

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع آب مخزن و تراز تخلیه لوله مکش بهینه بر راندمان تخلیه رسوبات در

روش هیدروساکشن سیفونی

مهدی چراغعلی

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 و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مهدی چراغعلی

تحت عنوان: بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع آب مخزن و تراز تخلیه لوله مکش بهینه بر

راندمان تخلیه رسوبات در روش هیدروساکشن سیفونی

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 :		نام و نام خانوادگی : دکتر سید فضل الله ساغروانی
			نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی عجمی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

## تقدیر و تشکر

از استادان محترم، جناب آقای دکتر احمدی، جناب آقای دکتر صانعی و جناب آقای دکتر امامقلی زاده که در تمام مراحل مطالعات و انجام آزمایش‌ها با راهنمایی‌های خود سبب کامل‌تر 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 پیش برد این طرح را فراهم نمودند کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

## تعهد نامه

اینجانب مهدی چراغعلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع آب مخزن و تراز تخلیه لوله مکش بهینه بر راندمان تخلیه رسوبات در روش هیدروساکشن سیفونی تحت راهنمایی آقای دکتر احمد احمدی و آقای دکتر مجتبی صانعی متعهد می‌شوم:

- 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 می‌باشد 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 می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

## چکیده

محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها به صورت یک معضل جدی درآمده است به طوری که این محدودیت توانسته رشد این کشورها را تحت شعاع خود قرار دهد. منطقه خاورمیانه از جمله مناطقی می باشد که به شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین مواجه می باشد. امروزه جهان برای تأمین آب مورد نیاز با مشکلات متنوعی مواجه می باشد. محیط زیست و اکوسیستم های مبتنی بر منابع آب شیرین با وقوع خشک سالی های متعدد و برداشت بی رویه از ذخایر آبی با بحران ها و چالش های زیادی روبرو شده اند. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران و بروز مشکلات عدیده ای مانند کم آبی در بسیاری از مناطق کشور، حفاظت خاک و آبخیزداری از سازنده ترین راهکارها برای مقابله با خشک سالی است. در مدیریت منابع آب، سدسازی از هزاران سال قبل، فنی شناخته شده بوده. در چند دهه اخیر هرچند سدسازی از نظر کمی روند افزایشی داشته. امروزه جدی ترین خطر برای مرگ زودهنگام سدها، خطر رسوب گذاری مخازن آنها است. این خطر به ویژه در کشورهای در حال توسعه که در آنها مدیریت حوزه های آبریز با چالش ها و نابسامانی های مختلفی روبروست، بسیار ملموس تر است، به ویژه اگر چنین کشورهایی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده باشند. 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 روش های مؤثر برای رفع معضل رسوب گذاری در مخازن سدها می باشد، که تأثیر بسیار موضعی داشته و معمولاً برای خارج کردن رسوبات نهشته شده اطراف ورودی آبگیر نیروگاه بکار می رود. هیدروساکشن شامل مدل های متفاوتی می باشد که یکی از جدیدترین آنها روش

مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات می‌باشد. در این تحقیق تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوب و تراز تخلیه (ارتفاع سیفون) بر عملکرد تخلیه رسوب "روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات" با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو قطر متفاوت لوله مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی نتایج نشان داد که در روش فوق در یک اختلاف هد ثابت، به ازای کاهش ارتفاع آب، غلظت متوسط افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش تراز تخلیه (ارتفاع سیفون) غلظت متوسط به دلیل افزایش افت در لوله کاهش پیدا می‌کند. بررسی اثر قطر لوله نیز نشان داد که با افزایش قطر لوله به دلیل کاهش افت، غلظت متوسط افزایش می‌یابد.

**کلمات کلیدی :** هیدروساکشن، حفره آبشویی، رسوب‌زدایی، سیفون

## لیست مقالات

- چراغعلی م، احمدی ا، صانعی م، امام قلی زاده ص، ۱۳۹۴، تأثیر ارتفاع آب بر راندمان روش  
هیدروساکشن، کنفرانس ملی معماری، عمران و توسعه شهری، بابل



## فهرست مطالب

۱- فصل اول : مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ کاربرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات.....	۳
۳-۱ طرح مسئله.....	۴
۴-۱ اهداف تحقیق.....	۵
۵-۱ ساختار پایان نامه.....	۵
۲- فصل دوم : مطالعات و تاریخچه.....	۶
۱-۲ مقدمه.....	۷
۲-۲ راهکارهای کلی مقابله با بحران کم آبی.....	۸
۱-۲-۲ جلوگیری از توسعه‌ی نامناسب اراضی کشاورزی آبی.....	۸
۲-۲-۲ افزایش نقش مشارکت مردمی در بهره‌برداری و مصرف آب.....	۸
۳-۲-۲ عملیات آبخیزداری و آبخوان‌داری.....	۸
۴-۲-۲ تغییر روش کنونی در مدیریت منابع آب.....	۹
۵-۲-۲ حمایت از نوآوری‌ها در بخش آب.....	۹
۳-۲ عوامل مؤثر در رسوب‌گذاری مخازن سدها.....	۱۴
۱-۳-۲ عوامل طبیعی.....	۱۴

شرایط جوی و توزیع زمانی و مکانی آن	۱-۱-۳-۲	۱۵
ویژگی‌های جغرافیائی، توپوگرافی و زمین‌شناسی حوضه آبریز	۲-۱-۳-۲	۱۵
پوشش گیاهی	۳-۱-۳-۲	۱۵
شرایط هیدرولیکی مخزن (راندمان تله اندازی مخزن)	۴-۱-۳-۲	۱۵
خصوصیات فیزیکی ذرات رسوب:	۵-۱-۳-۲	۱۵
عوامل غیرطبیعی (انسانی)	۲-۳-۲	۱۵
فعالیت‌ها و دخالت‌های بشر در سطح حوضه‌های آبریز	۱-۲-۳-۲	۱۶
کاستی‌های طراحی و بهره‌برداری	۲-۲-۳-۲	۱۶
پیش‌بینی چگونگی توزیع رسوب در مخازن سدها	۴-۲	۱۶
عوامل مؤثر انتقال رسوب به داخل مخزن :	۵-۲	۱۷
آثار زیست‌محیطی ناشی از ساخت سد	۶-۲	۲۰
روش‌های مدیریت رسوب	۷-۲	۲۲
رسوب‌زدایی با استفاده از تونل کنارگذر	۱-۷-۲	۲۳
احداث کنارگذر لوله‌ای	۲-۷-۲	۲۳
تخلیه بخشی از رسوب در زمان سیلاب	۳-۷-۲	۲۴
استفاده از لایروب	۴-۷-۲	۲۵
استفاده از لایروب هیدرولیکی (پمپ لایروبی)	۱-۴-۷-۲	۲۵
استفاده از لایروب مکانیکی	۲-۴-۷-۲	۲۶
تخلیه رسوب ریزدانه با جریان‌های چگال	۵-۷-۲	۲۶

- ۲۷ ..... رسوب‌زدایی هیدرولیکی ۶-۷-۲
- ۲۸ ..... رسوب شویی تحت فشار ۱-۶-۷-۲
- ۲۹ ..... رسوب‌زدایی هیدرولیکی آزاد ۲-۶-۷-۲
- ۳۰ ..... روش تخلیه هیدرولیکی HSRS (هیدروساکشن) ۷-۷-۲
- ۳۰ ..... حالت لایروبی ۱-۷-۷-۲
- ۳۱ ..... حالت کنارگذر ۲-۷-۷-۲
- ۳۲ ..... مزایا، معایب و کاربردهای روش تخلیه سیفونی رسوبات ۳-۷-۷-۲
- ۳۳ ..... کاربردها: ۴-۷-۷-۲
- ۳۳ ..... ۸-۲ مروری بر کارهای انجام‌شده پیشین
- ۴۴ ..... ۳- فصل سوم : مواد و روش‌ها
- ۴۵ ..... ۱-۳ مدل آزمایشگاهی
- ۴۵ ..... ۱-۱-۳ سیستم تأمین آب
- ۴۵ ..... ۲-۱-۳ مخزن اصلی
- ۴۷ ..... ۳-۱-۳ سرریز مثلثی
- ۴۷ ..... ۱-۳-۱-۳ واسنجی سرریز
- ۴۸ ..... ۴-۱-۳ حوضچه تله اندازی رسوب
- ۴۹ ..... ۵-۱-۳ مشخصات لوله مکش بهینه
- ۵۱ ..... ۶-۱-۳ رسوب
- ۵۱ ..... ۲-۳ روند انجام آزمایش‌ها

- ۳-۳ زمان تعادل ..... ۵۲
- ۳-۴ مشکلات انجام آزمایش‌ها ..... ۵۳
- ۴- فصل چهارم : نتایج و تحلیل داده‌ها ..... ۵۴
- ۱-۴ آنالیز ابعادی ..... ۵۵
- ۲-۴ نتایج آزمایش‌ها ..... ۶۰
- ۳-۴ تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوبات بر غلظت متوسط روش هیدروساکشن ..... ۶۰
- ۱-۳-۴ در لوله با قطر ۴/۷ سانتی‌متر ..... ۶۱
- ۲-۳-۴ در لوله با قطر ۶/۱ سانتی‌متر ..... ۶۲
- ۳-۳-۴ مقایسه اثر مقیاس در دو لوله با قطرهای ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متر ..... ۶۳
- ۴-۴ تأثیر تغییرات تراز تخلیه (سیفون) بر غلظت متوسط روش هیدروساکشن ..... ۶۴
- ۱-۴-۴ در لوله با قطر ۴/۷ سانتی‌متر ..... ۶۵
- ۲-۴-۴ در لوله با قطر ۶/۱ سانتی‌متر ..... ۶۶
- ۳-۴-۴ مقایسه اثر مقیاس در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متری ..... ۶۷
- ۵-۴ تحلیل روند آزمایش بر اساس غلظت‌های لحظه‌ای ..... ۶۹
- ۶-۴ مخروط آبشویی ..... ۷۰
- ۷-۴ به دست آوردن رابطه ..... ۷۱
- ۸-۴ آنالیز حساسیت ..... ۷۴
- ۵- فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادها ..... ۷۶
- ۱-۵ مقدمه ..... ۷۷

۲-۵ اهم نتایج شامل موارد زیر است : ..... ۷۷

۳-۵ پیشنهادها : ..... ۷۸

## فهرست اشکال

۱-۱ : نحوه عملکرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات ..... ۴

شکل ۱-۲: نمایی از بالادست سد سفیدرود که انباشته شده از رسوب ..... ۱۲

شکل ۲-۲: نحوه انتقال دلتا در اثر بهره‌برداری غلط از مخزن سد (Blanton, 1982) ..... ۱۸

شکل ۳-۲: نمایش روش کنارگذر لوله‌ای (Holly, et al., 1990) ..... ۲۴

شکل ۴-۲: نمایش استفاده از پمپ لایروبی ..... ۲۵

شکل ۵-۲ : چگونگی تشکیل جریان غلیظ و حرکت آن به درون مخزن ..... ۲۷

شکل ۶-۲: نحوه عمل رسوب‌زدایی آزاد (Bonham-Carter, et al., 1968) ..... ۲۹

شکل ۷-۲ : حذف رسوب به روش لایروبی هیدروساکشن، (HSRS) ..... ۳۱

شکل ۸-۲ : حذف رسوب به روش کنارگذر هیدروساکشن (Hotchkiss, et al., 1995) ..... ۳۱

شکل ۹-۲: سیستم مورد استفاده در آزمایش‌های (Sakurai , et al., 2007) ..... ۳۵

شکل ۱۰-۲: آبگیرهای مدفون در حالت دو آبگیر (Sakurai , et al., 2007) ..... ۳۷

شکل ۱۱-۲: حالت چهار آبگیره (Sakurai , et al., 2007) ..... ۳۷

شکل ۱۲-۲: نحوه عملکرد مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات ..... ۳۸

