اندازی رسوبات قرار می گیرد و کل رسوبات خروجی جمع می شود. همچنین طی انجام آزمایش از غلظت خروجی - در زمان های مشخص - نمونه برداری می شود.
۷. رسوبات تجمع یافته خروجی، پس از پایان مدت آزمایش، از محفظه پارچه ای برای خشک شدن بیرون آورده می شود.
۸. رسوبات خروجی پس از خشک شدن توزین می شوند. نمونه های غلظت لحظه ای نیز توزین و یادداشت می شوند.
۹. توپوگرافی حفره آبشستگی داخل مخزن نیز بعد از پائین آمدن سطح آب داخل مخزن اندازه گیری می شود.
۱۰. با برگرداندن رسوبات خروجی به داخل حفره آبشستگی و تراز بندی رسوبات، مدل برای آزمایش بعدی آماده می باشد.

۳-۴ زمان تعادل^۱

عملکرد روش هیدرو ساکشن لوله مکش در این تحقیق، C، طبق تعریف عبارتست از؛ " غلظت متوسط جریان خروجی از لوله مکش در کل مدت آزمایش". با توجه به این تعریف هدف این مطالعه رسیدن به یک غلظت تعادلی و مقایسه شرایط هندسی مختلف و تاثیر آنها بر عملکرد روش مورد نظر می باشد. بنابراین در این مطالعه، زمان تعادل آزمایش ها به این مفهوم که به یک غلظت تعادلی برسیم از شرایط و محدودیت های آزمایشگاهی تبعیت می کند که شامل دیواره ها و کف مخزن می باشد. در نتیجه هنگامی که سر لوله مکش به کف مخزن می رسد گسترش مخروط آبشویی در عمق متوقف شده و به

^۱ Time of equilibrium

صورت طولی و عرضی ادامه پیدا خواهد کرد تا زمانی که لبه‌های مخروط آبشویی به دیواره های مخزن رسیده و غلظت لحظه‌ای نیز به حدود ۵ گرم بر لیتر رسیده و آزمایش متوقف می‌شود.

۳-۵ مشکلات انجام آزمایش‌ها

۱. تنظیم دبی خروجی از لوله برای رسیدن به سرعت مورد نظر: برای این کار لازم است که دبی ورودی و خروجی از مخزن همزمان تنظیم و سطح آب مورد نظر ثابت نگه داشته شود.

۲. تنظیم دبی خروجی با استفاده از سرریز مثلثی

۳. هواگیری دستی لوله مکش در زیر آب با توجه به ارتفاع زیاد مخزن

۴. تخلیه حدود ۳۰۰ کیلوگرم رسوب جمع شده در باکس جمع آوری رسوب پس از هر آزمایش

۵. توزین رسوب خروجی و ریختن مجدد آن به داخل مخزن

۶. بیل زدن رسوبات درون مخزن قبل از هر آزمایش به دلیل حساسیت آزمایشات به درجه تحکیم (شکل ۳-۷)

۷. تهیه و ساخت سیستم لوله مکش و نصب آن



شکل ۷-۳: رسوب بیل زده شده

۴- فصل چهارم : نتایج و تحلیل داده ها

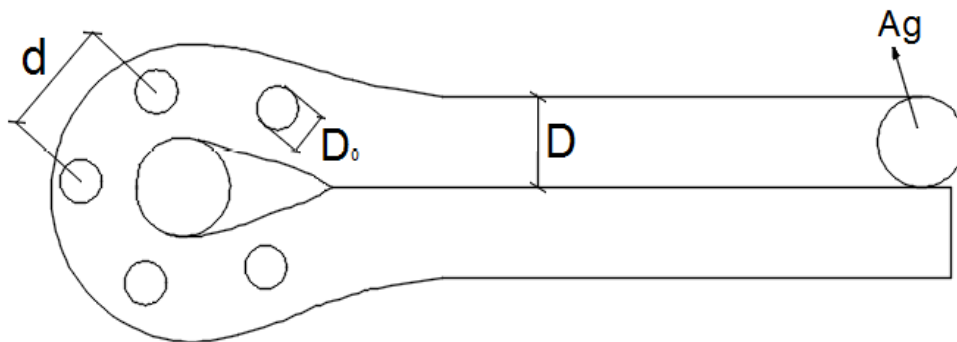
۱-۴ آنالیز ابعادی

پارامترهای تاثیرگذار در میزان غلظت جریان تخلیه شده (C)، در روش هیدروساکشن لوله مکش عبارتند از:

سرعت متوسط لوله مکش (V)، قطر لوله (D)، ارتفاع آب بالای رسوبات (h)، قطر رسوبات (D_{50})، لزجت دینامیکی سیال (μ)، چگالی آب (ρ)، چگالی رسوب (ρ_s)، شتاب ثقل (g)، مساحت باز شدگی آگیر (A_g)، طول لوله (L)، قطر حفره‌های مکش تحتانی (D_0)، فاصله بین حفره‌های مکش تحتانی (d) به عبارت دیگر خواهیم داشت :

$$C = f(V, D, h, D_{50}, \mu, \rho, \rho_s, g, A_g, L, D_0, d) = 0 \quad 1-4$$

شکل ۱-۴ پارامترهای D، D_0 ، d و A_g را در لوله نشان می‌دهد:



شکل ۱-۴: پارامترهای تاثیرگذار در لوله

آنالیز ابعادی پارامترهای تاثیرگذار به روش پی-باکینگهام با استفاده از سه پارامتر چگالی آب،

سرعت متوسط و قطر لوله مکش به عنوان پارامترهای تکراری به شرح زیر است:

محاسبه Π_1 :

$$\Pi_1 = C \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

$$(M \cdot L^{-3}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c$$

$$M: 1 + a = 0 \Rightarrow a = -1$$

$$L: -3 - 3a + b + c = 0 \Rightarrow c = 0$$

$$T: -b = 0 \Rightarrow b = 0$$

$$\Rightarrow \Pi_1 = \frac{C}{\rho} \quad 2-4$$

محاسبه Π_2 :

$$\Pi_2 = h \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

$$(L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c$$

$$\Rightarrow \Pi_2 = \frac{h}{D} \quad 3-4$$

محاسبه Π_3 :

$$\Pi_3 = D_{50} \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

$$(L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c$$

$$\Rightarrow \Pi_3 = \frac{D_{50}}{D} \quad 4-4$$

محاسبه Π_4 :

$$\Pi_4 = \mu \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

$$(M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c$$

$$\Rightarrow \Pi_4 = \frac{\mu}{\rho \cdot V \cdot D} \quad 5-4$$

محاسبه Π_5 :

$$\Pi_5 = \rho_s \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

$$(M \cdot L^{-3}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c$$

$$\Rightarrow \Pi_5 = \frac{\rho_s}{\rho} \quad 6-4$$

محاسبه Π_6 :

$$\begin{aligned}\Pi_6 &= g \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L \cdot T^{-1}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_6 &= \frac{g \cdot D}{V^2}\end{aligned}$$

۷-۴

محاسبه Π_7 :

$$\begin{aligned}\Pi_7 &= A_g \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L^2) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_7 &= \frac{A_g}{D^2}\end{aligned}$$

۸-۴

محاسبه Π_8 :

$$\begin{aligned}\Pi_8 &= L \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_8 &= \frac{L}{D}\end{aligned}$$

۹-۴

محاسبه Π_9 :

$$\begin{aligned}\Pi_9 &= D_0 \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_9 &= \frac{D_0}{D}\end{aligned}$$

۱۰-۴

محاسبه Π_{10} :

$$\begin{aligned}\Pi_{10} &= d \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_{10} &= \frac{d}{D}\end{aligned}$$

۱۱-۴

$$\frac{c}{\rho} = f\left(\frac{h}{D}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{\mu}{\rho \cdot V \cdot D}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{g \cdot D}{V^2}, \frac{A_g}{D^2}, \frac{L}{D}, \frac{D_0}{D}, \frac{d}{D}\right)$$

۱۲-۴

در این تحقیق پارامتر بدون بعد Π_1 به عنوان پارامتر وابسته بوده و بیانگر متوسط غلظت رسوبات خروجی از سیستم بوده که از آن به عنوان پارامتر عملکرد سیستم استفاده می شود. پارامترهای Π_8 و Π_9 و Π_{10} مقادیر ثابتی دارند که در جدول ۴-۱ ارائه شده اند.

جدول ۴-۱: مقادیر پارامترهای بدون بعد Π_8 و Π_9 و Π_{10}

پارامتر بدون بعد	$\Pi_8 = \frac{L}{D}$	$\Pi_9 = \frac{D_0}{D}$	$\Pi_{10} = \frac{d}{D}$
مقدار پارامتر	۱۰۰	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$

برای بهینه سازی و کاهش تعداد پارامترهای بدون بعد در رابطه نیاز به بررسی حالت‌های مختلف ترکیب آن‌ها می‌باشد که نتایج به شرح زیر است:

محاسبه Π_{11} :

$$\Pi_{11} = \frac{\rho_s}{\rho} - \frac{\rho}{\rho} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = G_s - 1 \quad ۱۳-۴$$

محاسبه Π_{12} :

$$\Pi_{12} = \frac{1}{\Pi_4} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = Re \quad \text{رینولدز} \quad ۱۴-۴$$

محاسبه Π_{13} :

$$\Pi_{13} = \sqrt{\frac{1}{\Pi_6}} \cdot \frac{1}{\Pi_3} \cdot \frac{1}{\Pi_{11}} = \frac{V}{\sqrt{g(G_s - 1)D_{50}}} = Fg \quad \text{فروود ذره (بجستان شفاعی, ۱۳۷۳)} \quad ۱۵-۴$$

پارامترهای Π_8 و Π_9 و Π_{10} نیز به دلیل اینکه مقادیر ثابتی دارند از آنالیز ابعادی حذف می‌گردند.

در نهایت با حذف پارامترهای مذکور، رابطه نهایی بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{c}{\rho} = f(Fg, Re, \frac{h}{D}, \frac{A_g}{D^2}) \quad ۱۶-۴$$

در نهایت هدف بدست آوردن رابطه‌ای بین پارامترهای فوق برای ذرات رسوب غیرچسبنده در

حالت عبور سیستم از دریچه تخلیه تحتانی می‌باشد.

۲-۴ نتایج آزمایش‌ها

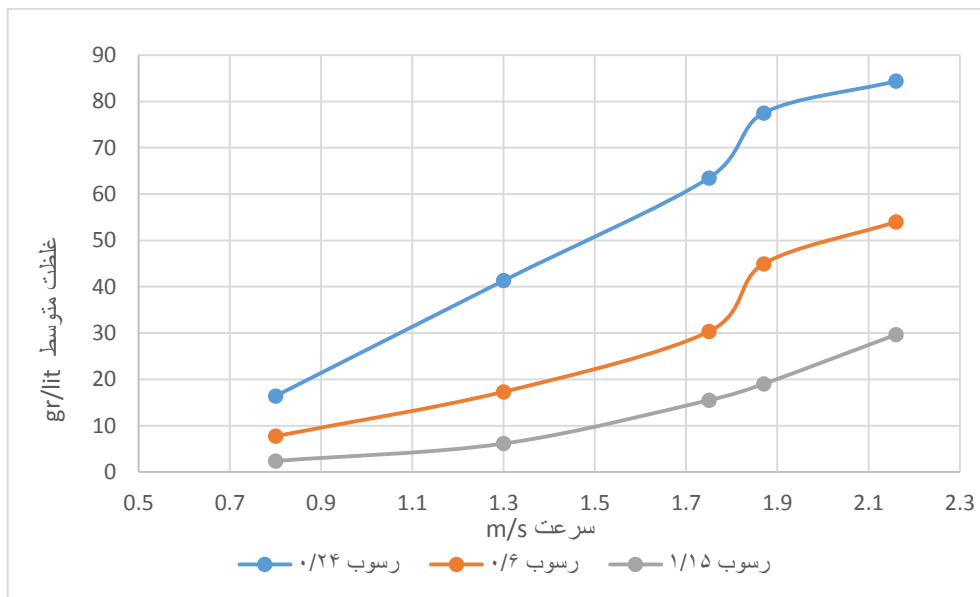
در این رساله هدف بررسی تاثیر سرعت بر راندمان رسوب خروجی روش هیدروساکشن برای اندازه رسوب‌ها و وضعیت‌های مختلف آبرگیر در لوله مکش بهینه بدست آمده از آزمایش‌های در غالب همکاری با مهندس پیشگر بوده و برای رسیدن به این هدف تعداد ۴۵ آزمایش به شرح زیر گرفته شده است.