شکل ۱۳-۲: لوله مدل کوچک‌مقیاس (Sakurai, et al., 2011) ..... ۳۹

شکل ۱۴-۲ : نمای شماتیک " Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe " با

گسترش حفره‌ها در بالادست ..... ۴۰

شکل ۱۵-۲ : الف) لوله مورد استفاده در تحقیق میدانی (Sakurai , et al., 2013) ..... ۴۱

شکل ۱۶-۲ : حالت‌های مختلف اندازه و فاصله حفره‌ها ..... ۴۲

- شکل ۳-۱: شمای کلی مدل آزمایشگاهی ..... ۴۵
- شکل ۳-۲: طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی ..... ۴۶
- شکل ۳-۳: سرریز مثلثی ۶۰ درجه ..... ۴۷
- شکل ۳-۴: حوضچه تله اندازی رسوب ..... ۴۸
- شکل ۳-۵: لوله مکش ..... ۵۰
- شکل ۳-۶: آرایش حفره‌ها در قسمت خم لوله ..... ۵۰
- شکل ۳-۷: رسوب بیل زده شده ..... ۵۳
- شکل ۴-۱: پارامترهای تأثیرگذار در لوله ..... ۵۵
- شکل ۴-۲: پارامترهای تأثیرگذار در مخزن ..... ۵۶
- شکل ۴-۳: شکل مخروط آبشویی ..... ۷۰
- شکل ۴-۴: شکل مخروط آبشویی در مخزن ..... ۷۱
- شکل ۴-۵: شکل مخروط آبشویی در نرم‌افزار SURFER ..... ۷۱

## فهرست جداول

- جدول ۲-۱: وضعیت منابع آب تجدیدشونده در مناطق مختلف جهان (تا سال ۲۰۰۴) ..... ۱۲
- جدول ۲-۲: نرخ رسوب‌گذاری در مخازن سدها در مناطق مختلف جهان ..... ۱۳
- جدول ۲-۳: تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان ..... ۱۳
- جدول ۲-۴: اثرات زیست‌محیطی ناشی از رسوبات سد ..... ۲۰
- جدول ۴-۱: بررسی خطا و رگرسیون خطی و غیرخطی ..... ۷۲



# ۱- فصل اول

## مقدمه



## ۱-۱ مقدمه

محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها به صورت یک معضل جدی درآمده است به طوری که این محدودیت توانسته رشد این کشورها را تحت شعاع خود قرار دهد. منطقه خاورمیانه از جمله مناطقی می باشد که به شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین مواجه می باشد. جمعیت جهان در سال ۱۳۸۴ در حدود شش میلیارد و سیصد و پنجاه میلیون نفر بوده که تا سال ۱۴۳۰ به حدود ده میلیارد نفر خواهد رسید. این مساله باعث افزایش تقاضا برای مصرف آب به خصوص آبهای سطحی می گردد. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران و بروز مشکلات عدیده ای مانند کم آبی در بسیاری از مناطق کشور، حفاظت خاک و آبخیزداری از سازنده ترین راهکارها برای مقابله با خشکسالی است. (Holly, et al., 1990)

در مدیریت منابع آب، سد سازی از هزاران سال قبل، فنی شناخته شده بوده. اهمیت موضوع رسوبگذاری در مخازن سدها از یک سو و رشد روزافزون تقاضا برای دسترسی به منابع آب مطمئن از سوی دیگر، باعث شده تا طی سه دهه اخیر صنعت سد سازی در سطح جهان شاهد رشد قابل توجهی در احداث سدهای مخزنی جدید و همچنین توسعه و احیاء مخازن سدهای در دست بهره برداری باشد (wang, et al., 2009). امروزه جدی ترین خطر برای مرگ زود هنگام سدها، خطر رسوبگذاری مخازن آنها است. این خطر بویژه در کشورهای در حال توسعه که در آنها مدیریت حوزه های آبریز با چالشها و نابسامانیهای مختلفی روبروست، بسیار ملموس تر است، بویژه اگر چنین کشورهایی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده باشند (Atkinson, 1996). 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 روشها 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 تکنیک‌های موثر برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در مخازن سدها می‌باشد، که تاثیر بسیار موثری داشته و معمولاً برای خارج کردن رسوبات نهشته شده اطراف ورودی آبگیر نیروگاه بکار می‌رود. هیدروساکشن خود شامل مدل‌های متفاوتی می‌باشد که یکی از جدیدترین آن‌ها "روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات"<sup>۱</sup> می‌باشد.

## ۱-۲ کاربرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات

روش فوق روشی است که در آن با استفاده از انرژی هیدرولیکی اختلاف تراز آب بالادست و پائین‌دست مخزن و با استفاده از یک لوله مکش که ممکن است به صورت 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 برقایی کاربرد دارد. عمده کاربرد این روش برای سدهای با حجم کمتر از ۱۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. اجزای اصلی سیستم مورد استفاده در روش هیدروساکشن شامل ورودی مکش، لوله، قسمت خروجی و تجهیزات وابسته می‌باشد.

در استفاده روش‌های معمول دیگر از قبیل حفاری<sup>۲</sup>، فلاشینگ<sup>۳</sup>، سیستم کنارگذر<sup>۴</sup>، لایروبی<sup>۵</sup> 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 هستیم؛ اما روش لوله مدفون شده مکش رسوبات با هزینه ساخت، نصب و اجرای پایین، انعطاف‌پذیری در جانمایی، راندمان مناسب، قابلیت کنترل غلظت رسوب خروجی، عدم نیاز انرژی خارجی، توانایی جمع‌آوری رسوب خروجی و عملکردی موثری مشکلات روش‌های دیگر را ندارد. شکل (۱-۱) نحوه عملکرد لوله مدفون شده مکش رسوبات را نشان می‌دهد.

---

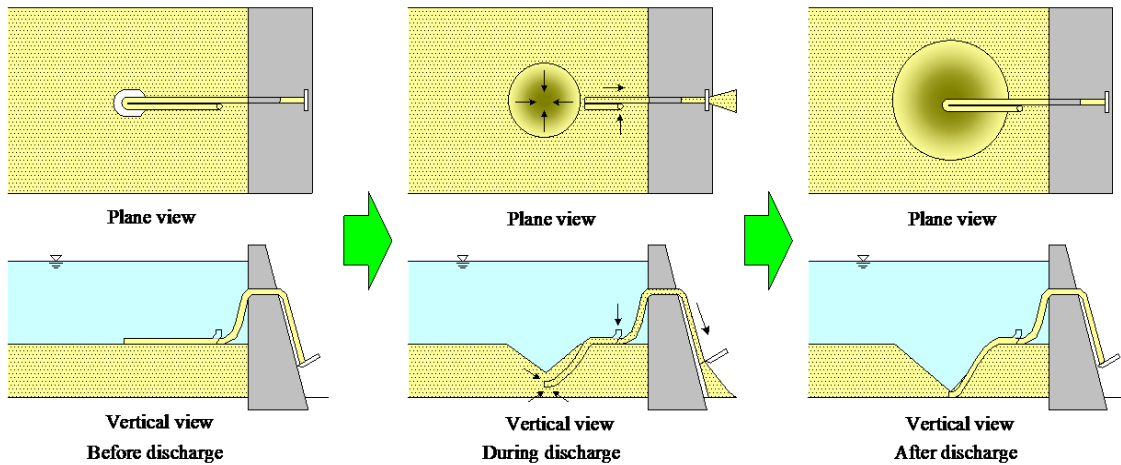
<sup>۱</sup> Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe

<sup>۲</sup> Excavation

<sup>۳</sup> Flushing

<sup>۴</sup> By-Passing

<sup>۵</sup> Dredging



۱-۱ : نحوه عملکرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات

### ۳-۱ طرح مسئله

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

- با توجه به فراوانی روش‌های رسوب زدایی، به چه دلیل روش لوله مدفون شده مکش رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است؟

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

- لزوم بررسی تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوبات در عملکرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات در چیست؟

با توجه به این که ارتفاع آب مخازن سدها در طول فصول مختلف سال با توجه به بارندگی، تبخیر و میزان برداشت آب از سد در سطوح متفاوت قرار می‌گیرد (حجم کل، حجم مفید و حجم مرده) نیاز به بررسی تأثیر ارتفاع آب روی رسوبات بر عملکرد روش فوق وجود دارد.

- لزوم بررسی تأثیر تغییرات تراز تخلیه در عملکرد روش لوله مدفون شده مکش رسوبات در چیست؟

عبور لوله خروجی از تراز رسوبات نیازمند وجود دریچه تخلیه در همان تراز است؛ اما در سدها و بندهای ساخته شده در کشور ممکن است این دریچه وجود نداشته باشد یا با رسوب پر شده باشد. در این صورت باید لوله از دریچه آبیاری یا از روی تاج سد عبور داده شود. به همین منظور لزوم بررسی تأثیر افت در زمان سیفونی شدن لوله وجود دارد.

#### ۴-۱ اهداف تحقیق

- بررسی آزمایشگاهی روش جدید هیدرو ساکشن لوله مکش در رسوبزدائی از مخازن سدها به منظور افزایش کارایی این روش
- تعیین رابطه کلی که بیانگر عملکرد روش مذکور برای ارتفاعهای مختلف آب در مخازن و ترازهای مختلف تخلیه رسوب باشد

#### ۵-۱ ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر پس از طرح مسئله در فصل جاری، به مطالعه مختصری در خصوص رسوب گذاری سدها و روشهای مختلف رسوبزدائی و بیان تاریخچه مختصری از روش هیدروساکشن در فصل دوم می پردازد. در فصل سوم به بررسی مدل فیزیکی و روشهای انجام آزمایشها پرداخته می شود. در ادامه آنالیز ابعادی پارامترهای تأثیرگذار، نتایج و تحلیل آزمایشها در فصل چهارم ارائه خواهد شد. همچنین در همین فصل با استفاده از نرم افزار SPSS v22 و آنالیز حساسیت دادهها، رابطه ای برای پیش بینی غلظت منتقل شده توسط این روش ارائه خواهد شد. جمع بندی تحقیق پیشرو و نیز ارائه پیشنهادها برای ادامه مطالعات در فصل پنجم گنجانده می شود.

## ۲- فصل دوم

### مطالعات و تاریخچه

## ۱-۲ مقدمه

محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها به صورت یک معضل جدی درآمده است به طوری که این محدودیت توانسته رشد این کشورها را تحت شعاع خود قرار دهد. منطقه خاورمیانه از جمله مناطقی می باشد که به شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین مواجه می باشد. جمعیت جهان در سال ۱۳۸۴ در حدود شش میلیارد و سیصد و پنجاه میلیون نفر بوده که تا سال ۱۴۳۰ به حدود ده میلیارد نفر خواهد رسید. این مسئله باعث افزایش تقاضا برای مصرف آب به خصوص آب های سطحی می گردد (Holly, et al., 1990). بر اساس گزارش سازمان ملل در آینده ای نزدیک، حدود ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد و نام ایران به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای درگی ر بحران آب در آینده مطرح می شود. همچنین انتظار می رود تا سال ۲۰۲۵، بیش از دو سوم جمعیت جهان در شرایط کمبود جدی آب قرار بگیرند و یک سوم بقیه در شرایط کمیابی آب زندگی کنند ( خلاصه ی طرح جامع آب کشور، ۱۳۸۰).

امروزه جهان برای تأمین آب موردنیاز با مشکلات متنوعی مواجه می باشد. محیط زیست و اکوسیستم های مبتنی بر منابع آب شیرین با وقوع خشک سالی های متعدد و برداشت بی رویه از ذخایر آبی با بحران ها و چالش های زیادی روبرو شده اند. به طور کلی مشکلات و مسائلی که در زمینه ی منابع آب وجود دارند، عبارت اند از:

۱- توزیع نابرابر منابع آب -۲ رشد جمعیت -۳ تنش های آبی -۴ کمیابی وسیع منابع آب -۵ کنترل کیفیت و کمیت منابع آب -۶ سیل و خشک سالی -۷ بهره برداری غیراصولی از منابع آب های سطحی و عمقی -۸ عدم تناسب و هماهنگی که بین دستگاه های اجرائی با هم و با دیگر بخش های مرتبط و بخش دانشگاهی وجود دارد. -۹ روش های سنتی بهره برداری از منابع آبی و نبود شفافیت در نقش مردم ( خلاصه ی طرح جامع آب کشور، ۱۳۸۰ )، ( اوریم، ۱۳۹۰ )، (مجموعه مقالات همایش آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۳).

بنابراین با توجه به وضعیت کنونی منابع آب کشور، راهکارهای کلی مقابله با بحران کم‌آبی به شرح زیر توصیه می‌گردد.

## ۲-۲ راهکارهای کلی مقابله با بحران کم‌آبی

### ۲-۲-۱ جلوگیری از توسعه‌ی نامناسب اراضی کشاورزی آبی

میزان و نحوه‌ی توسعه‌ی اراضی کشاورزی آبی، در کاهش بحران آبی مؤثر است. محدودیت منابع آب، اولین مانع گسترش و توسعه‌ی تولیدات کشاورزی در چند دهه-ی آینده خواهد بود. امروزه ۴۵ درصد مواد غذایی جهان از زمین‌های کشاورزی با آبیاری تأمین می‌گردد. با افزایش جمعیت انتظار می‌رود تولید این میزان به ۷۰ درصد افزایش یابد؛ اما الگوهای نادرست مصرف آب در بخش کشاورزی در کشورهای صنعتی و پیشرفته باعث تشدید بحران آب و کاهش مواد غذایی در نقاط تشدید بحران آب و کاهش مواد غذایی در نقاط دیگر جهان می‌گردد. (یزدانی مقدم، و غیره، ۱۳۹۰)

### ۲-۲-۲ افزایش نقش مشارکت مردمی در بهره‌برداری و مصرف آب

گسترش و تحکیم زمین‌های مشارکت آگاهانه‌ی مردم به‌ویژه در بهره‌برداری و مصرف آب، یگانه تضمین بلندمدت برای سودمندی فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده در این رابطه به نظر می‌رسد. گسترش و تحکیم زمین‌های مشارکت آگاهانه‌ی مردم به‌ویژه در بهره‌برداری و مصرف آب، یگانه تضمین بلندمدت برای سودمندی فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده در این رابطه به نظر می‌رسد (یزدانی مقدم، و غیره، ۱۳۹۰).

### ۳-۲-۲ عملیات آبخیزداری و آبخوان‌داری

با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و بروز مشکلات عدیده‌ای مانند کم‌آبی در بسیاری از مناطق کشور، حفاظت خاک و آبخیزداری از سازنده‌ترین راهکارها برای مقابله با خشک‌سالی است. آبخیزداری یکی از شیوه‌های نوین حفاظت آب‌و‌خاک، مهار و پخش سیلاب‌ها است که باعث

کنترل سیلاب‌های مخرب و نفوذ آب به داخل سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. آبخوان‌داری نیز مجموعه‌ای از عملیات مکانیکی است که با مهار و نفوذ سیلاب بر روی عرصه‌های آبخوان موجب احیاء کمی و کیفی منابع آب‌وخاک، تقلیل و حتی حذف خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم و در نتیجه بهینه‌سازی محیط‌زیست می‌شود ( یزدانی مقدم , و غیره, ۱۳۹۰).

## ۴-۲-۲ تغییر روش کنونی در مدیریت منابع آب

مدیریت بهره‌برداری بر اساس فراوانی منابع آب، کنترل و اصلاح مدیریت بهره‌برداری بر اساس کمبود منابع و مدیریت تقاضا (مصرف) مدیریت می‌شوند، در حالی که مدیریت آب کشور در حال حاضر، در حال سپری نمودن مرحله‌ی کنترل، اصلاح مدیریت و بهره‌برداری بر اساس کمبود منابع و در آغاز مرحله‌ی مدیریت تقاضا می‌باشد.

## ۵-۲-۲ حمایت از نوآوری‌ها در بخش آب

افزایش تأمین و ذخیره‌سازی آب بستگی گسترده‌ای به نوآوری در تحقیقات بنیادی و انطباق نتایج آن با شرایط فعلی دارد. کلید موفقیت در اجرای روش‌های نوین، افزایش آگاهی عمومی بین مصرف‌کنندگان آب می‌باشد. همچنین آموزش افرادی که برای تغییر الگو مناسب می‌باشند، مؤثر است. از آنجایی که آب یک کالای ارزشمند است، مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان باید فایده‌ی نوآوری و پژوهش را در بهینه‌سازی، تأمین، ذخیره‌سازی و مصرف بدانند ( یزدانی مقدم , و غیره, ۱۳۹۰).

مدیریت منابع آبی مستلزم ارزیابی دقیق حجم ذخایر آبی و میزان دسترسی به آن در هر منطقه و شناخت فرآیندهای محیطی حاکم بر این منابع است. مدیریت بهینه‌ی منابع آبی، ضمن جبران برخی از کمبودها، باعث افزایش ذخیره منابع آبی موجود، حداقل نمودن اثرات منفی، استفاده مجزا از منابع و مدیریت مؤثر و بهینه آب می‌شود. مدیریت منابع آبی به معنی استفاده دقیق از آب و حفاظت منابع آبی است که کمیت و کیفیت آب را شامل می‌شود و می‌توان آن را به دو روش فعال و انفعالی



تقسیم‌بندی نمود. روش فعال خود قابل‌تفکیک به روش‌های؛ جلوگیری از هدر رفت آب‌های سطحی، حفاظت از آبخوان‌ها و صرفه‌جویی و حفاظت آب در مصرف است. از مهم‌ترین راهکارهای کنترل آب‌های سطحی که هم می‌توان انجام است، ایجاد سد 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 موردبررسی قرار می‌دهند. به‌طور متوسط ۱۲ درصد حجم منابع آب تجدید شونده طبیعی در مخازن سدها ذخیره می‌شود، ولی این میزان در مناطقی نظیر خاورمیانه تا ۶۰ درصد هم می‌رسد (شاهی دشت، و غیره، ۱۳۸۹)، (ابراهیمیان، و غیره، ۱۳۹۲)، (Holly, et al., 1990).

امروزه جدی‌ترین خطر برای مرگ زود هنگام سدها، خطر رسوب‌گذاری مخازن آن‌ها است. این خطر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که در آن‌ها مدیریت حوزه‌های آبریز با چالش‌ها و نابسامانی‌های مختلفی روبروست، بسیار ملموس‌تر است، به‌ویژه اگر چنین کشورهایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده باشند. کشور ایران یکی از کشورهای در حال توسعه است که در منطقه نیمه‌خشک جهان واقع است، به این معنی که عوامل طبیعی و عوامل انسانی مؤثر در امر رسوب خیزی حوزه‌ها و رسوب‌گذاری مخازن سدها در جهت تخریب پیش می‌روند؛ و از این رو این‌گونه کشورها خسارات و صدمات زیادی را از نظر فرسایش خاک و تبعات آن متحمل می‌شوند. در ایران سالانه بین ۱۷۵ تا ۲۵۰ میلیون مترمکعب از حجم مخازن سدها در اثر رسوب‌گذاری از بین می‌رود، نرخ سالانه کاهش حجم مخازن ایران به‌صورت سرجمع بین نیم تا هفتادوپنج درصد متغیر بوده و متأسفانه این نرخ باگذشت زمان رو به افزایش است. لازم است توجه کنیم که رسوب‌گذاری به میزان ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال به معنی آن است که هر سال ۲ سد مخزنی ایران هر یک با حجم ۲۰۰ میلیون مترمکعب به نیمه‌عمر خود میرسند. از سوی دیگر رسیدن یک سد به نیمه‌عمر خود یعنی از دست دادن نیمی از حجم مخزن یا از دست دادن قابلیت تنظیم برای هدفهایی که برای آن طراحی و ساخته شده است (Atkinson, 1996)، (گزارش عملیات رسوب زدایی سد سفید رود، ۱۳۸۵).

ما هر ساله به لحاظ رسوب‌گذاری مخازن سدها یک تا دو سد مخزنی سایز متوسط خود را از دست می‌دهیم و این در حالی است که اولاً شانس جایابی ساختگان مناسب سد، سال به سال کاهش می‌یابد و ثانیاً سدی که مخزن آن از رسوب انباشته شد، به راحتی قابل متروکه کردن و جایگزین کردن نیست. چون چنین سدی یک تهدید جدی برای پایین دست خواهد بود. در مقابل چنین واقعیت تلخی امروزه مهارت‌ها و خلاقیت‌های مهندسی به نحو بسیار چشمگیری در افزایش عمر سازه‌ای سدها موفق بوده است (Atkinson, 1996).

مواد رسوبی که وارد مخازن سدها می‌شوند، حاصل عمل فرسایش پوسته‌ی زمین می‌باشند که توسط رودخانه حمل و به مخزن وارد می‌شوند. از این رو میزان ارتفاع فرسایش خاک ممکن است از ۰/۰۶ میلی‌متر در سال تا ۰/۱۶ میلی‌متر تغییر کند که به طور متوسط در حدود ۱۳۲ تن رسوب در هر کیلومترمربع در هر سال حاصل می‌شود. بیش تر مواد رسوبی فرسایش شده به صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر توسط رودخانه حمل می‌شوند. رسوبات فوق پس از رسیدن به دریاچه‌های طبیعی یا مصنوعی، مخازن سدها و دریاها، در اثر تغییر شرایط هیدرولیکی ترسیب می‌شوند. مخازن سدها، از جمله مکان‌هایی 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. شکل ۱-۲ نمایی از بالادست سد سفیدرود که از رسوب انباشته شده است را نشان می‌دهد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).



شکل ۱-۲: 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 تجدیدشونده طبیعی در مخازن سدها ذخیره می‌شود، ولی این میزان در مناطقی نظیر خاورمیانه تا ۶۰ درصد هم می‌رسد. این جدول اهمیت حفظ و نگهداری مخازن موجود و نیاز به ساخت مخازن جدید را نشان می‌دهد (Holly, et al., 1990).

جدول ۱-۲: وضعیت منابع آب تجدیدشونده 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)	حجم مخازن (کیلومتر مکعب)	درصد منابع آب تجدیدشونده طبیعی که در مخزن نگهداری می‌شود
آسیا	۳۵۷۴	۱۱۱۱۷	۱۴۵۰۸	۱۲۶۲	۹
اروپا	۷۲۹	۶۵۹۲	۷۷۷۱	۱۰۸۳	۱۴
خاورمیانه و شمال آفریقا	۴۳۵	۵۱۷	۶۵۴	۳۹۲	۶۰
آمریکای شمالی	۳۲۶	۵۶۵۰	۵۹۵۳	۱۸۴۵	۳۱
آمریکای مرکزی	۱۷۷	۱۲۱۱	۱۲۵۱	۱۴۸	۱۲
آمریکای جنوبی	۳۶۷	۱۲۲۴۶	۱۷۱۹۵	۸۹۱	۵
اقیانوسیه	۳۱	۱۶۹۴	۱۶۹۴	۱۰۷	۶
صحرای آفریقا	۷۱۴	۳۸۸۷	۵۴۴۷	۳۸۸	۷
جهان	۶۳۵۲	۴۲۹۱۳	۵۴۴۷۳	۶۳۵۲	۱۲

نرخ متوسط ترسیب سالانه یا در صد حجمی از مخزن که توسط رسوب اشغال می شود، 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 می رود. 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 تأمین نیازهای آبی جمعیت و جبران بخشی از حجم مخازن از دست رفته، نیاز به ساخت مخازن جدید نیز هست.