در مجموع ۳۰ آزمایش در ۵ سرعت ۰/۸، ۱/۳، ۱/۷۵، ۱/۸۷ و ۲/۱۶ متر بر ثانیه و ۳ اندازه رسوب با D_{50} ۰/۲۴، ۰/۶ و ۱/۱۵ میلی متر در ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متر انجام شده است. در پایان ۱۵ آزمایش در ۴ وضعیت آبرگیر (باز، نیمه باز، ۰/۷۵ بسته، کامل بسته) در اندازه رسوب ۰/۲۴ میلی متر و ۵ سرعت در لوله ۴/۷ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر خواهد بود.

۳-۴ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان روش هیدروساکشن

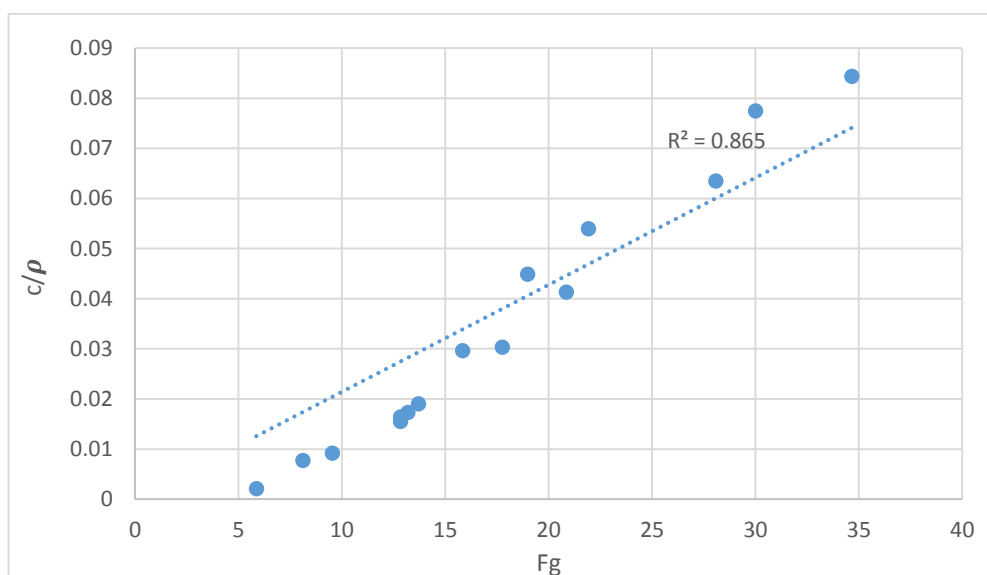
با توجه به محدودیت‌های مخزن در ایجاد اختلاف ارتفاع آب داخل مخزن و پایین‌دست و در نتیجه رسیدن به سرعت‌های مورد نظر، تعداد ۵ سرعت (۰/۸، ۱/۳، ۱/۷۵، ۱/۸۷ و ۲/۱۶) انتخاب و آزمایش‌ها در ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری و ۳ رسوب با D_{50} ۰/۲۴، ۰/۶ و ۱/۱۵ میلی‌متر به انجام رسید.

۱-۳-۴ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر



نمودار ۱-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در لوله ۴/۷ سانتی متری

بررسی نمودار ۱-۴ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت در لوله نرخ تخلیه رسوب یا به عبارت دیگر غلظت متوسط رسوب روندی افزایشی دارد. همچنین گراف نمایان‌گر این مهم است که در یک سرعت ثابت با افزایش اندازه رسوب نرخ تخلیه رسوب کاهش می‌یابد.

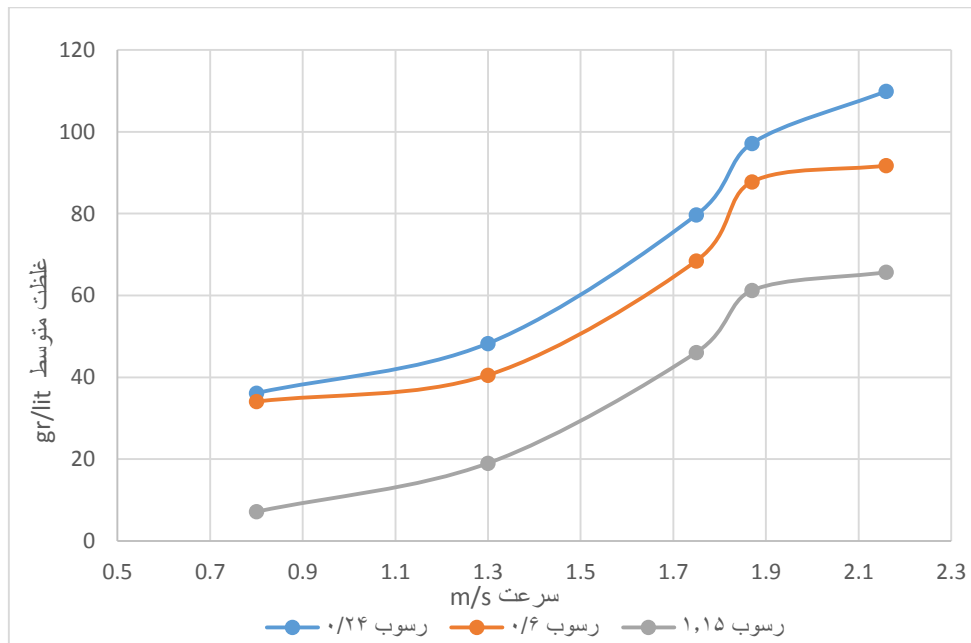


نمودار ۲-۴: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/p برای تغییرات سرعت در لوله ۴/۷ سانتی متری

گراف ۲-۴ تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/p که در واقع نماینده‌ی غلظت متوسط

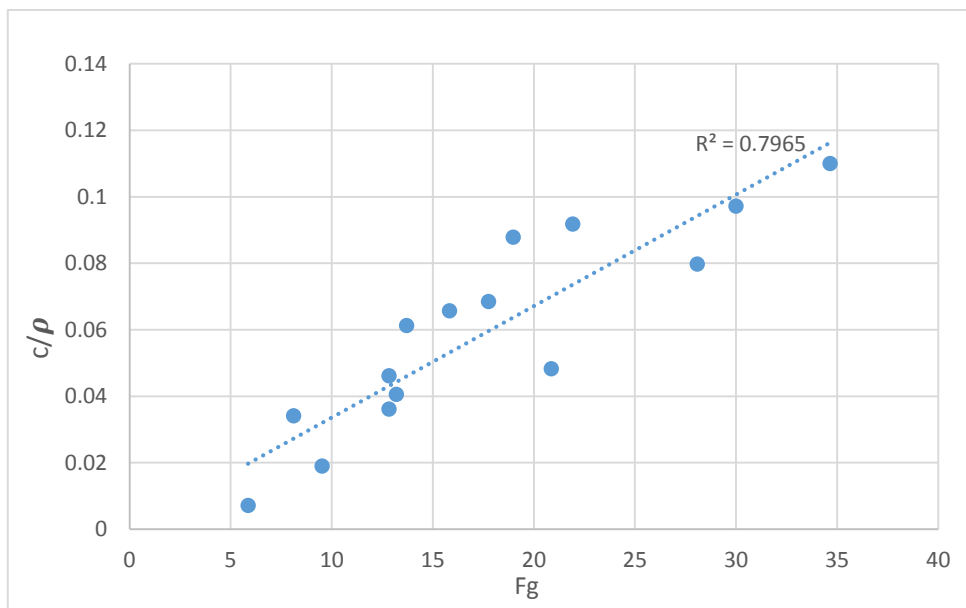
رسوب خروجی است را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار پیداست با افزایش F_g (با ثابت بودن بقیه پارامترها F_g وابسته به تغییرات سرعت است) غلظت متوسط خروجی افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر با افزایش سرعت نرخ تغییرات غلظت خروجی صعودی است.

۲-۳-۴ تاثیر تغییرات سرعت بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر



نمودار ۳-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در لوله ۶/۱ سانتی‌متری

روند تاثیر تغییرات سرعت بر غلظت متوسط در لوله ۶/۱ سانتی‌متری نیز همانند تغییرات در لوله ۴/۷ سانتی‌متری می‌باشد که روندی صعودی است و در یک سرعت ثابت با افزایش اندازه رسوب غلظت متوسط خروجی کاهش می‌یابد.

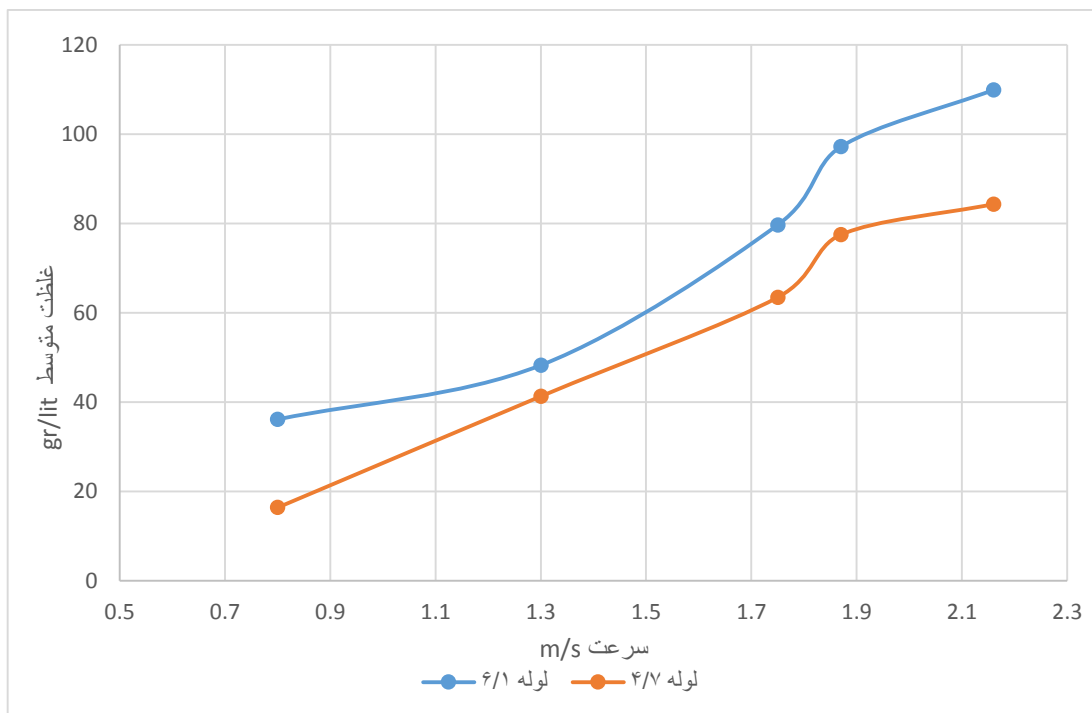


نمودار ۴-۴: روند تغییرات عدد بی بعد F_g در برابر عدد بی بعد c/ρ برای تغییرات سرعت در لوله ۶/۱ سانتی متری

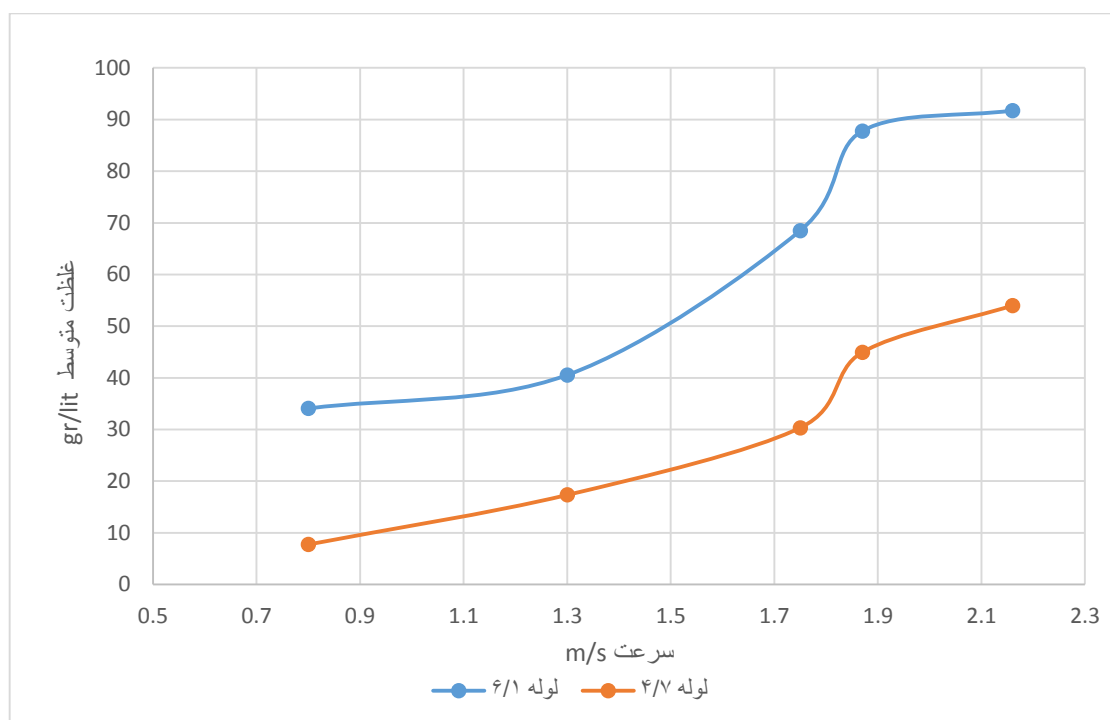
گراف ۴-۴: روند تغییرات عدد بی بعد F_g در برابر عدد بی بعد c/ρ برای تغییرات سرعت در لوله ۶/۱ سانتی متری را نشان می‌دهد. آنچه از این نمودار نتیجه می‌شود این است که با افزایش F_g یا به عبارت دیگر با افزایش سرعت نرخ تغییرات رسوب خروجی صعودی است.

۳-۳-۴ بررسی اثر تغییرات مقیاس در دو لوله با قطرهای ۶/۱ و ۴/۷ سانتی متر

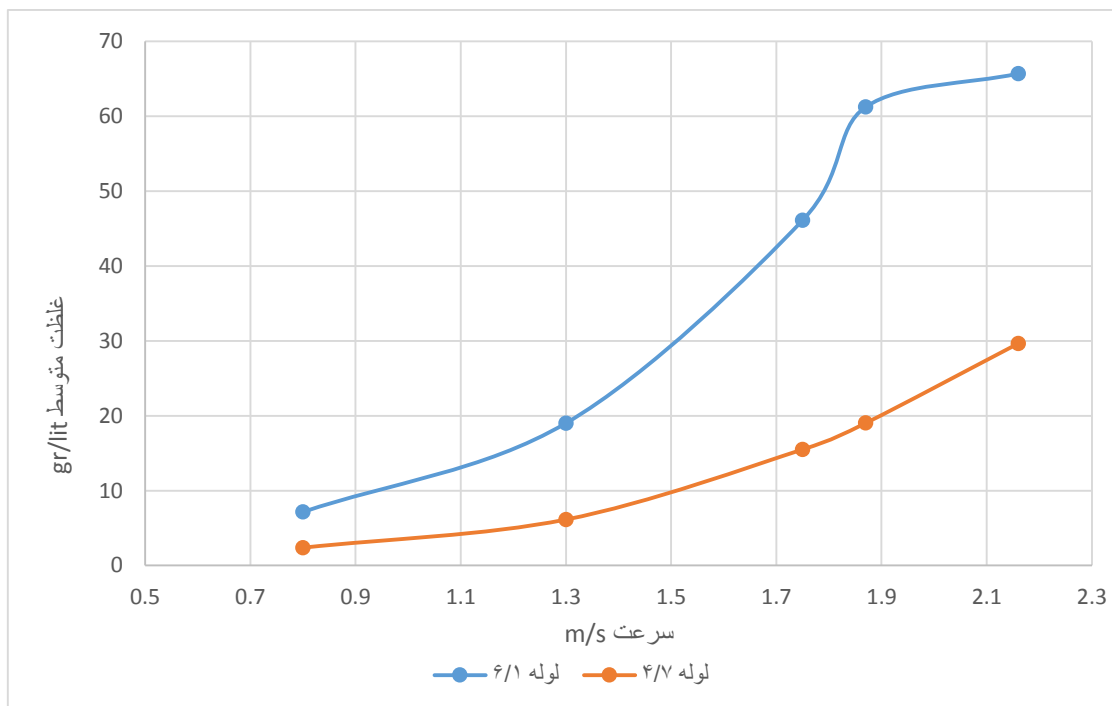
بدیهی است که با بزرگ‌تر شدن قطر لوله در یک سرعت ثابت دبی خروجی افزایش می‌یابد. در تمامی آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدیم که با بزرگ‌تر شدن قطر لوله، غلظت متوسط که مقدار رسوب خروجی با ازای یک لیتر آب است، افزایش می‌یابد. مقایسه روند در دو لوله مذکور در ادامه آمده است.



نمودار ۴-۵: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری در رسوب با $D_{50} = 0/24$ میلی متر



نمودار ۴-۶: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری در رسوب با $D_{50} = 0/6$ میلی متر

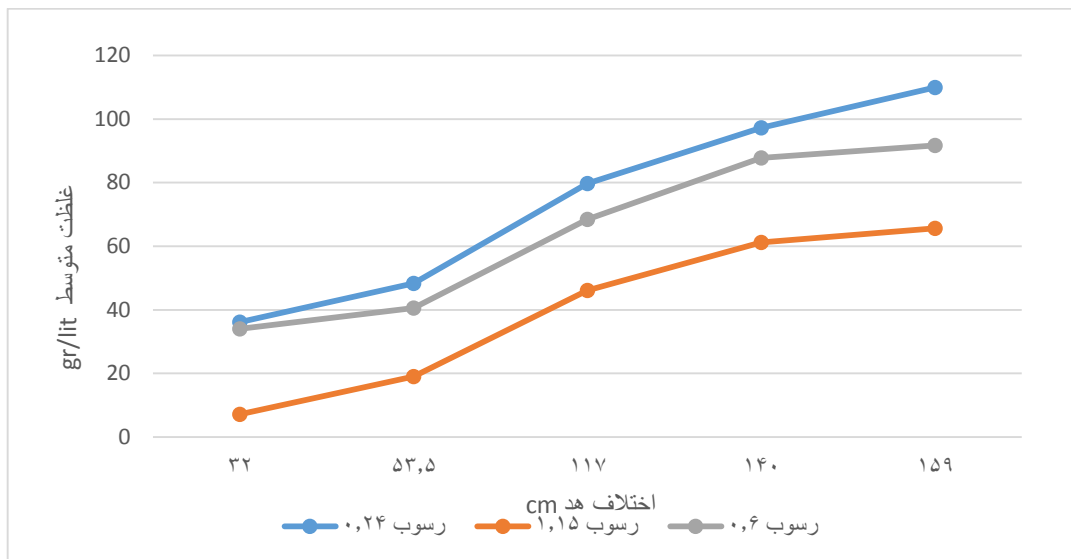


نمودار ۴-۷: تغییرات غلظت متوسط در برابر سرعت در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ در رسوب با $D_{50} = 1/15$ میلی‌متر

۴-۴ تاثیر اختلاف هد بالادست و پایین‌دست لوله بر راندمان روش هیدروساکشن

اختلاف هد داخل مخزن و پایین‌دست لوله خروجی در واقع به عنوان معیاری برای تنظیم سرعت‌های متفاوت در لوله تخلیه رسوب استفاده می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش اختلاف ارتفاع، غلظت متوسط رسوب خروجی افزایش می‌یابد. نمودارهای بی بعد ۲-۴ و ۴-۴ نیز در تایید این موضوع می‌باشد.

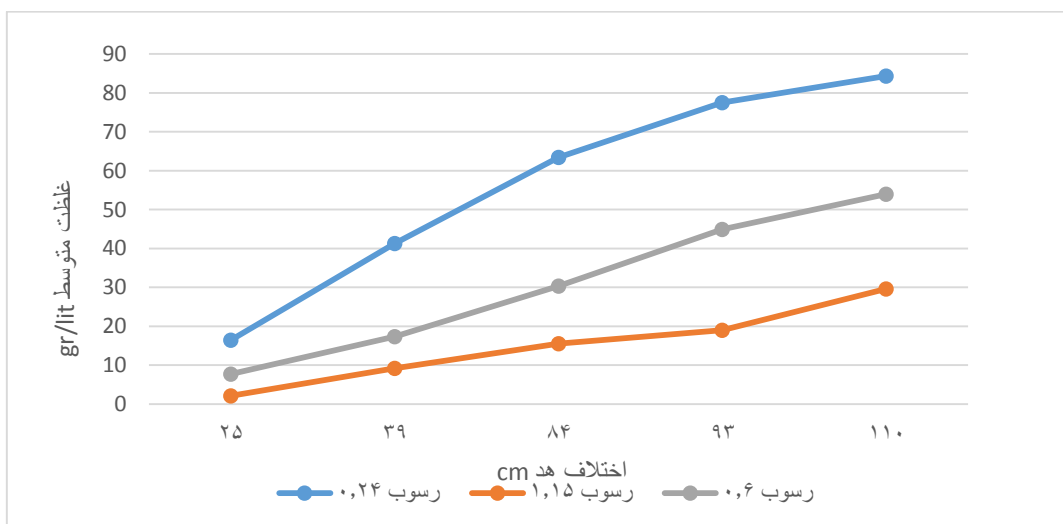
۱-۴-۴ تاثیر اختلاف هد بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر



نمودار ۸-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اختلاف هد در لوله ۶/۱ سانتی متری

همان طور که از نمودار پیداست با افزایش اختلاف ارتفاع، غلظت متوسط افزایش می یابد. همچنین در یک اختلاف ارتفاع ثابت با افزایش قطر دانه بندی غلظت متوسط کاهش می یابد.

۲-۴-۴ تاثیر اختلاف هد بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر



نمودار ۹-۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اختلاف هد در لوله ۴/۷ سانتی متری

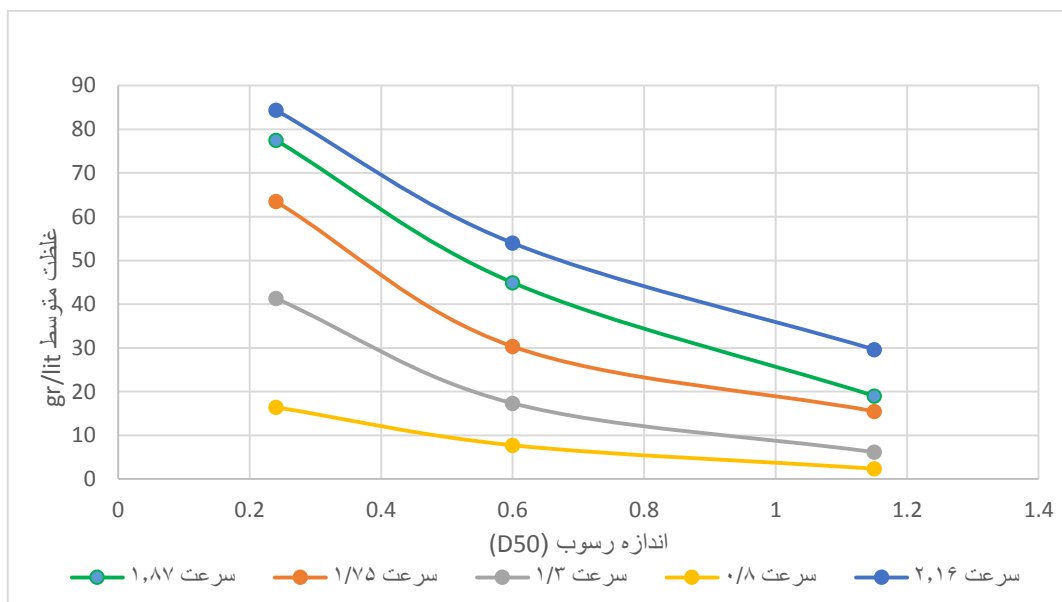
به مانند نتایج در لوله ۶/۱ سانتی متری با افزایش اختلاف هد غلظت متوسط افزایش می یابد.

همچنین در یک اختلاف ارتفاع ثابت با افزایش قطر دانه بندی غلظت متوسط کاهش می‌یابد.