جدول (۳-۲) تقاضا برای ساخت مخازن جدید را در مناطق مختلف جهان نشان می دهد (Fan, et al., 1992).

جدول ۳-۲: 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
آفریقا	۲۴۸	۲۰۳	۱۶۷
آسیا و اقیانوسیه	۲۱۳	۲۸۱	۳۱۵
مجموع	۹۳۹	۱۰۳۲	۹۹۸

در ایران نیز مسئله رسوب‌گذاری در مخازن سدها حائز اهمیت زیادی می‌باشد، چراکه حدود ۷۰ درصد از منابع آب ایران را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهد و عدم هماهنگی زمانی بین آبدهی حوضه‌ها و مصارف، نیاز به مخازن ذخیره آب را امری ضروری می‌کند. از طرفی عدم انجام اقدامات مؤثر آبخیزداری در حد کافی باعث شده است که فرسایش از حوزه‌های 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 به‌اندازه سد « طوق » باید احداث گردد، درحالی‌که با توجه به رشد جمعیت، نیاز روزافزون کشور به ذخیره‌ی حجم آب بیش‌تری هست. از طرفی دو عامل محدودکننده بسیار مهم برای نیل به این هدف وجود دارد که یکی محدودیت منابع آب طبیعی تجدیدشونده و دیگری کمبود ساخت گاه‌های مناسب سدسازی با توجه به عواملی نظیر زمین‌شناسی، آیین‌نامه‌های سخت‌گیرانه محیط زیستی، هزینه‌ی بالای ساخت می‌باشد. از این‌رو به نظر می‌رسد که رویه مدیریت رسوب در مخازن برای مدیریت بر منابع آب کاربردی‌تر 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).

عوامل مؤثر در رسوب‌گذاری مخازن سدها را می‌توان به دودسته عوامل طبیعی و غیرطبیعی (انسانی) تقسیم کرد: با برنامه‌ریزی صحیح عمر مفید مخزن را افزایش داد.

## ۳-۲ عوامل مؤثر در رسوب‌گذاری مخازن سدها

### ۳-۲-۱ عوامل طبیعی

عوامل طبیعی مؤثر در فرسایش خاک سطحی حوضه‌های آبریز و رسوب‌گذاری در مخازن سدها به ماهیت گردش هیدرولوژیک آب در جهان و رود تغییرات سطح خشکی‌ها بازمی‌گردند. این عوامل به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۱-۱-۳-۲ شرایط جوی و توزیع زمانی و مکانی آن

بارش باران، برف و تگرگ، وزش باد و نوسانات دمایی هوا (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۲-۱-۳-۲ ویژگی‌های جغرافیائی، توپوگرافی و زمین‌شناسی حوضه آبریز

عرض جغرافیائی، ارتفاع از سطح دریا، شیب حوضه، زمان تمرکز حوضه و خصوصیات،

زمین‌شناسی منطقه (Morris , et al., 1997)، (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۳-۱-۳-۲ پوشش گیاهی

نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، شرایط ریشه و ساقه گیاه و موقعیت رشد گیاه

(wang, et al., 2009)، (Morris , et al., 1997)

## ۴-۱-۳-۲ شرایط هیدرولیکی مخزن (راندمان تله اندازی مخزن)

نسبت حجم ذخیره مخزن به حجم جریان آب ورودی، شکل مخزن، مشخصات دریچه‌های

تحتانی، شرایط بهره‌برداری از مخزن، شدت آشفتگی جریان (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۵-۱-۳-۲ خصوصیات فیزیکی ذرات رسوب:

دانه‌بندی ذرات رسوب، شکل ذرات و سرعت سقوط ذرات (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۲-۳-۲ عوامل غیرطبیعی (انسانی)

فرسایش خاک یکی از صدماتی است که انسان با دخالت نابجای خود در طبیعت به تشدید آن

کمک کرده است. از آنجائی که فرسایش خاک، اولین گام در فرآیند رسوب‌گذاری در مخازن سدها

محسوب می‌شود، در نتیجه با تمرکز بر این مطلب و مطالعه سایر مراحل این زنجیره، می‌توان عوامل

غیرطبیعی مؤثر در رسوب‌گذاری در مخازن سدها را به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

## ۱-۲-۳-۲ فعالیت‌ها و دخالت‌های بشر در سطح حوضه‌های آبریز

تخریب جنگل‌ها و مراتع، تجاوز به عرصه‌های طبیعی به صورت تغییر کاربری اراضی، نبود نقشه کاداستر<sup>۱</sup>، بهره‌برداری نامناسب کشاورزان از زمین و منابع طبیعی، نبود هماهنگی بین ارگان‌های مختلف در امر مدیریت حوضه‌های آبریز و عدم وجود سیستم نظارتی قانونمند (Morris, et al., 1997)

## ۲-۲-۳-۲ کاستی‌های طراحی و بهره‌برداری

تمایل به طراحی مخازن حجیم برای ذخیره آب از مهروموم‌های تر به مهروموم‌های خشک بدون در نظر گرفتن تمهیدات مهندسی رسوب، طراحی نادرست تأسیسات تخلیه کننده سد ضعف دستورات عمل‌های بهره‌برداری و یا به روز نبودن این دستورات عمل‌ها، عدم تمایل بهره‌بردار در مانور دریچه‌های عمقی به دلیل عدم پذیرش ریسک و یا افزایش احتمالی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، عدم آمادگی تجهیزات هیدرومکانیک و یا مخاطره‌آمیز بودن مانور آن‌ها برای تخلیه جریان‌های غلیظ و نبود مطالعات و ارزیابی زیست‌محیطی در ارتباط با تخلیه جریان‌های غلیظ به پایین دست (ایمان شعار، و غیره، ۱۳۹۲)

## ۴-۲ پیش‌بینی چگونگی توزیع رسوب در مخازن سدها

با ورود جریان رودخانه به مخزن سد، شرایط هیدرولیکی به خصوص سرعت جریان به شدت کاهش و پتانسیل انتقال رسوب رودخانه کاهش می‌یابد. در نتیجه ذرات رسوبی به تدریج نهشته می‌شوند. بار بستر و بخش درشت‌دانه بار معلق بلافاصله در مناطق ابتدایی مخزن نهشته شده و دلتا را تشکیل می‌دهند. در حالی که بخش ریزدانه بار معلق تا قسمت‌های عمیق مخزن و حتی تا نزدیک سد هم نفوذ کرده و سپس نهشته می‌شود. مخازنی که تنها یک رودخانه ورودی دارند معمولاً رسوب‌گذاری در آن‌ها به صورت یکنواخت می‌باشد ولی حتی رسوب‌گذاری در چنین مخازنی هم به هم شباهتی ندارند و بیش تر

---

<sup>۱</sup> Cadastral Map

تابع شرایط توپوگرافی، هیدرولیکی، خصوصیات رسوب و چگونگی بهره‌برداری از مخزن می‌باشد. در مخازنی که با تغییرات سطح آب زیاد در سال مواجه هستند، وضعیت رسوب‌گذاری متفاوت است چراکه بخشی از تپه‌های رسوبی ممکن است مجدداً فرسایش یافته و به نقاط پایین دست مخزن منتقل شوند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

## ۵-۲ عوامل مؤثر انتقال رسوب به داخل مخزن :

معمولاً رسوب در اثر سه عامل به درون مخزن و حتی تا نزدیکی‌های سد منتقل می‌شود که آن‌ها عبارت‌اند از:

۱. انتقال مواد درشت‌دانه به صورت بار بستر در طول شیب پایین دست دلتا

۲. انتقال مواد ریزدانه توسط جریان به سمت مخزن

۳. انتقال مواد بسیار ریزدانه توسط جریان چگال

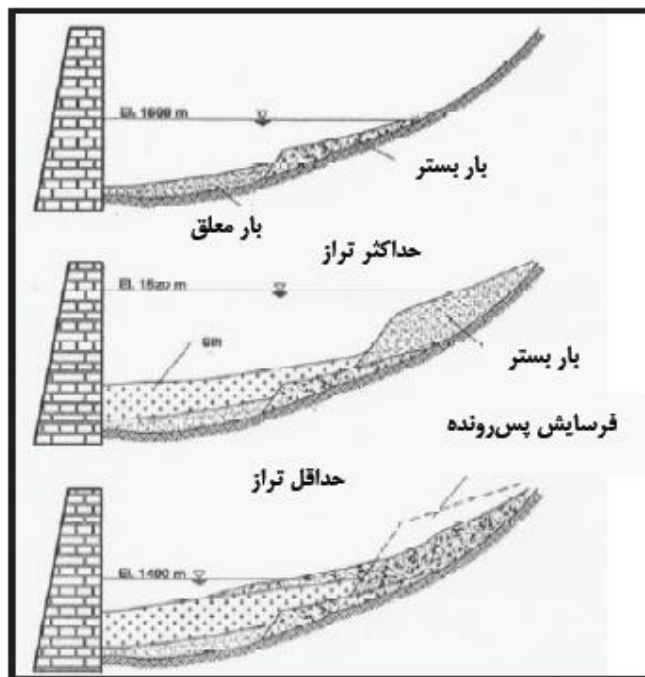
سیلاب‌های بزرگ، عامل اصلی ورود حجم زیادی از رسوب به مخازن سدها می‌باشند. وقوع این طوفان‌ها در زمان‌ها و شرایط مختلفی و در حوضه‌های فرعی متفاوتی اتفاق می‌افتد که باعث انتقال رسوب متفاوت (از نظر حجم و جنس) می‌گردد. چنین شرایطی باعث می‌گردد که رسوبات نهشته شده به صورت لایه‌لایه باشند. البته این حالت ممکن است در منطقه تشکیل دلتا به ندرت دیده شود (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

## ۴. نحوه بهره‌برداری مخزن سد

شرایط بهره‌برداری از مخزن سد، تأثیر بسیار زیادی بر وضعیت رسوب‌گذاری مخزن سد دارد. در مخازنی که تغییرات سالیانه سطح آب مخزن زیاد می‌باشد، مصالح بالادست دلتا ممکن است فرسایش یافته و در فاصله‌ای نزدیک‌تر به سد مجدداً ترسیب شوند. شکل ۹-۴ نحوه‌ی انتقال دلتا را در اثر بهره‌برداری غلط از مخزن سد در کشور نپال نشان می‌دهد. ترسیب رسوب در نزدیک سازه سد باعث



ایجاد مشکلاتی در مخزن چون پر کردن زودهنگام حجم مرده سد و غیرقابل استفاده شدن دریچه‌های تحتانی می‌شود. همچنین افزایش ارتفاع رسوب در این مکان ممکن است باعث ورود آن‌ها به نیروگاه و ایجاد خسارت به توربین‌ها گردد. از این رو برای جلوگیری از پیشروی دلتا به سمت سد، ضروری است شرایط بهره‌برداری مخزن مورد توجه قرار گیرد. شکل ۲-۲ نحوه‌ی انتقال دلتا در اثر بهره‌برداری غلط از مخزن سد را نشان می‌دهد (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).