۵-۴ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان روش هیدروساکشن

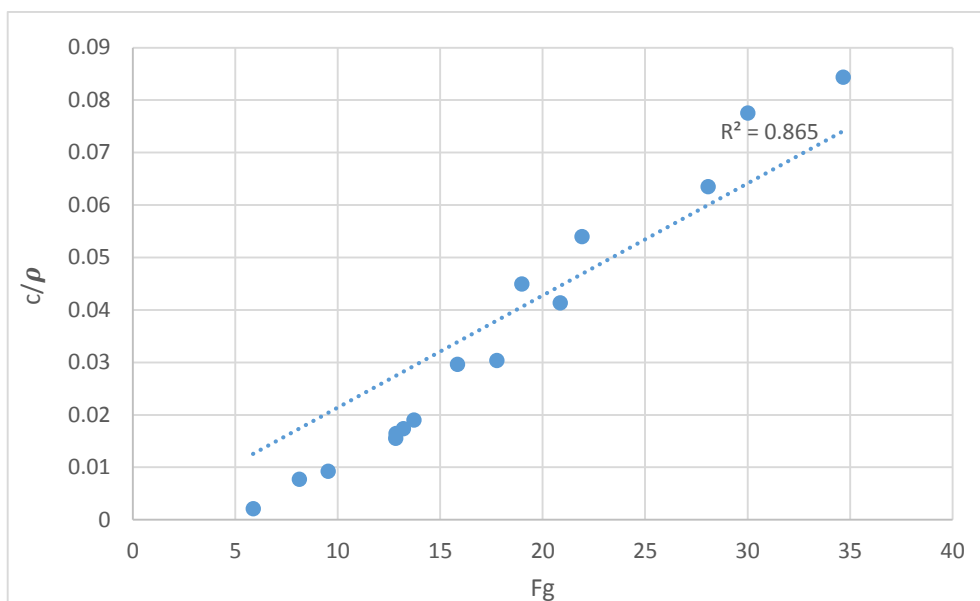
با توجه به اینکه آزمایش‌ها در ادامه پژوهش‌های مهندس پیشگر انجام می‌گرفت لذا اکثر آزمایش‌ها با رسوب استفاده شده در آزمایش‌های ایشان ($D_{50}=0/24$ میلی‌متر) انجام شد و با توجه به اینکه روش هیدروساکشن مناسب رسوبات غیر چسبنده است و همینطور محدودیت‌های مالی پروژه، دو دانه بندی دیگر از رسوبات غیر چسبنده موجود در آزمایشگاه تهیه گردید.

۱-۵-۴ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر



نمودار ۴-۱۰: تغییرات غلظت متوسط برای ۳ اندازه رسوب در لوله ۴/۷ سانتی‌متری

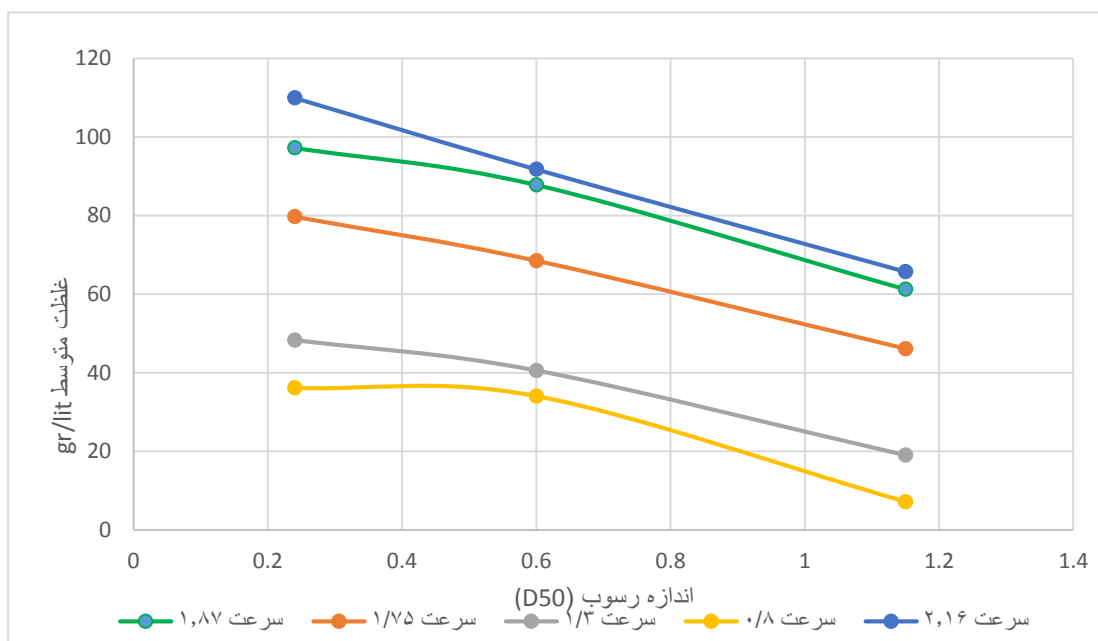
گراف فوق نمایان گر این موضوع است که در یک سرعت ثابت با افزایش اندازه رسوب غلظت متوسط کاهش می‌یابد و دوباره این اصل را بازگو می‌کند که با افزایش سرعت غلظت متوسط روندی صعودی دارد.



نمودار ۴-۱۱: روند تغییرات عدد بی بعد Fg در برابر عدد بی بعد c/p برای تغییرات اندازه رسوب در لوله ۴/۷ سانتی متری

گراف ۴-۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش اندازه رسوب و در نتیجه کاهش Fg ، غلظت متوسط خروجی کاهش می‌یابد.

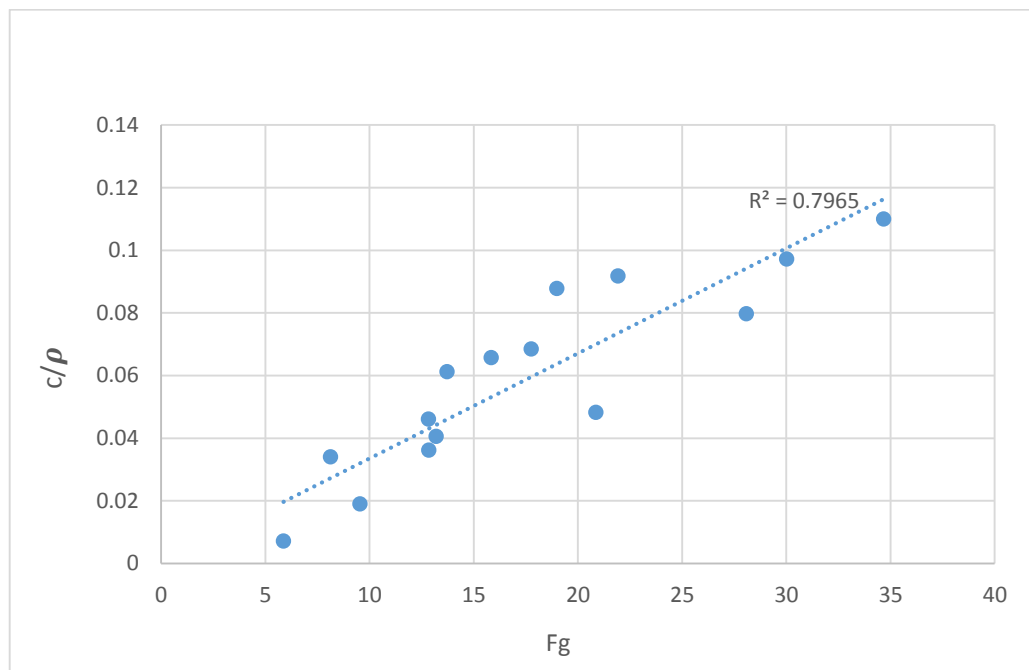
۴-۵-۲ تاثیر اندازه رسوب بر راندمان در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر



نمودار ۴-۱۲: نمودار تغییرات غلظت متوسط برای ۳ اندازه رسوب در لوله ۶/۱ سانتی متری

نمودار فوق نیز در تایید نتایج در لوله ۴/۷ نشان می‌دهد که در یک سرعت ثابت با افزایش اندازه

رسوب غلظت متوسط کاهش می‌یابد. همچنین در تایید نتایج قبلی نشان می‌دهد که در یک دانه بندی ثابت با افزایش سرعت، غلظت متوسط خروجی افزایش می‌یابد.

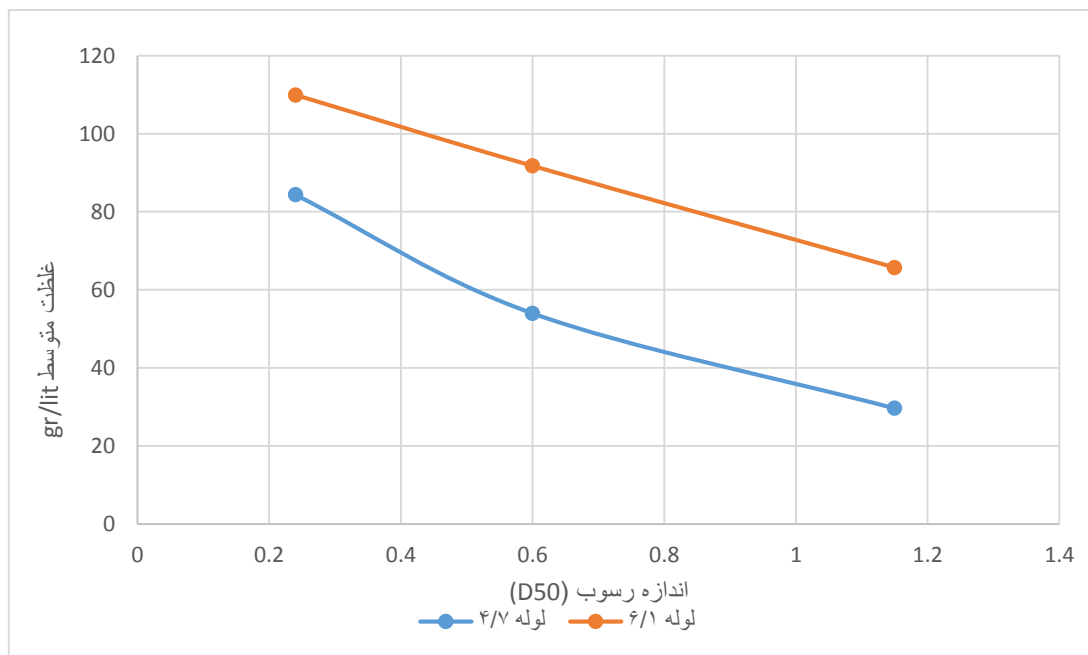


نمودار ۴-۱۳: روند تغییرات عدد بی بعد F_g در برابر عدد بی بعد c/p برای تغییرات اندازه رسوب در لوله ۶/۱ سانتی‌متری

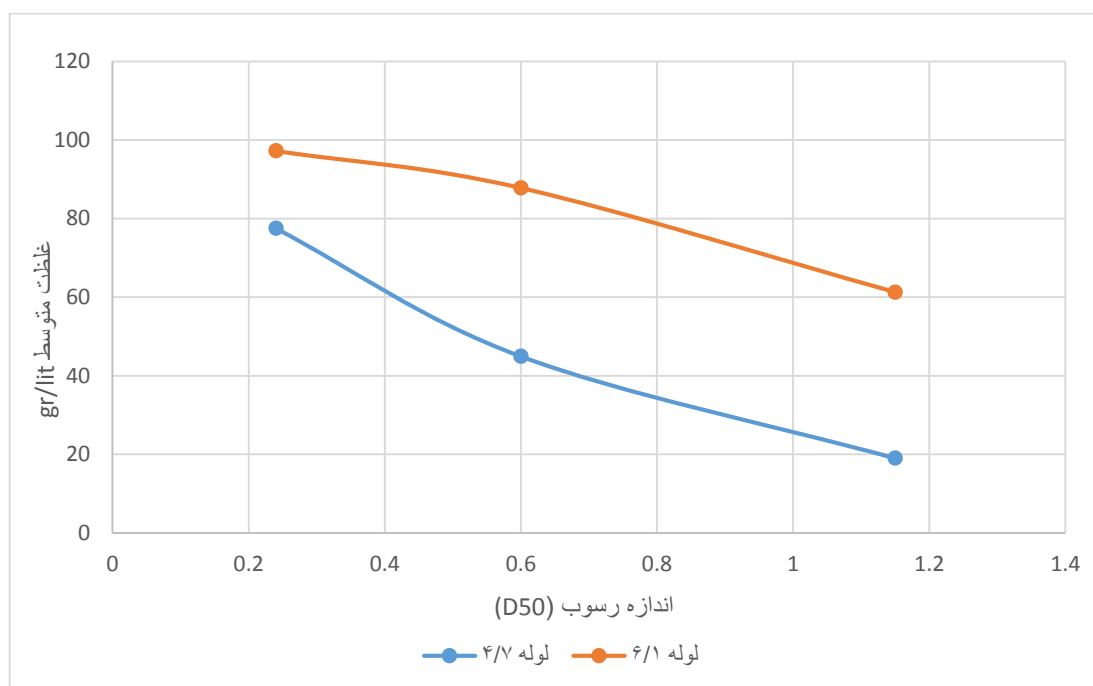
گراف ۴-۱۳ نشان می‌دهد که با افزایش اندازه رسوب و در نتیجه کاهش F_g ، غلظت متوسط خروجی کاهش می‌یابد.