شکل ۲-۲: نحوه‌ی انتقال دلتا در اثر بهره‌برداری غلط از مخزن سد (Blanton, 1982)

## ۵. لغزش توده‌ای سواحل مخزن

مخازن سدها دارای سواحل طولانی می‌باشد از این رو امکان ایجاد ناپایداری در سواحل آن‌ها و بروز لغزش‌های توده‌ای وجود دارد که در این صورت نه تنها حجم زیادی رسوب به خصوص به بازه سوم و نزدیک سد وارد می‌کنند بلکه مخاطراتی را برای سازه‌های احداث شده در سواحل مخزن فراهم می‌کنند. لغزش ناگهانی توده سواحل نیز ممکن است امواج ناگهانی مرتفعی را ایجاد کند. بدترین واقع ه از این نوع که تاکنون اتفاق افتاده مربوط به سد وایونت در ایتالیا است. در اثر این واقعه که در سال

۱۹۶۳ اتفاق افتاد، توده‌ای به حجم ۲۴۰ میلیون مترمکعب با سرعت ۳۰ متر در ثانیه به درون مخزن سدی به حجم ۱۵۰ میلیون مترمکعب لغزید. این عمل باعث تشکیل موج مرتفعی گردید، به طوری که ارتفاع موج روی سرریز به حدود ۱۰۰ متر رسیده است. هرچند این سد قوسی با ارتفاع ۲۶۵ متر تخریب نگردید ولی این سانحه باعث غرق شدن ۲۶۰۰ نفر گردید (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

## ۶. فرسایش در مخزن

هرچند که معمولاً پدیده رسوب‌گذاری در مخازن، پدیده‌ی غالب می‌باشد ولی فرسایش بستر نیز در شرایطی ممکن است اتفاق افتد. دو نوع فرسایش که در منطقه محل ورود جریان به مخزن مشاهده می‌شود عبارت‌اند از: یکی فرسایش در اثر کاهش تراز سطح آب مخزن که در فصول خشک اتفاق می‌افتد و باعث می‌شود پس‌زدگی آب به فروافتادگی تبدیل و جریان رودخانه‌ای در محل تشکیل دلتا ایجاد و در نتیجه فرسایش پس‌رونده در بستر رودخانه به وجود آید. دومین نوع فرسایش نیز در همین منطقه و در زمان پر شدن مخزن و بالا آمدن سطح آب اتفاق می‌افتد. در چنین شرایطی معمولاً تراز سطح آب تلاطم زیاده دارد که باعث فرسایش پیش‌رونده می‌گردد. در اثر پدیده فرسایش پس‌رونده، میزان رسوب منتقل شده به تدریج افزایش می‌یابد و رسوبات ممکن است تا نزدیکی‌های سد هم حمل شوند. ولی در اثر پدیده فرسایش پیش‌رونده، رسوبات تا فاصله کم‌تری حمل می‌شوند زیرا با بالا آمدن سطح آب مخزن هم از میزان مصالح فرسایش یافته کم می‌شود هم در فاصله کم‌تری ترسیب می‌شوند. از این رو در بعضی از سدها، تلاش می‌شود تا با ایجاد تمهیداتی، فرسایش پس‌رونده را ایجاد و یا تشدید نمایند تا بتوانند میزان رسوبات بیش‌تری را از مخزن به خارج منتقل کنند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

## ۶-۲ آثار زیست‌محیطی ناشی از ساخت سد

آثار زیست‌محیطی ناشی از ساخت سد به‌طور خلاصه در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲: اثرات زیست‌محیطی ناشی از رسوبات سد (Holly, et al., 1990)، (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

نوع تأثیر	توضیح
<b>در محدوده مخزن</b>	
از دست رفتن حجم مخزن	مزایای استفاده از سد به‌عنوان کنترل سیل و تولید انرژی کاهش خواهد یافت
رسوبات آلوده	نهشته شدن رسوبات آلوده باعث کاهش کیفیت آب مخزن می‌گردد
ترسیب رسوبات آلی	رسوبات آلی با مصرف اکسیژن محلول باعث کاهش کیفیت آب مخزن می‌گردد
کدورت (تیرگی)	تیرگی آب باعث کاهش عمق منطقه نورانی می‌گردد. کاهش دید ایجاد مشکل برای تغذیه ماهی‌ها می‌کند. کاهش وضوح (روشنی) آب نیز شرایط نامساعدی را برای تفریحات سالم فراهم می‌کند.
قایقرانی	رسوبات باعث پر شدن مسیر قایقرانی و آب‌بند کشتیرانی می‌شوند.
جانوران وحشی	در صورت رشد گیاه در جزایر ایجاد شده در اثر رسوب‌گذاری، شرایط مساعدی برای زندگی جانوران وحشی فراهم می‌شود. از طرفی نهشته شدن رسوبات ریزدانه باعث کاهش ازدیاد ماهی‌ها می‌گردد.
آلودگی هوا	در صورت پایین رفتن سطح آب مخزن، رسوبات ریزدانه در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند.
<b>بالادست مخزن</b>	
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 می‌شود و یا به عبارتی مناطق بیش‌تری در معرض سیل قرار می‌گیرند. افزایش تبخیر و تعرق نیز از آثار بالا آمدن بستر رودخانه است. البته نهشته شدن رسوب در بالادست رودخانه، باعث کاهش تلفات حجم مخزن می‌شود چراکه رسوب قبل از رسیدن به مخزن ترسیب می‌شود. رشد درختان در منطقه دلتا منطقه مناسبی برای جانوران وحشی ایجاد می‌کند.

ادامه جدول ۲-۴ : اثرات زیست‌محیطی ناشی از رسوبات سد (Holly, et al., 1990) ، (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

<b>پایین دست مخزن</b>	
<p>کف کنی رودخانه باعث تشدید تخریب سواحل شده، پایین آمدن کف رودخانه‌ی اصلی باعث شروع فرسایش کف رودخانه‌های فرعی و شروع فرسایش پس‌رونده می‌شود. بستر رودخانه به تدریج خیلی درشت‌دانه شده و برای تخم‌ریزی آبزیان مکان مناسبی نخواهد بود.</p> <p>ابنیه‌ی فنی نظیر پل‌ها، آبگیرها و ایستگاه‌های پمپاژ تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در بیش‌تر بازه‌های رودخانه علیرغم کاهش دبی طغیانی، تشدید فرسایش ساحل و افزایش قوس مئاندرها به دلیل کف کنی و کاهش شدید سطح آب به‌خصوص 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.</p>	<p>کف کنی، فرسایش سواحل و تغییر شکل رودخانه به مئاندری</p>
<p>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.</p>	<p>کاهش بده غالب سیلاب</p>
<p>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 رهاشده مزایایی برای استفاده‌کنندگان و آبزیان دارد.</p>	<p>کاهش رسوب ریزدانه</p>
<p>زمان و مقدار رسوب‌زدایی باعث تأثیرات منفی زیست‌محیطی، اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی می‌گردد.</p>	<p>رسوب‌زدایی</p>

## ۷-۲ روش‌های مدیریت رسوب

الف- روش‌های کنترل فرسایش و رسوب:

- استفاده از تونل کنارگذر<sup>۱</sup>
- مدیریت حوضه‌های آبریز
- سازه‌های رسوب‌گیر در بالادست 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 تخلیه رسوب (هیدروساکشن<sup>۲</sup>) از مخزن نظیر روش‌های زیر است:

- رسوب‌زدایی (شویی) هیدرولیکی<sup>۳</sup>
- سیفون کردن<sup>۴</sup>
- عبوردهی جریان غلیظ<sup>۵</sup>

د- استفاده از پمپ‌های لایروبی :

- لایروب مکانیکی
- لایروب هیدرولیکی

ه - استفاده از ماشین‌آلات حفاری

---

<sup>۱</sup> By-passing

<sup>۲</sup> Hydrosuction

<sup>۳</sup> flushing

<sup>۴</sup> Siphoning

<sup>۵</sup> Density current venting

## ۲-۷-۱ رسوب‌زدایی با استفاده از تونل کنارگذر<sup>۱</sup>

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 پایین‌دست سد می‌باشد. بدین ترتیب در زمان‌های سیلابی که رودخانه بخش عمده‌ای از رسوبات را به همراه دارد، رسوب می‌تواند از این مجرا به پایین‌دست سد منتقل گردد. با این روش از تأثیر منفی عملیات رسوب‌زدایی در پایین‌دست جلوگیری می‌شود و تقریباً شرایط انتقال رسوب به شرایط قبل از احداث سد برمی‌گردد. البته موفقیت این سیستم بستگی به شرایط هیدرولیکی، هندسه مخزن، مسائل زیست‌محیطی، شرایط پایین‌دست و مسائل بهره‌برداری دارد. این سیستم در انتقال ذرات ریزدانه غیر چسبنده بسیار مؤثر می‌باشد. یکی دیگر از روش‌ها می‌تواند نصب لوله شکافدار در بستر مخزن باشد. شکاف به صورت طولی بوده و رسوبات از این شکاف وارد لوله و نهایتاً به خارج هدایت می‌شوند (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).

## ۲-۷-۲ احداث کنارگذر لوله‌ای<sup>۲</sup>

کنارگذر لوله‌ای روش دیگری برای خروج رسوبات نهشته شده در داخل مخزن می‌باشد. در این روش رسوبات نهشته شده در مخازن بالادست مخزن اصلی را می‌توان از طریق لوله‌ای که از میان دریچه‌های تحتانی سد به طرف پایین‌دست 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 ما سه) به صورت ثقلی مناسب است. این روش در سد اسپنسر<sup>۳</sup> در رودخانه نیوبرارا<sup>۴</sup> استفاده شده است. برای راندمان بیشتر در این روش، لوله در قسمت مکش باید قابلیت جابه‌جا شدن را داشته باشد و ضمناً برای شرایطی که امکان ورود شن وجود داشته باشد، برای تأمین سرعت جریان بیش‌تر نصب پمپ ضروری است

---

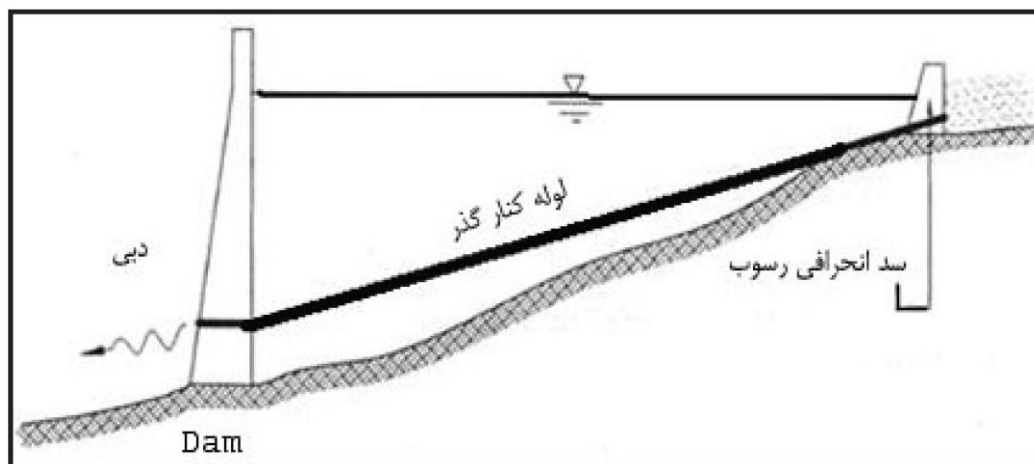
<sup>۱</sup> Bypass tunnel

<sup>۲</sup> Bypass pipe

<sup>۳</sup> Spencer Dam

<sup>۴</sup> Niobrara River

(Holly, et al., 1990). شکل (۳-۲) کنارگذر لوله‌ای را نشان می‌دهد.



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

### ۳-۷-۲ تخلیه بخشی از رسوب در زمان سیلاب

یکی از روش‌های کاهش رسوب‌زدایی رهاسازی بخشی از جریان سیلابی می‌باشد. در این شرایط با باز کردن دریچه‌های تحتانی و یا سرریز، بخشی از جریان خارج، ولی از آنجاکه 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.

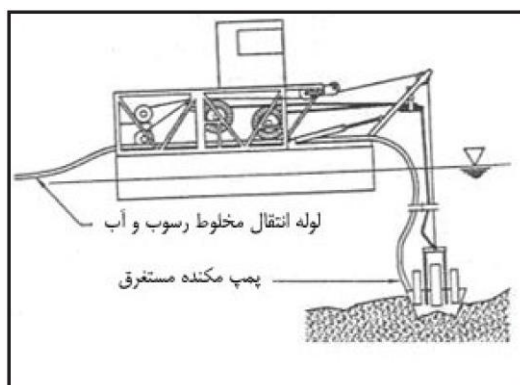
توجه شود که معمولاً روش عبوردهی رسوب همراه با سیل در مقایسه با روش رسوب‌زدایی هیدرولیکی دارای اثرات زیان‌بار کم‌تری است چراکه غلظت رسوب رها شده از سد تقریباً برابر غلظت رسوب ورودی است. به‌طور کلی مقدار رسوبات تخلیه شونده در این روش بستگی به دبی، شیب و مدت‌زمان سیلاب دارد. به‌طور کلی، روش عبوردهی رسوبات در زمان سیلاب زمانی مؤثر 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).