۴-۵-۳ بررسی اثر تغییرات مقیاس در دو لوله با قطرهای ۶/۱ و ۴/۷ سانتی‌متر

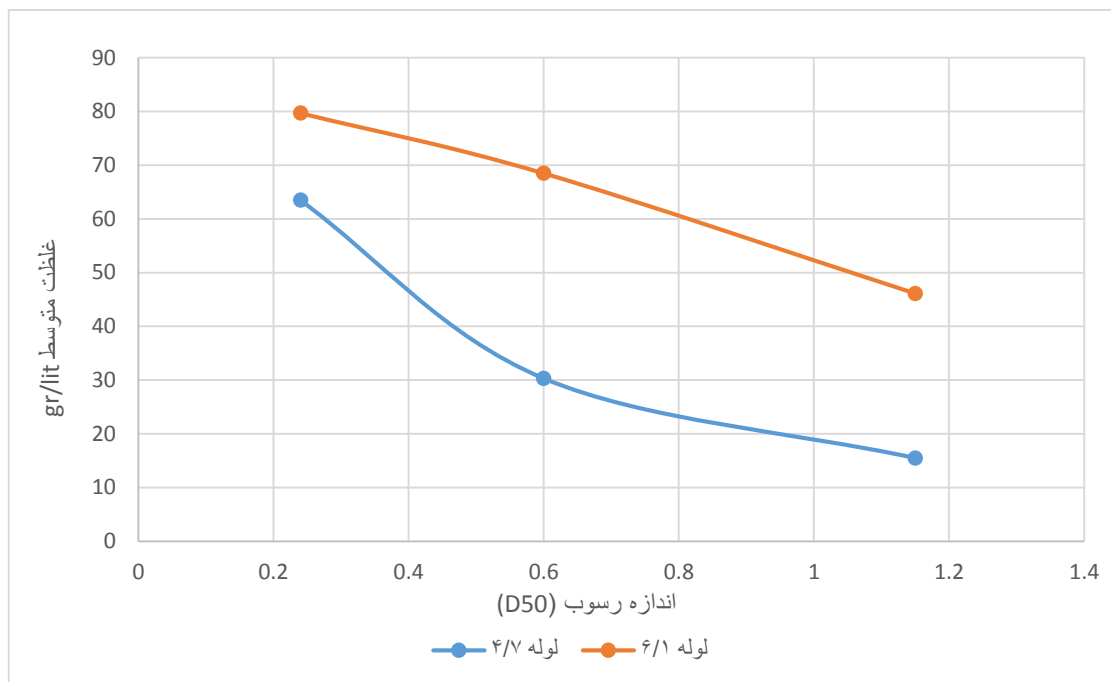
گراف‌های مربوط به سرعت ۲/۱۶، ۱/۸۷، ۱/۷۵، ۱/۳، ۰/۸ در ادامه آورده شده است و همان طور که مشهود است راندمان لوله ۶/۱ در تمامی سرعت‌ها بیشتر است.



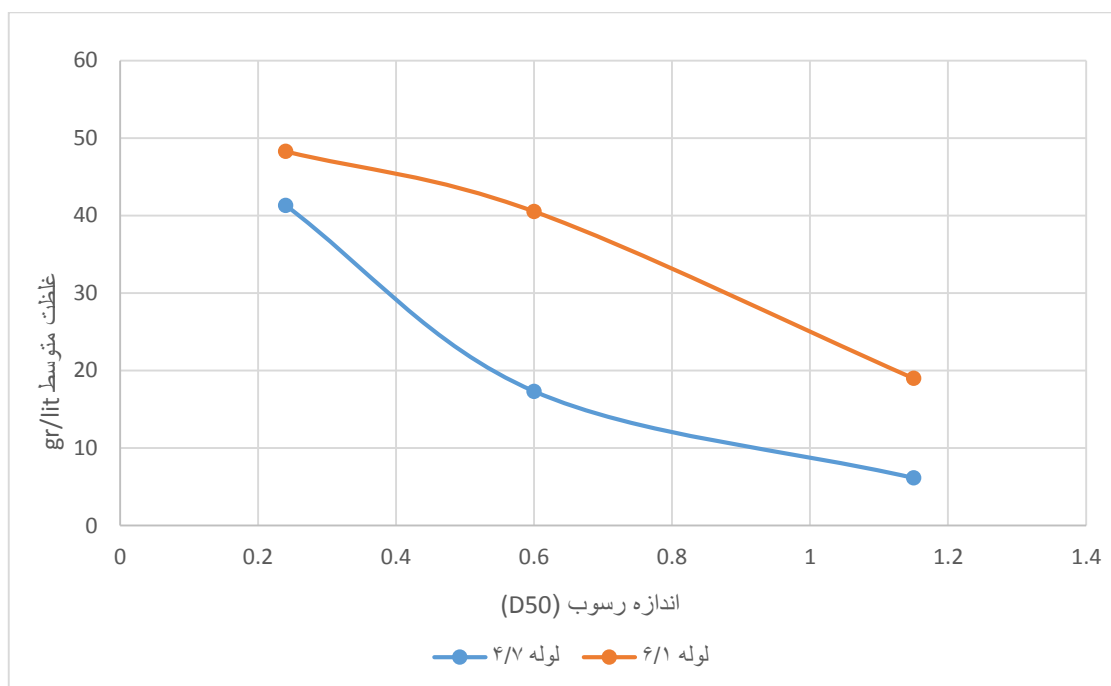
نمودار ۴-۱۴: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت ۲/۱۶ m/s



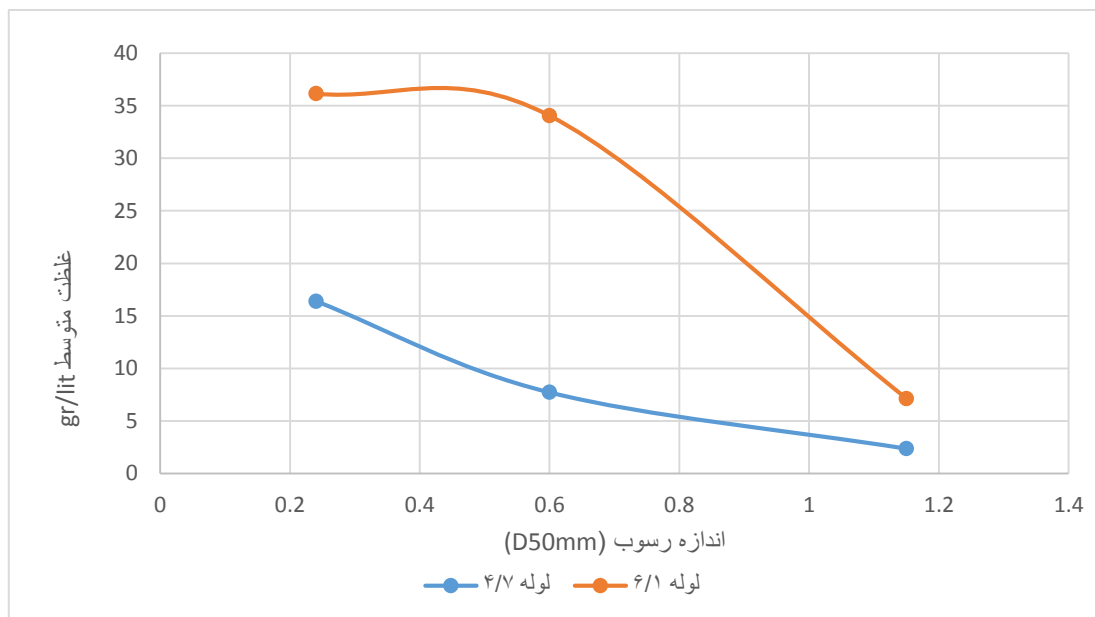
نمودار ۴-۱۵: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت ۱/۸۷ m/s



نمودار ۴-۱۶: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت ۱/۷۵ m/s



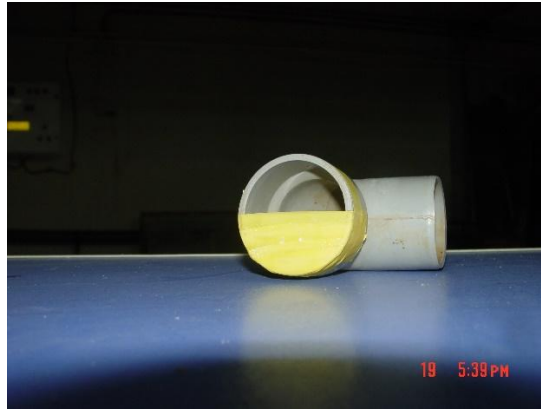
نمودار ۴-۱۷: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت ۱/۳ m/s



نمودار ۴-۱۸: تغییرات غلظت متوسط در برابر اندازه رسوب برای سرعت ۰/۸ m/s

۴-۶ تاثیر وضعیت آبگیر بر راندمان روش هیدروساکشن

همان طور که قبلا گفته شد در طول انجام آزمایش‌ها همواره این سوال مطرح بود که اگر در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی دریچه آبگیر بسته شود چه تاثیری بر عملکرد روش خواهد داشت. بدین منظور ۴ حالت مختلف برای آبگیر (باز، نیمه بسته، ۰/۷۵ بسته و کامل بسته) در لوله ۴/۷ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در گراف زیر آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر چه درصد بسته شدگی دریچه آبگیر بیشتر باشد راندمان بیشتر است.



الف



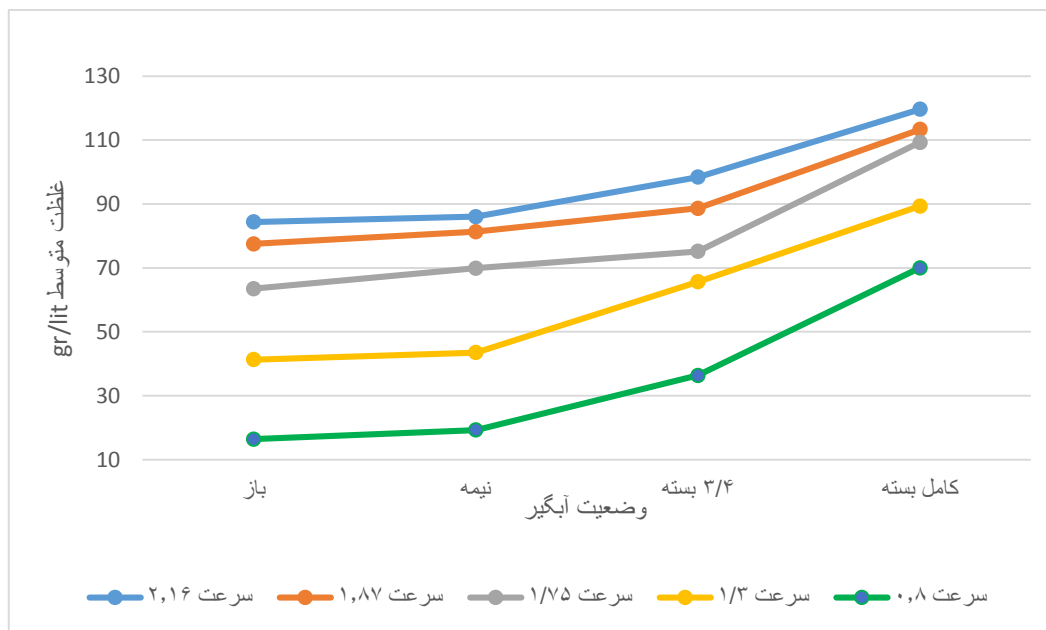
ب



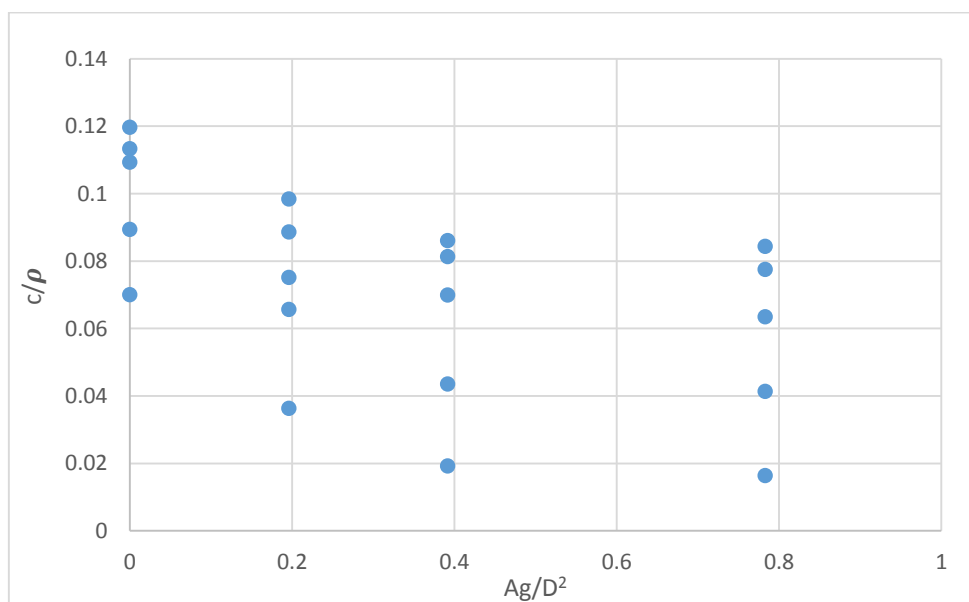
ج

شکل ۴-۲: وضعیت آبگیر

الف) نیمه بسته ب) $\frac{3}{4}$ بسته ج) کامل بسته



نمودار ۴-۱۹: تغییرات غلظت برای حالت های مختلف آبگیر در لوله ۴/۷ سانتی متری



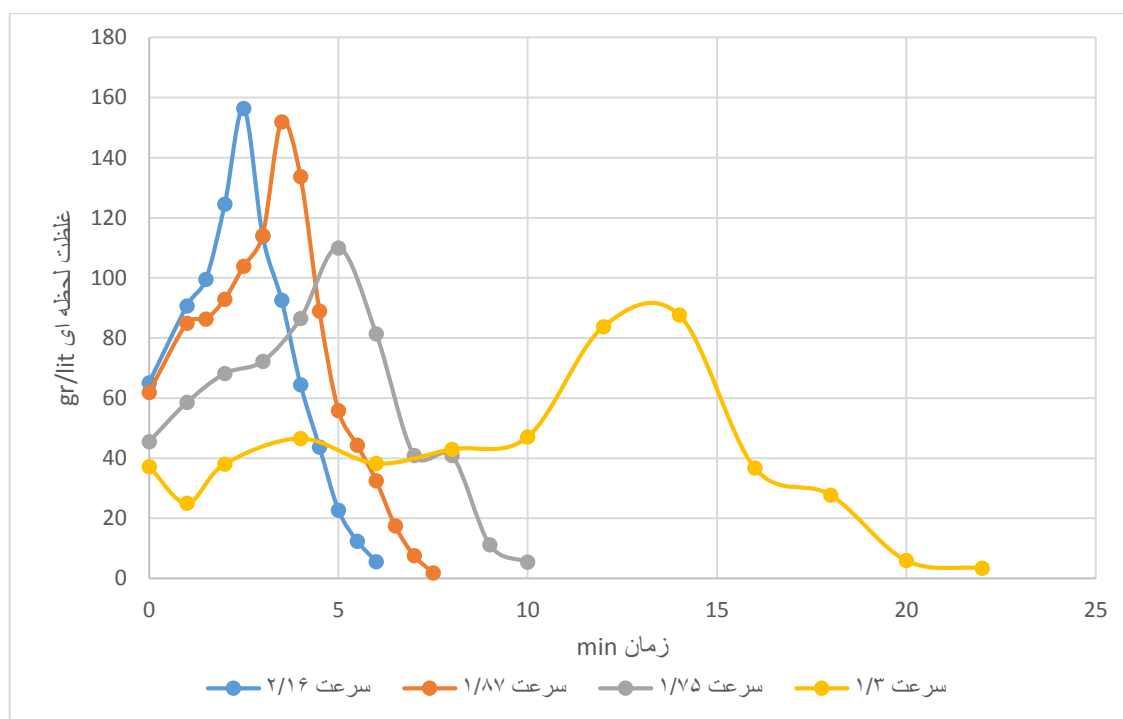
نمودار ۴-۲۰: روند تغییرات عدد بی بعد Ag/D^2 در برابر عدد بی بعد c/p برای حالت های مختلف آبگیر در لوله ۴/۷ سانتی متری در ۵ سرعت ۲,۱۶، ۱,۸۷، ۱/۷۵، ۱/۳، ۰,۸

گراف ۴-۲۰ نشان می دهد که با بستن دریچه آبگیر و در نتیجه کمتر شدن نسبت Ag/D^2 ،

غلظت متوسط خروجی افزایش می یابد.

۷-۴ تحلیل روند آزمایش بر اساس غلظت‌های لحظه‌ای

در مدت زمان انجام هر آزمایش برای مشخص شدن روند رسوب‌شویی و زمان اتمام آزمایش (زمان تعادل)، در زمان بندی‌های مشخص و بصورت متناوب از جریان خروجی نمونه‌گیری انجام می‌گرفت. در نمودار زیر نتایج غلظت‌های لحظه‌ای حاصل از نمونه‌گیری برای آزمایش‌های انجام شده برای رسوب با $D_{50}=0/24$ میلی‌متر در لوله ۶/۱ و در ۵ سرعت آورده شده است.

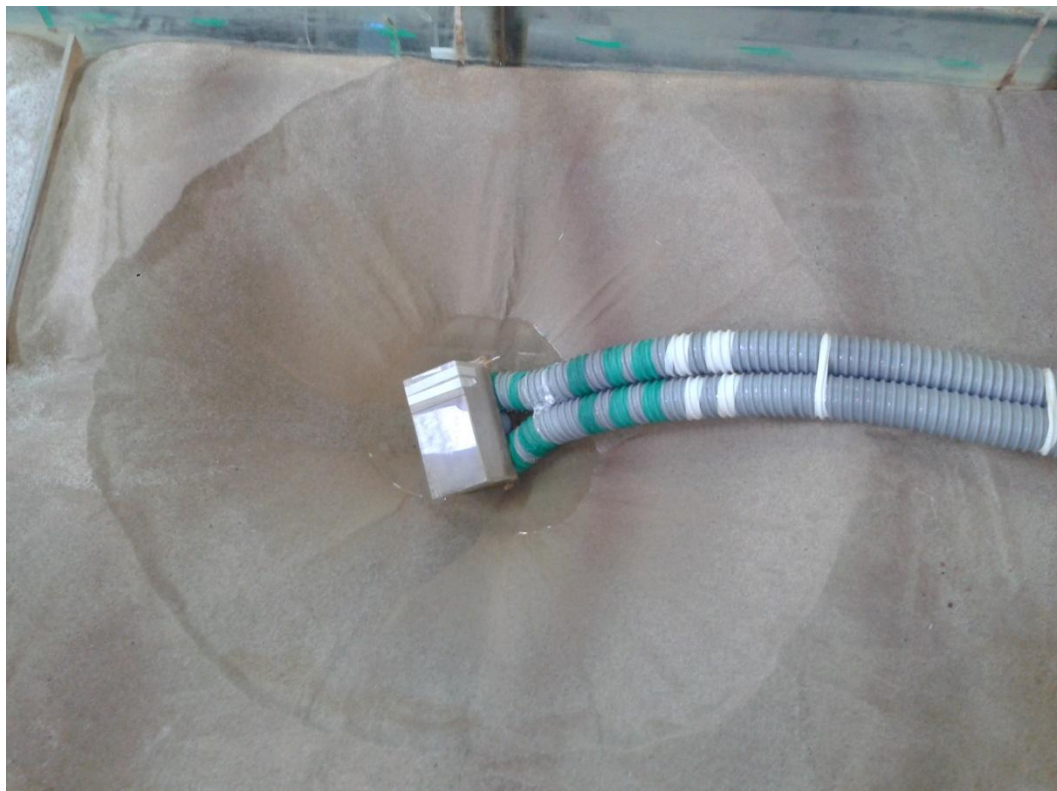


نمودار ۷-۴: روند تغییرات غلظت لحظه‌ای در طول زمان آزمایش‌های رسوب با $D_{50}=0/24$ میلی‌متر در لوله ۶/۱ سانتی
نمودار ۷-۴ از دو بخش صعودی و نزولی تشکیل شده است. بخش صعودی از غلظت حدودی ۴۰-۶۰ gr/litr آغاز می‌شود تا به مقدار بیشینه خود که دقیقاً لحظه قبل از رسیدن لوله مکش به کف مخزن است می‌باشد. با توجه به سرعت در لوله مقدار ماکزیمم غلظت لحظه‌ای و همچنین رسیدن به آن متفاوت است. به این صورت که هر چه سرعت بیشتر باشد مقدار ماکزیمم بیشتر و زمان رسیدن به آن کوتاه‌تر است. پس از رسیدن لوله به کف مخزن، نمودار روند نزولی خود را آغاز می‌کند. در این مدت مخروط آبشویی فقط به صورت طولی و عرضی پیشرفت می‌کند تا زمانی که لبه‌های مخروط به

دیواره‌های مخزن رسیده و این دقیقاً زمانی است که غلظت لحظه‌ای به حدود ۵ gr/litr می‌رسد و آزمایش متوقف می‌شود. همچنین با توجه به نمودار زمان اتمام آزمایش (زمان تعادل) با سرعت رابطه عکس دارد یعنی هر چه سرعت بیشتر شود زمان تعادل زودتر خواهد بود. لازم به ذکر است که این روند برای اندازه رسوب بدین صورت است که با افزایش اندازه رسوب زمان رسیدن به تعادل بیشتر می‌شود.

۴-۸ مخروط آبشویی

با پایین رفتن لوله مکش در رسوب حفره‌ای در رسوب شکل می‌گیرد که به آن مخروط آبشویی می‌گویند (شکل ۴-۳). شکل و اندازه مخروط آبشویی وابسته به ابعاد مدل فیزیکی (مخزن) و مدت زمان آزمایش‌ها می‌باشد به این صورت که با رسیدن لوله مکش به کف مخزن و سپس به دیواره‌های جانبی، مخروط کامل شده و به بزرگ‌ترین حد خود می‌رسد.



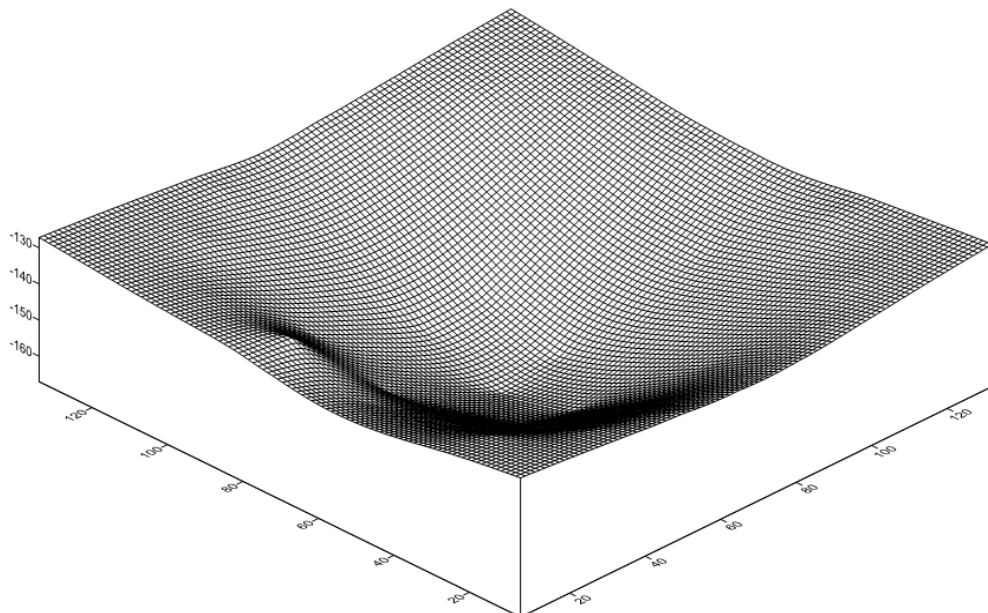
شکل ۴-۳: شکل مخروط آبشویی با فرو رفتن لوله در رسوب

پس از اتمام هر آزمایش، پروفیل مخروط آبشویی ایجاد شده بوسیله متر لیزری و سیستم ریلی

مدرج نصب شده بر روی مخزن برداشت می‌گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار SURFER شمای سه بعدی مخروط ترسیم و حجم آن محاسبه می‌شد.