## ۴-۷-۲ استفاده از لایروب

به‌طور کلی لایروب‌های استفاده‌شده در مخازن سدها را می‌توان به دودسته کلی لایروب‌های هیدرولیکی و لایروب‌های مکانیکی تقسیم کرد.

### ۱-۴-۷-۲ استفاده از لایروب هیدرولیکی (پمپ لایروبی)<sup>۱</sup>

لایروب‌های هیدرولیکی شامل پمپ سانتریفیوژ نصب‌شده بر روی لایروب به‌منظور مکش رسوبات و لوله‌های انتقال برای حمل رسوبات به محل مورد نظر می‌باشد. از این روش در عمق ۲۰۰ متر مخزن لوزان<sup>۲</sup> کشور سوئیس با موفقیت برای خروج رسوبات نهشته شده در محل ورودی نیروگاه استفاده شده است. از مزایای این روش این است که رسوب کم‌تر با آب مخزن مخلوط می‌شود و نیازی هم به پایین آوردن سطح آب مخزن نیست. در این سیستم از پمپ‌های مخصوصی استفاده می‌شود تا با ایجاد گرداب مکنده نظیر آنچه در گرداب‌ها دیده می‌شود، رسوب بستر را به سمت دهانه پمپ 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 (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱).



شکل ۴-۲: نمایش استفاده از پمپ لایروبی

<sup>۱</sup> Submerged dredge pump

<sup>۲</sup> Luzzone Reservoir



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 طبقه‌بندی می‌شوند عبارت‌اند از:

- لایروب مکنده تیغه‌ای<sup>۱</sup>، لایروب سطل دار<sup>۲</sup>، لایروب مکنده<sup>۳</sup>، لایروب مخزنی<sup>۴</sup>، لایروب خاکروبه‌ای<sup>۵</sup>  
(نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱) (Bonham-Carter, et al., 1968)

## ۲-۷-۴-۲ 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 عبارت‌اند از:

لایروب سطلی<sup>۶</sup>، لایروب بیل مکانیکی<sup>۷</sup>، لایروب قاشقی<sup>۸</sup>، لایروب چنگک‌دار<sup>۹</sup> (نشریه شماره ۵۸۹، ۱۳۹۱)

## ۲-۷-۵ تخلیه رسوب ریزدانه با جریان‌های چگال

در فصول سیلابی که با بارش شدید باران در حوضه‌های بالادست سد توأم است، حوضه آبخیز دارای سطح خشک و پوشش گیاهی اندکی است و به همین دلیل حجم بسیار زیادی از رسوبات حوضه

---

<sup>۱</sup> Cutter suction dredger

<sup>۲</sup> Bucket wheel dredger

<sup>۳</sup> Suction dredger

<sup>۴</sup> Trailing suction Hopper dredger

<sup>۵</sup> Dustpan dredger

<sup>۶</sup> Bucket chain dredger

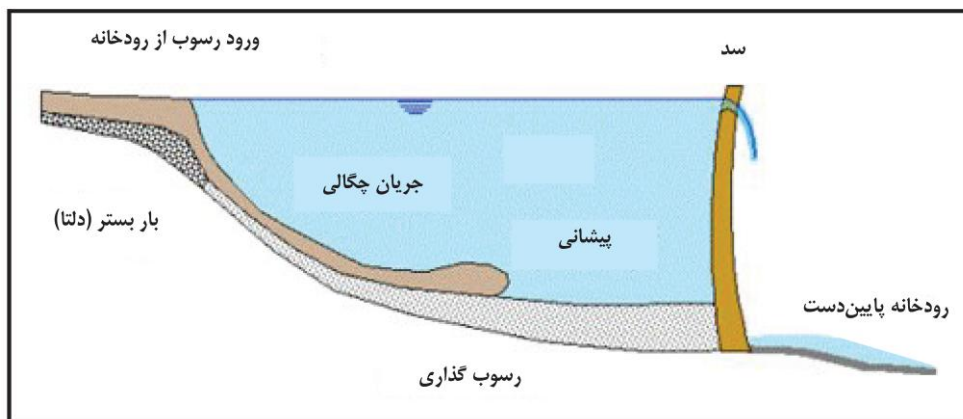
<sup>۷</sup> Backhaul dredger

<sup>۸</sup> Dipper dredger

<sup>۹</sup> Grab dredger

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، دریچه 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

## ۲-۷-۶ 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 (در کف یا رقوم پایین تر) رسوبات نهشته شده در بستر مخزن در اثر فرسایش کنده شده و به همراه جریان آب از مخزن خارج شود. در ابتدای باز کردن دریچه های تخلیه کننده تحتانی به منظور رسوب زدایی، رسوبات تجمع یافته تحت فشار آب از مخزن تخلیه می گردد. ولی چنانچه سطح آب مخزن تا حد دریچه ها پایین آورده شود، رسوبات در اثر فرسایش پس رونده به دلیل جریان های رودخانه ای کنده شده و به بیرون هدایت می شوند. 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 دست‌رفته 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 (Bonham-Carter, et al., 1968). بسته به این‌که رقوم سطح آب مخزن سد در زمان انجام عملیات رسوب‌زدایی چگونه باشد، دو روش متفاوت رسوب‌زدایی به وجود می‌آید که عبارت‌اند از:

- رسوب‌زدایی آزاد<sup>۱</sup> - رسوب‌زدایی تحت فشار<sup>۲</sup>

### ۲-۷-۶-۱ رسوب شویی 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 مدت‌زمان 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. مدت‌زمان 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 در محور رودخانه بیش‌تر از شیب عرضی چاله می‌باشد. مقدار شیب به جنس مصالح رسوبی نیز بستگی دارد به‌طوری‌که در رسوبات چسبنده شیب بسیار تندتر از رسوبات غیر چسبنده است.

در روش رسوب‌زدایی تحت فشار معمولاً حجم کمی از رسوبات تخلیه می‌شوند و اثر این روش در دفع رسوبات موضعی می‌باشد. معمولاً در ابتدای عمل رسوب‌زدایی، رسوبات به صورت خمیری، سپس

---

<sup>۱</sup> Free flushing

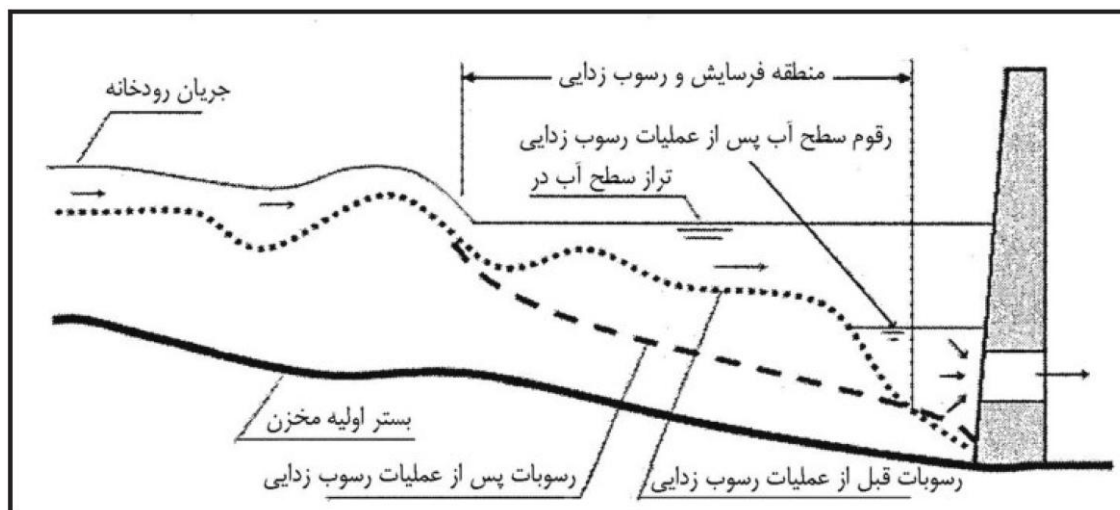
<sup>۲</sup> Pressure flushing

مخلوطی از رسوب و آب و در نهایت آب زلال خارج می‌شود. در ایران روش رسوب‌زدایی تحت فشار در سد دز چند بار استفاده شده است (Bonham-Carter, et al., 1968).

## ۲-۶-۷-۲ 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 آن را رسوب‌زدایی آزاد نامند. در رسوب‌زدایی هیدرولیکی آزاد پایین آوردن سطح آب مخزن در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول سطح آب مخزن به آهستگی پایین آورده می‌شود (برای مثال ۱ متر در هرروز سطح آب مخزن تا تراز دهانه ورودی نیروگاه). در مرحله دوم سطح آب مخزن خیلی سریع کاهش داده می‌شود (Bonham-Carter, et al., 1968).

رسوب‌زدایی آزاد راندمان بیشتری نسبت به رسوب‌زدایی تحت فشار دارد. شکل (۶-۲) به‌طور شماتیک نحوه عمل رسوب‌زدایی آزاد را نشان می‌دهد.



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

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

روش مکش هیدرولیکی رسوبات به دو صورت انجام می‌شود:

✓ مکش هیدرولیکی به صورت لایروبی<sup>۱</sup>

✓ مکش هیدرولیکی به صورت کنارگذر<sup>۲</sup>

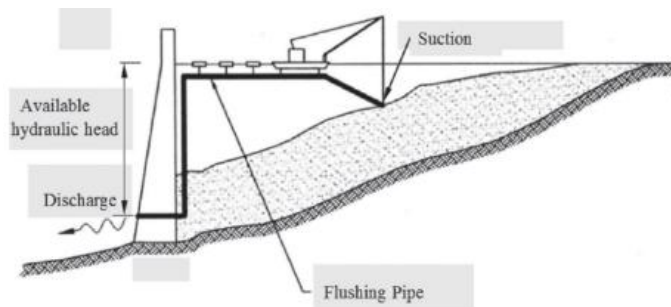
### ۱-۷-۷-۲ حالت لایروبی

در روش‌های مرسوم مکش هیدرولیکی از یک پمپ مکانیکی برای تأمین قدرت رانش موردنیاز در مکش و انتقال رسوبات در مخزن استفاده می‌کردند. در مکش هیدرولیکی به صورت لایروبی، رسوبات ته‌نشین شده از طریق یک لوله و با استفاده از اختلاف هد آب بالادست و پائین دست مکش می‌شوند و به نقطه‌ای در پائین دست 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 موردنیاز 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. شکل ۷-۲ رسوب‌زدایی به روش تخلیه هیدرولیکی را نشان می‌دهد (Hotchkiss, et al., 1995).