شکل ۴-۴: شکل مخروط آبشویی در مخزن



شکل ۴-۵: شکل مخروط آبشویی در نرم‌افزار SURFER

۹-۴ محاسبه رابطه غلظت متوسط تخلیه رسوب

با استفاده از نرم افزار SPSS 22 حالت های مختلف ترکیب پارامترهای بدون بعد Π_7 و Π_2 و $\Pi_{13}\Pi_{12}$ بررسی گردید.

$$\frac{c}{\rho} = f(Fg, Re, \frac{h}{D}, \frac{A_g}{D^2}) \quad ۱۷-۴$$

برای آب با دمای ۲۱ درجه سانتیگراد لزوجة سینماتیک $\nu = 1.005E - 6 \text{ m}^2/\text{s}$ می باشد. برای لوله کوچک و بزرگ که به ترتیب دارای قطر ۰/۰۴۷ و ۰/۰۶۱ متر و سرعت در طول آزمایش ها از ۰/۸ تا ۲/۱۶ متر بر ثانیه می باشد، عدد رینولدز و فرود جریان در لوله خواهد شد:

$$Re_{D=0.061, \nu=2.16} = \frac{V.D}{\nu} = \frac{2.16 * 0.061}{10^{-6}} = 131760 \quad \max$$

$$Re_{D=0.047, \nu=0.8} = \frac{V.D}{\nu} = \frac{0.8 * 0.047}{10^{-6}} = 37600 \quad \min$$

$$Fr_{D=0.061, \nu=0.8} = \frac{v}{\sqrt{g.D}} = \frac{0.8}{\sqrt{9.81 * 0.061}} = 1.034 \quad \min$$

$$Fr_{D=0.047, \nu=2.16} = \frac{v}{\sqrt{g.D}} = \frac{2.16}{\sqrt{9.81 * 0.047}} = 3.181 \quad \max$$

اعداد بدست آمده برای رینولدز جریان از ۳۷۶۰۰ تا ۱۳۱۷۶۰ متغیر است، که در این محدوده جریان متلاطم می باشد. پس پارامتر رینولدز (Π_9) از آنالیز ابعادی حذف می گردد. در نتیجه داریم :

$$\frac{c}{\rho} = f(Fg, \frac{h}{D}, \frac{A_g}{D^2}) \quad ۱۸-۴$$

اعداد فرود جریان نیز در محدوده ۱/۰۳۴ تا ۳/۱۸۱ قرار دارد که در این ناحیه جریان فوق بحرانی است.

در نتایج بدست آمده در ۲ حالت خطی و غیرخطی که در جدول (۴-۲) ارائه شده، R^2 ضریب برازش و RMSE شاخص خطا می باشد.

RMSE از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P - O)^2}{n - 1}} \quad ۱۹-۴$$

که در آن :

P داده‌های پیش‌بینی شده

O داده‌های اندازه‌گیری شده

n تعداد داده‌ها می‌باشد

جدول ۲-۴: بررسی خطا و رگرسیون خطی و غیر خطی ترکیب پارامترهای بی بعد

غیر خطی		خطی		تعداد پارامترهای بدون بعد	پارامترهای بدون بعد
RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۱۱۲	۰/۸۸۲	۰/۰۱۰۴	۰/۸۹۹	۴	$\frac{c}{\rho}, Fg, \frac{h}{D}, \frac{A_g}{D^2}$

در حالت خطی هدف رسیدن به رابطه‌ای بصورت زیر است :

$$\frac{c}{\rho} = K + a(Fg) + b\left(\frac{h}{D}\right) + c\left(\frac{A_g}{D^2}\right) \quad ۲۰-۴$$

که در رابطه فوق K, a,b,c,d ضرایب ثابت هستند.

همچنین در حالت غیر خطی هدف رسیدن به رابطه‌ای به شکل زیر است:

$$\frac{c}{\rho} = K \times (Fg)^a \times \left(\frac{h}{D}\right)^b \times \left(\frac{A_g}{D^2}\right)^c \quad ۲۱-۴$$

که در رابطه فوق K, a,b,c,d ضرایب ثابت هستند.

در نهایت با استفاده از نرم افزار SPSS v22 به تحلیل داده‌ها می‌پردازیم و روابط زیر نتیجه

می‌شود:

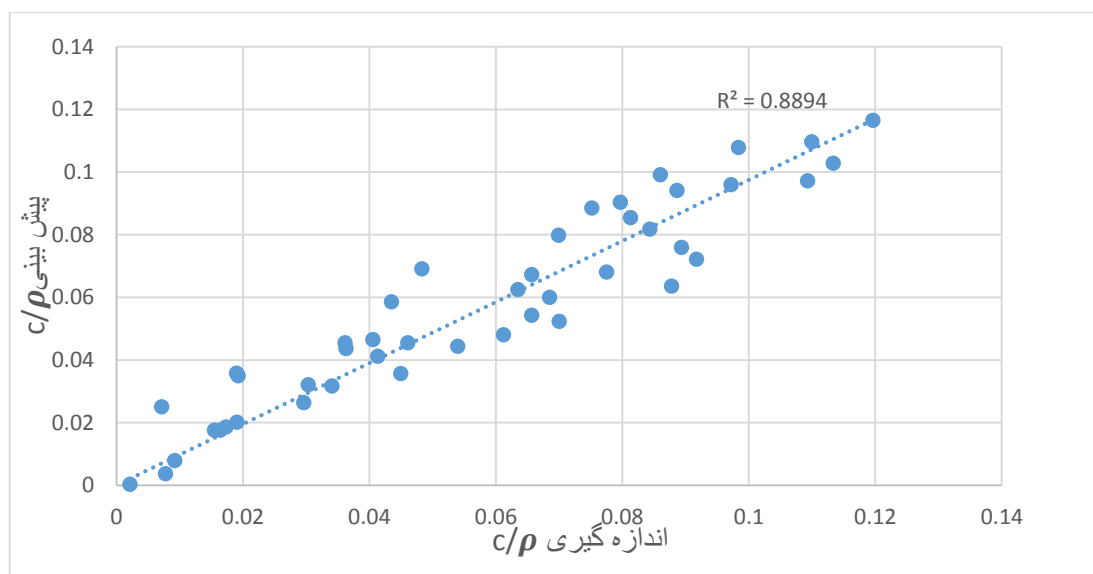
$$\frac{c}{\rho} = 0.136 + (0.003 \times Fg) - \left(0.008 \times \frac{h}{D}\right) - \left(0.044 \times \frac{A_g}{D^2}\right) \quad ۲۲-۴$$

$$\frac{c}{\rho} = 0.077 \times Fg^{1.039} \times \left(\frac{D}{h}\right)^{1.353} \times \left(\frac{D^2}{A_g}\right)^{0.04} \quad ۲۳-۴$$

آنالیز خطی با تعداد ۴ پارامتر دارای خطا و رگرسیون قابل قبول، به عنوان فرمول نهایی پذیرفته می‌شود و به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$c = 136 + (3 \times Fg) - \left(8 \times \frac{h}{D}\right) - \left(44 \times \frac{A_g}{D^2}\right) \quad ۲۴-۴$$

با توجه به فرمول اینطور نتیجه می‌شود که راندمان روش هیدرو ساکشن، با سرعت و قطر لوله نسبت مستقیم و با قطر ر سوب، ارتفاع آب روی ر سوب و مساحت باز شدگی دریاچه آبگیر نسبت عکس دارد.

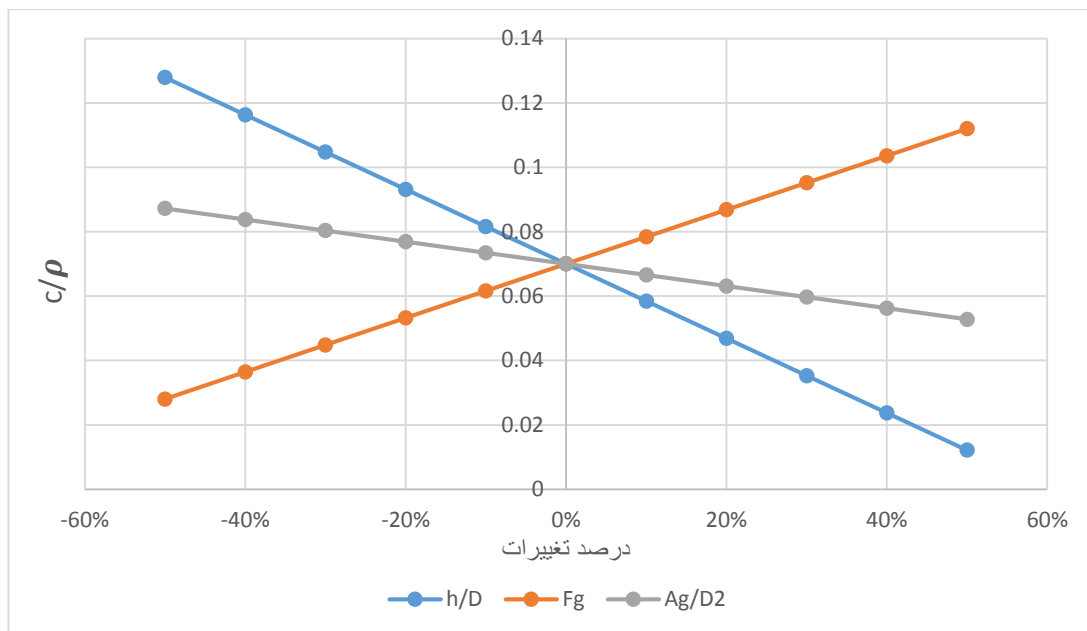


نمودار ۲۲-۴: خط برازش ۴۵ درجه بین $\frac{c}{\rho}$ اندازه گیری شده و $\frac{c}{\rho}$ پیش بینی شده

۴-۱۰ آنالیز حساسیت

در تحلیل حساسیت می‌خواهیم اثرات تغییرات در پارامترهای یک مدل را در جواب نهایی آن مدل بررسی کنیم. علت اهمیت بحث تحلیل حساسیت در این است که در دنیای واقعی پارامترهای مدل (ضرایب تابع هدف، مقادیر سمت راست، ضرایب فنی، تعداد متغیرها، تعداد محدودیت‌ها) تغییر می‌کند و این تغییرات مربوط به شرایط محیطی است.

نمودار ۴-۲۳ آنالیز حساسیت فرمول نهایی بدست آمده با استفاده از داده‌های یکی از تست‌ها می‌باشد. با توجه به فرمول سه پارامتر F_g ، h/D ، Ag/D^2 ، مورد آنالیز قرار گرفته است. بدین صورت که در هر بار آنالیز دو پارامتر ثابت و تاثیر تغییرات پارامتر سوم (از -50% تا $+50\%$) بر متغیر وابسته c/ρ سنجیده شده است.



نمودار ۴-۲۳: آنالیز حساسیت پارامترهای تاثیر گذار

همان‌طور که از شیب گراف‌ها برمی‌آید، تغییرات h/D بیشترین تاثیر و تغییرات F_g و Ag/D^2 به ترتیب دارای تاثیرگذاری کمتری بر c/ρ می‌باشند.

۵- فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهم ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب متروکه شده اند. روش های متنوع و زیادی از جمله حفاری، تخلیه هیدرولیکی، سیستم کنارگذر و غیره برای رسوب زدایی از مخازن سدها وجود دارد. استفاده از این روش ها محدود و کنترل مقدار دقیق کیفیت و کمیت رسوب تخلیه شده دشوار می باشد. همچنین به دلیل مشکلات زیست محیطی و محدودیت های مالی تخلیه کامل رسوب مخازن غیر ضروری بوده و با رسوب زدایی قسمت های حیاتی سد از جمله آبگیرها می توان به بهره برداری از آن ادامه داد. هیدروساکشن یکی از تکنیک های موثر برای رفع مشکل رسوب گذاری در مخازن سدها می باشد، که یکی از جدید ترین آنها " روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات " می باشد. در این تحقیق تاثیر تغییرات سرعت، اندازه رسوب و وضعیت باز شدگی آبگیر بر راندمان تخلیه رسوب روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو قطر لوله مورد بررسی قرار گرفت.

اهم نتایج شامل موارد زیر است :

۱. در یک رسوب با اندازه مشخص با افزایش سرعت در لوله راندمان تخلیه رسوب خروجی افزایش می یابد. همچنین با افزایش سرعت در لوله غلظت رسوب افزایش می یابد و اتلاف انرژی در لوله بیشتر می شود در نتیجه باید با تنظیم سرعت به غلظت بهینه با بیشترین راندمان رسید.
۲. در یک سرعت ثابت با بزرگ تر شدن قطر اندازه رسوب راندمان تخلیه رسوب خروجی کاهش می یابد.
۳. در یک سرعت ثابت و در یک اندازه رسوب مشخص هرچه ورودی آبگیر لوله بسته تر باشد راندمان رسوب شویی افزایش می یابد
۴. نتایج آزمایش در دو لوله ۶/۱ و ۴/۷ سانتی متری با سرعت و اندازه رسوب های ثابت

نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله و در نتیجه کاهش افت در آن (با توجه به رابطه

دارسی-وایسباخ $h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$) راندمان افزایش می‌یابد.

۵. غلظت لحظه‌ای رسوبات تخلیه شده از مخزن از ابتدای آزمایش با گسترش حفره آبشویی

روند افزایش داشته و این روند تا رسیدن سر سیستم لوله مکش به کف مخزن ادامه پیدا

می‌کند و پس از آن روند کاهشی می‌شود.

۶. این روش به دلیل اثر موضعی برای تخلیه رسوب مخازن کوچک مقیاس و به صورت ویژه

در نزدیکی دریچه‌های نیروگاه‌ها و دریچه‌های تخلیه مناسب می‌باشد.

۷. با انجام آنالیز ابعادی و استفاده از نرم افزار spss v22 فرمول زیر برای محاسبه غلظت

متوسط تخلیه رسوب پیشنهاد می‌شود:

$$c = 136 + (3 \times Fg) - \left(8 \times \frac{h}{D}\right) - \left(44 \times \frac{Ag}{D^2}\right)$$

۲-۵-۲ پیشنهادها

موارد زیر برای ادامه مطالعه در زمینه عملکرد روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات

پیشنهاد می‌شود:

در مطالعات پیشین به این نتیجه رسیدند که روش لوله مدفون شده مکش رسوبات در رسوب

چسبیده عملکرد مناسبی ندارد. همچنین بررسی روش مذکور در رسوب چسبیده در رسوب اینجانب

تعریف نشده بود. در نتیجه پیشنهاد می‌شود برای ارتقای عملکرد این روش در رسوب چسبیده، عملکرد

آن با استفاده از تجهیزات جانبی مانند جت آب و یا تیغه چرخنده بررسی گردد.

آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات درجه تحکیم رسوب تاثیر بسیاری بر راندمان رسوب‌زدایی دارد.

اما به دلیل محدودیت‌های زمانی و آزمایشگاهی بررسی این مهم میسر نشد. پیشنهاد می‌شود که روش

لوله مدفون شده مکش رسوبات در درجات مختلف تحکیم رسوب مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع و منابع

Bonham-Carter G.F and Sutherland A.J,(1968)" Mathematical Model and Fortran IV program for computer simulation of Deltaic sedimentation", Kansas Geological survey computer program, kansas : University of Kansas,lawrence,.

Bruke S,(1985)" Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs", Paris : Unesco.

Brune G.M , (1953)" Trap Efficiency of Reservoirs/ Transactions of American Geophysical Union", Vol. 34, pp. 407-418.

Çetinkaya O.K,(2006)" Management of reservoir sedimentation case studies from turkey" , Ms.c Thesis,.

Chow V.T, (1959)" Open Channel Flow", McCraw-Hill Publishing Company, New York.

Eftekharzadeh s, (1987)" Sediment bypass system for impounding reservoirs", Department of civil engineering and engineering of mechanic university of arizona,.

Elich s, Work P.A and Hayte E.J, (2008)" Influence of Stratification and Shoreline Erosion on Reservoir Sedimentation Patterns", J.of.Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 133. - pp. 255-266.

Evrard J,(1980)"Considerations on sedimentation in the hydraulic installations of the electricite de France", seminar of experts on reservoirs Desiltation, tunis , tunisia : Training Ctr. for Water Resourmgmt,.

Fan J and Morris G, (1992)" Reservoir sedimentation. I: reservoir desiltation and long-term capacity",j.of. hydraulic engineering, ASCE, Vol. 118, pp. 370-384.

FAN J and Morris G.L, (1992)" Reservoir sedimentation, II: Reservoir Desiltation and Long" , J.of. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118. - pp. 370-383.

Garric J, Migeom B and Vindimian E,(1990)" Lethal Effects of Draining on Brown Trout, A predictive Model Based on Field and Laboratory Studies", Water Resources Research, pp. 29-65.

Geolidro S.P.A,(1990)" Geolidro system to save the lakes", Parma,Italy.

Hannoyer J,(1974)" Nouvelle Method de Devasement des Barrages – Reservoirs / Annales de l' Institute Technique du Batiment et des Travaux Publics", Vol. 314, pp. 146–153.

Herbich J.B,(2000)"Handbook of dredging engineering", 2nd edition, McGraw-Hill Co, New York.

Holly F.M and Rahuel J.L,(1990)" New Numerical/Physical Framework for Mobile-Bed", J.of. Hydraulic Research, Vol. 28, pp. 401-416.

Hotchkiss B.H and Huang X,(1995)"Hydro suction sediment removal system (HSRS):principle and field test", j.of. hydraulic engineering, Vol. 121, pp. 479-489.

Huang x,(1989)" sediment removal techniques in reservoirs : water and soil conservation division".

Miyakawa M, Hakoishi N and Sakurai T,(2014)" development of the sediment removal suction pipe by laboratory and field experiment", international symposium on dams in a global environmental challenges, Bali,Indonesia.

Morris J.L and Fan J, (1997)" Reservoir sedimentation handbook", McGraw-Hill.

Mostert E, (2003)" Conflict and co-operation in international freshwater management: a global review", International J.of. River Basin Management, pp. 267-278.

Qian N, (1982)" Reservoir Sedimentation and slope stability ; technical and environmental effects", fourteenth international congress on large dams, Vol. 3, pp 639-690, Rio de Janeiro, Brazil.

Ritchie J.C and Mc Henry J.R, (1975)" Fallout Cs-137: A Tool in Conservation Research", j.of. soil water Conservation, pp. 283-288.

Sakurai T and Hakoishi N and Kashiwai J and Izumiya T and Kubo Y,(2007)" Sediment discharge facility by sheet and suction pipe and air valve", 4th international symposium on modern technology of dams.

Sakurai T and Hakoishi N, (2011) "Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs", 79th Annual Meeting of ICOLD 2011: Dams and

Reservoirs under Changing Challenges, pp. 371-378, switzerland

Sakurai T and Hakoishi N (2012) "Hydraulic Characteristics of the Burrowing Type", international symposium on dams for a changing world, Tsokuba,japan: Public Works Research Institute.

Sakurai T and Hakoishi N, (2013)" Sediment discharge field test of the burrowing type sediment removal suction pipe",j.of. Civil Society Proceedings B1 (Hydraulic Engineering),Vol. 69.

Wang W.C, (1996) "Applicability of reservoir desilting/dredging methods of Mainland China to reservoirs in Taiwan", Sinotech Engineering Consultants, taiwan.

White R,(2000) "Flushing of Sediments from Reservoirs:Register of Large Dams", wallingford, UK.

Wu Z.Y, (1998)" A new method in dredging deposited sediment in the reservoir" J. of.Taiwan Water Conservancy, Vol. 46, pp 5-11.

ببران ص، هنر بخش ن،(۱۳۸۶)" بحران وضعیت آب در ایران و جهان " ، پژوهشنامه مطالعات توسعه پایدار و محیط زیست، تهران : اندیشه برتر پویا، جلد شماره اول، ص ۹.

بزی خ ، خسروی س، جوادی م حسین نژاد م،(۱۳۸۹)" بحران آب در خاورمیانه (چالش‌ها و راهکارها) " چهارمین کنگره بین المللی جغرافی دانان استان، زاهدان : دانشگاه زاهدان.

تازی صادق ح،(۱۳۸۴)" آب منبعی ارزشمند و کمیاب "، پیام یونسکو شماره ۳۴۵.

تقوی نژاد دیلمی م،(۱۳۶۳)"معماری، شهرسازی و شهرنشینی ایران در گذر زمان "، انتشارات فرهنگسرا.

خسرونژاد ع،(۱۳۸۷)" مطالعه و ارائه راهکارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش رسوب زدائی هیدرو- ساکشن برای رسوب زدائی مخازن سدهای کشور "، طرح پژوهشی وزارت نیرو به شماره ۸۵۱۰۰، تهران.

زیبا کلام ص،(۱۳۸۵)" ما چگونه ما شدیم- ریشه یابی علل عقب ماندگی ایران "، انتشارات روزنه،

شفاعی بجستان م، (۱۳۷۳) "هیدرولیک رسوبات"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.

صادقی ش، (۱۳۸۵) "هیدرولیک و بحران آب"، اطلاعات سیاسی و اقتصادی، ص ۱۱۵-۱۱۶.

طلوعی ا، (۱۳۶۸) "روش های حفظ و احیای مخزن سدها"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران.

طلوعی ا: "طراحی و بهره برداری سدها و مخازن از دیدگاه رسوب"، نخستین همایش مدیریت رسوب، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز.

فرشاد م، (۱۳۶۲) "تاریخ مهندسی در ایران"، بنیاد نیشابور.

فرهنگی ب، (۱۳۷۲) "سدهای ایران (گذشته، حال، آینده)"، کمیته ملی سدهای بزرگ، وزارت نیرو.

مشکاتی شهمیرزادی م، دهقانی ا، امامقلی زاده ص، مساعدی ا، (۱۳۸۸) "بررسی زمانی گسترش مخروط آبستگی در رسوبشویی هیدرولیکی تحت فشار"، کنفرانس بین المللی منابع آب.

نشریه شماره ۵۸۹ راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدایی مخازن سدها، ۱۳۹۱، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، تهران.

Abstract

in today's world factors like significant population growth and excessive use of natural resources for economical purposes have had its impact on water resources. It should be noticed that it is impossible to increase the sources of fresh water for solving this crisis. The Only possible solution would be water management of existing resources and improving the methods of use. Building dams has been a known way for water management since thousands of years ago. Although numbers of dams built has increased in the past few decades, sedimentation has always been the most important factor in reducing the useful life of dams and many reservoir dams has been abandoned because of being filled with sediment. Various methods such as excavation, hydraulic dredging, bypassing systems, etc. exist for sediment removals of dams. Using these methods have been limited and exact quality-quantity control of removed sediment is difficult and will cause decrease in reservoir's water volume. In addition it is unnecessary to fully remove sediment because of environmental problems and financial issues. Sediment removal also makes it possible for crucial parts of dams like valves to continue working.

Hydro-suction is one of the effective techniques in solving the problem of sedimentation in reservoirs which has a local impact and is usually used for removing sediments settled around the entrance valve of plants. Hydro-suction has different models and "burrowing type sediment removal suction pipe method" is one the newest one. In the presented research the effect of velocity change in pipe, size of sediments and the opening status of inlet on the efficiency of the noted method with the use of experimental modeling in two diameters of the pipe was investigated.

Examining the results showed that in a sediment with a specified size, the efficiency of sediment removal is increased by increasing the velocity of water in the pipe. And in a constant velocity the efficiency of sediment removal is decreased by increasing the size of sediment. Also in a constant velocity and a specified size of sediment, decreasing the opening percentage of the inlet will cause the efficiency to increase. Test results in 6.1 and 4.7 centimeters pipes with constant velocity and size of sediment showed that the efficiency will be increased by increasing the diameter of pipe.

Key words: Hydro-Suction, sediment removal, effect of velocity, suction pipe



University of shahrood

Faculty of civil engineering

Investigation the effect of velocity on efficiency of sediment removal
by Hydrosuction method with physical model

Ali Maghsoudlou nejad

Supervisors:

Dr. Ahmad Ahmadi

Dr. Mojtaba Saneie

September 2015