---

<sup>۱</sup>Hydrosuction dredging

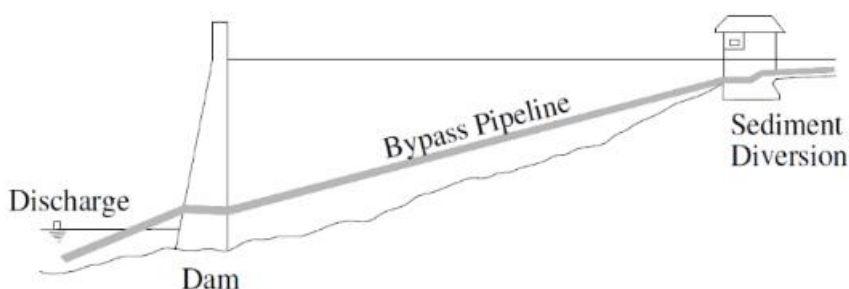
<sup>۲</sup>Hydrosuction Bypass



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

## ۲-۷-۷-۲ حالت کنارگذر

در مکش هیدرولیکی به صورت کنارگذر نیز، اصول مانند آنچه در مکش هیدرولیکی به صورت لایروبی گفته شد می‌باشد، با این تفاوت که یک ایستگاه دائمی در ورودی مخزن احداث می‌شود تا رسوبات را در یک خط لوله هدایت کند. مجرای لوله‌ای بین ورودی مخزن و پائین دست سد وجود دارد. در این روش رسوبات بدون اینکه در کف مخزن ته‌نشین شوند توسط لوله انتقال می‌یابند (Hotchkiss, et al., 1995). ایده‌ای 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 به صورت کنارگذر را برای گزارش یافته نشده است و هیچ مثال میدانی برای این روش وجود ندارد. شکل ۸-۲ عملکرد این روش را به صورت شماتیک نشان می‌دهد (Hotchkiss, et al., 1995).



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

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

### مزایا:

۱. استفاده از اختلاف انرژی پتانسیل تراز آب بالادست و پائین دست 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 حالی که روش آبشویی برای رسوبات اطراف دریچه، تخلیه تحتانی کاربرد دارد،
۴. رهاسازی رسوبات بر اساس ظرفیت حمل آبراهه در پائین دست 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 پائین دست بجای دپوی رسوبات بلافاصله در پائین دست بدنه سد.
۹. قابلیت استفاده مجدد از رسوبات در این روش

### معایب:

۱. قابل استفاده برای سدهای کوچک.
۲. این روش برای ذرات ریزدانه مؤثر است و برای ذرات تحکیم یافته و ذرات درشت دانه مؤثر نمی‌باشد
۳. احتمال گرفتگی لوله مکش رسوبات پس از رفتن داخل رسوبات وجود دارد

## ۲-۷-۴ کاربردها:

روش تخلیه سیفونی برای مدیریت رسوب 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 غیر چسبنده بسیار مؤثر است (Hotchkiss, et al., 1995).

## ۲-۸ مروری بر کارهای انجام شده پیشین

رسوب انباشته شده در مخازن می تواند با لایروبی هیدرولیکی<sup>۱</sup> یا حفاری مکانیکی<sup>۲</sup> تخلیه شود (Morris, et al., 1997). در روش های 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 هزینه روش تأثیرگذار می باشند. همه روش های حفاری به دلیل حجم زیاد تجهیزات مورد استفاده و دشواری فراهم کردن سایت مناسب پرهزینه است. برداشتن حجم زیاد رسوب از مخازن، معمولاً نیازمند لایروبی است که رسوبات را از کف به سطح آب منتقل کرده و در مکانی دپو می کند (Herbich, 2000). بیشتر روش های لایروبی برای مخازن کوچک به دلیل پرهزینه بودن مناسب نیستند. روشی کم هزینه با راندمان بالا برای لایروبی در سدهای کوچک مورد نیاز است. لایروبی سیفونی<sup>۳</sup> روشی است که زمانی که نیاز به انرژی خارجی نباشد پیشنهاد می شود. این روش به دلیل استفاده از اختلاف انرژی پتانسیل بالادست و پایین دست به عنوان انرژی محرک از روش های دیگر متمایز است (Bruk, 1985). لوله مورد استفاده می تواند از بالای تاج سد یا از داخل دریچه تحتانی عبور داده شود (Hannoyer, 1974).

---

<sup>۱</sup> hydraulic dredging

<sup>۲</sup> excavation

<sup>۳</sup> Siphon dredging



اولین بار در مخزن سد جی دیویا<sup>۱</sup> در کشور الجزایر، طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۴ با استفاده از سیستم سیفون ۱/۴ میلیون مترمکعب رسوبات تخلیه شد (Fan, et al., 1992). از سیستم مکش هیدرولیکی<sup>۲</sup> و سیفون در سد ریوماجون<sup>۳</sup> به ارتفاع ۲۱ متر به منظور تخلیه رسوبات از مقابل آبگیرهای تحتانی سد استفاده شد (Evrard, 1980). آن‌ها از لوله‌هایی به قطر ۴۰ تا ۴۵ سانتی‌متر و طول ۴۴ متر استفاده کردند که دبی و غلظت رسوب به ترتیب  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  و  $15 \text{ kg}/\text{m}^3$  بوده است.

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<sup>۴</sup> در کشور ایتالیا و جاهای دیگر استفاده شد و در طول ۲۰ سال اجرای این عملیات بیش از ۵ میلیون مترمکعب رسوبات تخلیه شد (Geolidro, 1990). در طی این عملیات از قایق هدایت‌شونده 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 مترمکعب و غلظت رسوب نیز در حدود ۱۹ تا  $15 \text{ kg}/\text{m}^3$  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 راه‌کارهای 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

---

<sup>۱</sup> Djidiouia

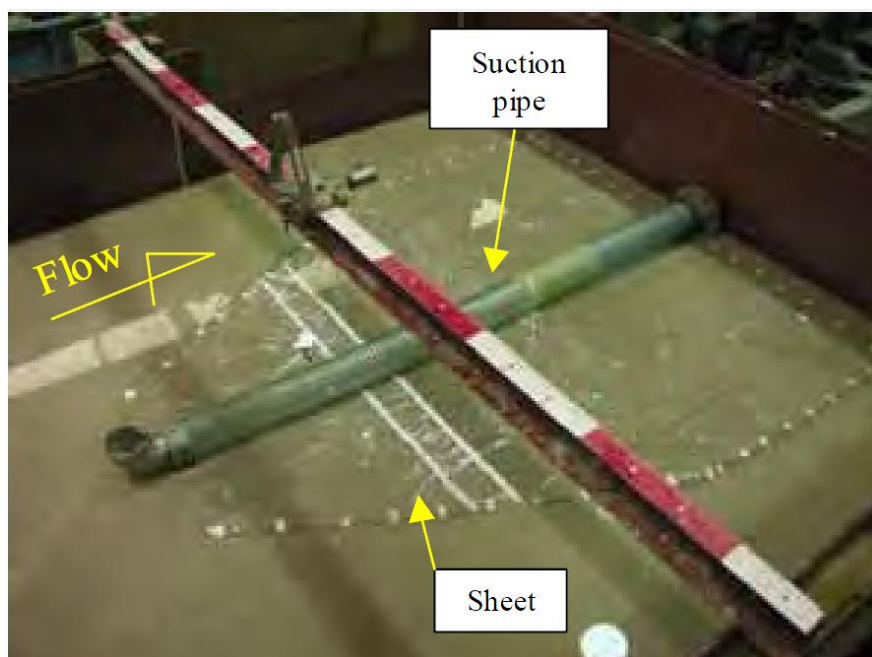
<sup>۲</sup> Hydroaspirator

<sup>۳</sup> Rioumajon

<sup>۴</sup> Alpine

کرد. وی بیان داشت، حالت بهینه انتقال رسوب در خط لوله زمانی رخ می‌دهد که جریان رسوبات در شرایطی درست قبل از ته‌نشینی ذرات رسوب (آستانه انتقال) باشد. وی همچنین با ارائه مدل HSRD (Hydro-suction System for Reservoir Desiltation) به زبان برنامه‌نویسی Visual Basic تحقیقات خود را به صورت یک بسته نرم‌افزاری ارائه کرد. وی با کاربرد مدل HSRD برای سد انحرافی تاریک (پائین دست سد سفیدرود، استان گیلان) نتیجه گرفت مدل HSRD به خوبی می‌تواند طرح هیدرولیکی مناسبی برای یک سیستم تخلیه رسوب هیدروساکشن ارائه نماید (خسرونژاد، ۱۳۸۷).

ساکورای<sup>۱</sup> و همکاران روش جدیدی را ارائه دادند. این روش شامل یک لوله مکش و یک صفحه می‌باشد که بر مبنای اختلاف انرژی بالادست و پایین‌دست 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

<sup>۱</sup> Sakurai

رسوب مخزن ۸۰ سانتی متر و لوله مورد استفاده از جنس PVC به قطر داخلی ۱۰۱/۶ میلی متر بوده است.

در طول عملیات مکش، به دلیل تغییر شکل سطح رسوبات و فاصله به وجود آمده بین لوله و رسوب، تماس لوله با رسوبات قطع شده و فقط آب تخلیه می شد. 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 آزمایشها آنها به شرح زیر است:

۱. تا زمانی 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 کوچکتر (غیر چسبنده) راندمان تخلیه رسوب افزایش پیدا می کند.

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

آزمایشها فوق با لوله ای به قطر ۶۰/۵ میلی متر نیز انجام و نتایج فوق تکرار گردید.

آنها در آزمایشها خود ۳ حالت تک آبگیر، دو آبگیر و چهار آبگیر را مورد بررسی قرار دادند. در حالت تک آبگیر با بزرگتر شدن حفره آبشویی، رسوب دیواره مخروط بر روی صفحه ریزش کرد. در نهایت ورودی لوله در زیر رسوبات مدفون شده و فضای داخل لوله به وسیله رسوبات پر گردید. در این حالت سیستم قادر نخواهد بود که به طور پیوسته مکش کند و خارج کردن سیستم از زیر رسوبات دشوار خواهد بود.

در حالت دو 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 رسوب دفن می شود (شکل ۲-۱۰). در این حالت خارج کردن تجهیزات از زیر رسوبات دشوار می باشد.

در حالت چهار آبگیره نیز از صفحه ای دایره ای شکل و دو لوله که به صورت ضربدر به هم متصل شده اند استفاده شده است. همانند حالت دو آبگیره، مرکز لوله در زیر رسوبات مدفون می شود و شکل ضربدری لوله مانع تماس صفحه با سطح رسوب می شود. در نتیجه انتهای لوله از سطح رسوبات بلند شده و سیستم نمی تواند رسوب مکش کند (شکل ۲-۱۱).



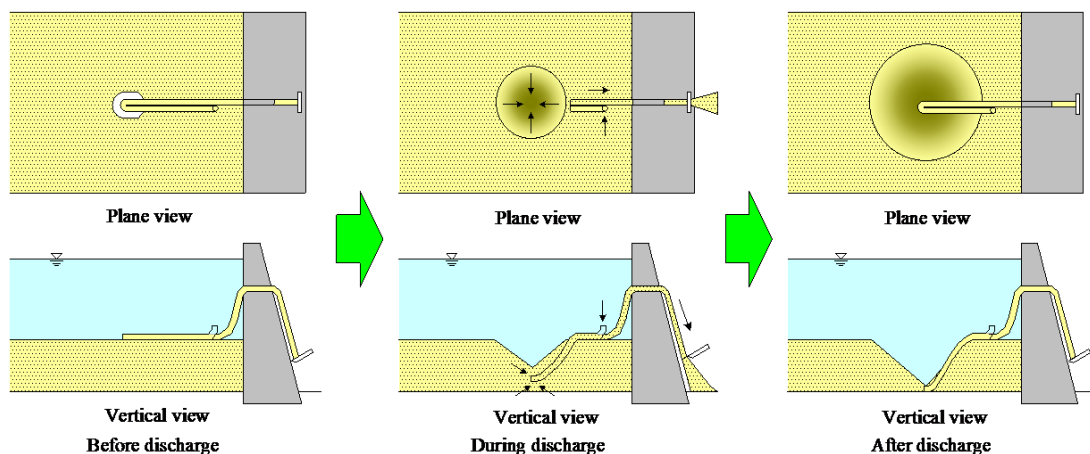
شکل ۲-۱۰: آبگیرهای مدفون در حالت دو آبگیر (Sakurai, et al., 2007)



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

در آخر آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حالت تک آبگیر به دلیل شکل و ساختار ساده‌تر، پتانسیل بیشتری برای تخلیه رسوب دارد.

ساکورای و هاکویشی<sup>۱</sup> در ادامه تحقیقات پیشین خود در مورد روش تخلیه رسوبات با لوله انعطاف‌پذیر، روش جدید تخلیه رسوب با استفاده از اختلاف تراز آب بین ناحیه بالادست و ناحیه پائین‌دست سد، "مدل لوله مدفون‌شده مکش رسوبات"<sup>۲</sup> را ارائه دادند (شکل ۲-۱۱). این مدل شامل یک لوله انعطاف‌پذیر U شکل، یک آبگیر در بالادست، یک صفحه نفوذپذیر و حفره‌های مکش رسوبات در زیر قسمت خم لوله می‌باشد. 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 مدفون‌شده مکش رسوبات

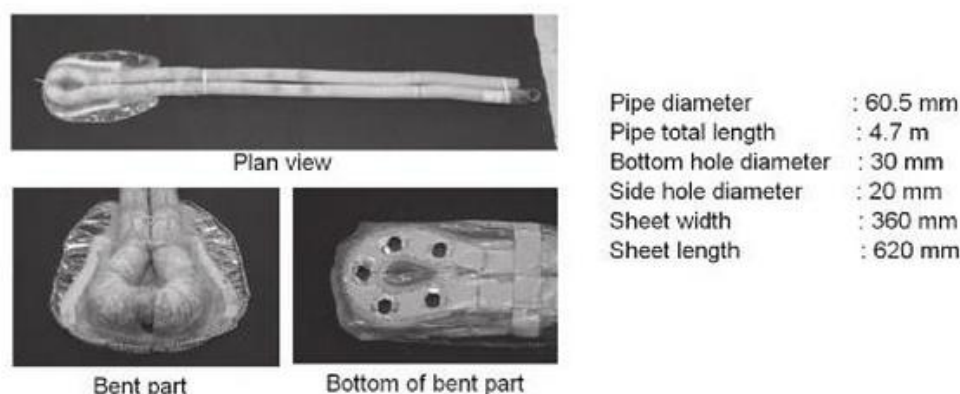
- مدل کوچک مقیاس شامل یک مخزن به ابعاد  $۱/۳ \times ۲/۵ \times ۴/۵$  متر، ۶۰ سانتی‌متر ارتفاع رسوب و  $۶۰/۵$  میلی‌متر قطر لوله می‌باشد (طول لوله  $۴/۷$  متر، قطر حفره تحتانی ۳ سانتی‌متر، قطر حفره جلویی ۲ سانتی‌متر). شکل ۲-۱۳ لوله مورد استفاده در مدل کوچک مقیاس را نشان می‌دهد.

- مدل متوسط شامل یک مخزن به ابعاد  $۳/۵ \times ۷/۵ \times ۷/۵$  متر، ۲۰۰ سانتی‌متر ارتفاع رسوب و ۱۰۰ میلی‌متر قطر لوله می‌باشد (طول لوله  $۹/۴$  متر، قطر حفره تحتانی ۵ سانتی‌متر، قطر حفره جلویی ۳۳ میلی‌متر).

<sup>۱</sup> Hakoishi

<sup>۲</sup> Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe

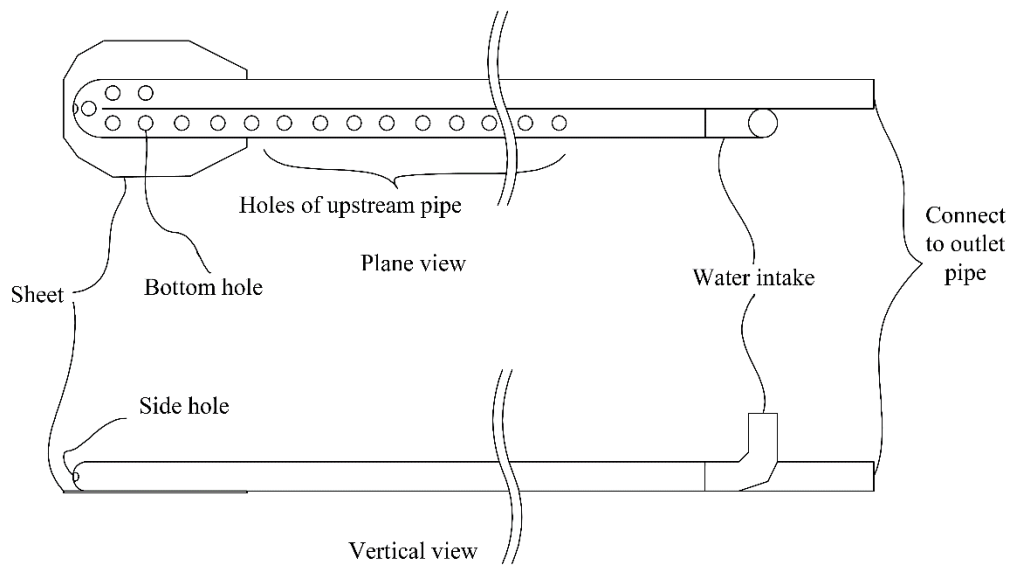
میلی متر).



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

نتایج آزمایش‌های آن‌ها که در سه دانه‌بندی غیر چسبیده 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 تخلیه‌شده کاهش می‌یابد و بالعکس، (۳) هر چه نرخ جریان بیشتر باشد و ذرات ریزدانه‌تر 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 پیژومتریک حفره‌های مکش رسوب را، در مواد رسوبی غیر چسبیده، مورد بررسی قرار دادند (Sakurai, et al., 2012) (شکل ۲-۱۴). نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش سرعت غلظت رسوبات افزایش می‌یابد، با افزایش غلظت رسوبات اتلاف انرژی لوله نیز بیشتر می‌شود و هد پیژومتریک با افزایش فاصله از آبگیر کاهش می‌یابد. به‌طور تقریبی ضریب افت فشار ۰/۲ تا ۰/۳ برای افت فشار لوله مکش ارائه شد. آن‌ها همچنین بیان کردند، به‌منظور 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 بالادست

ساکورای و هاکوبیشی یک تحقیق میدانی با استفاده از لوله‌ای به قطر ۲۰۰ میلی‌متر و حفره‌هایی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر در یک مخزن کوچک (۱۴×۵/۶×۴/۶ متر) در طبیعت انجام دادند (شکل ۲-۱۵). 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 رسوبات می‌تواند برای تخلیه رسوب غیر چسبنده و بدون آشغال در مخازن کوچک کاربردی باشد (Sakurai , et al., 2013).



الف



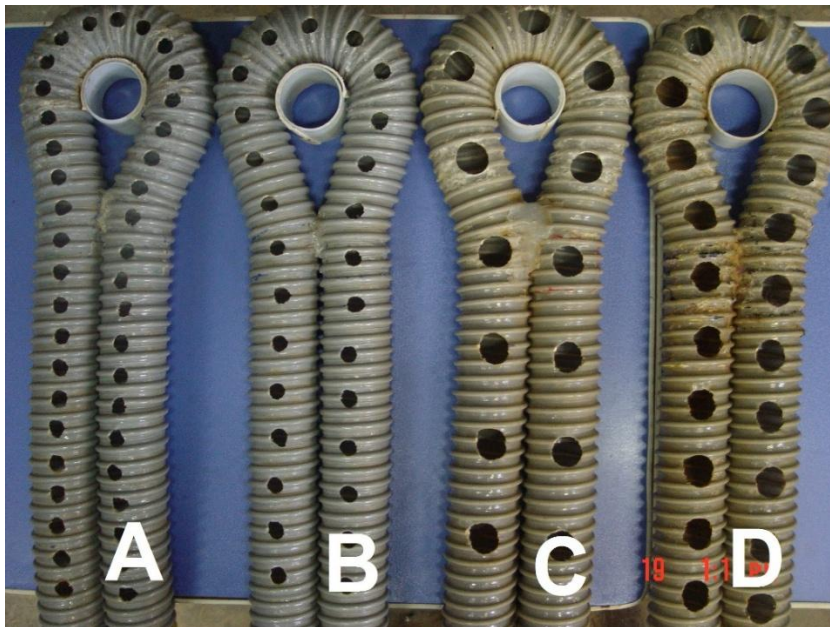
ب

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

میاکاوا و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات هیدرولیکی و قابلیت کاربرد لوله مکش را به صورت 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 غیر چسبنده و مخازن کوچک قابلیت کاربرد دارد.



در ادامه تحقیقات ساکورای و هاگویی در غالب همکاری با رضا پی شگر در ر ساله دکتری ایشان، پارامترهای هندسی لوله مکش از قبیل قطر حفره، فاصله حفره و تعداد حفره‌ها را برای دستیابی به لوله مکش بهینه موردبررسی قراردادیم. وی با مینا قرار دادن قطر لوله، آزمایش‌های خود را در دو اندازه قطر حفره تحتانی (۰/۲۵ و ۰/۵ برابر قطر لوله) و سه اندازه فاصله بین حفره‌ها (۲، ۳ و ۴ برابر قطر حفره تحتانی) و حالت‌های مختلف امتداد حفره‌ها در پایین‌دست در لوله ۶/۱ سانتی‌متری موردبررسی قرارداد. شکل ۲-۱۶ تعدادی از لوله‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها با آرایش متفاوت سوراخ‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۶ : حالت‌های مختلف اندازه و فاصله حفره‌ها

(A) قطر حفره ۲ سانتی‌متر ( $\frac{1}{3}$  قطر لوله) و فاصله ۲ برابر قطر حفره (B) قطر حفره ۲ سانتی‌متر ( $\frac{1}{3}$  قطر لوله) و

فاصله ۳ برابر قطر حفره (C) قطر حفره ۳ سانتی‌متر ( $\frac{1}{2}$  قطر لوله) و فاصله حفره ۳ برابر قطر حفره

(D) قطر حفره ۳ سانتی‌متر ( $\frac{1}{2}$  قطر لوله) و فاصله حفره ۲ برابر قطر حفره

همچنین با در نظر گرفتن ۴ وزنه کمکی (۰/۶، ۱/۲، ۱/۸ و ۲/۴ کیلوگرم) در آزمایش های فوق تأثیر آن ها را بر راندمان رسوب زدایی ارزیابی کرد و نتایج زیر را ارائه کرد :

۱- قطر حفره تحتانی ۰/۵ برابر قطر لوله با فاصله ۳ برابر قطر حفره تحتانی به عنوان پارامترهای هندسی بهینه پیشنهاد شد.

۲- همچنین نتایج وی نشان داد حفره های بالادست و پایین دست قسمت خمیده اثر کاهشی بر عملکرد روش دارند و برای آزمایش ها انجام شده عملکرد روش هیدروساکشن با غیرفعال نمودن این حفره ها حدود ۳۲ برابر شده است. وی آخر تعداد ۵ حفره در قسمت خمیده لوله به عنوان تعداد حفره بهینه در نظر گرفت.

۳- با افزایش وزنه به نقطه ای رسید که بیشترین عملکرد را با یک وزنه بهینه 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 تحقیق، هدف بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن و تراز تخلیه (ارتفاع سیفون) بر عملکرد تخلیه رسوب روش هیدروساکشن با استفاده از لوله مکش بهینه به دست آمده از آزمایش ها در همکاری با پیشگرم می باشد. برای دستیابی به این هدف تعداد ۴۰ آزمایش به شرح زیر گرفته شد :

آزمایش ها با لوله مکش بهینه در ۵ ارتفاع آب مخزن (۱۸، ۳۴، ۵۱/۵، ۶۸ و ۸۵ سانتی متر) در ۴ تراز تخلیه (۳۵، ۷۵، ۱۰۳ و ۱۲۰ سانتی متر) و در ۲ قطر لوله (۴/۷ و ۶/۱ سانتی متر) انجام شد که مشخصات مدل فیزیکی در فصل بعد ارائه خواهد شد.

## ۳- فصل سوم

### مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی مورد استفاده، مخزنی در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس بود که در این بخش مشخصات آن و نحوه انجام آزمایشها شرح داده خواهد شد.

### ۱-۳ مدل آزمایشگاهی

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



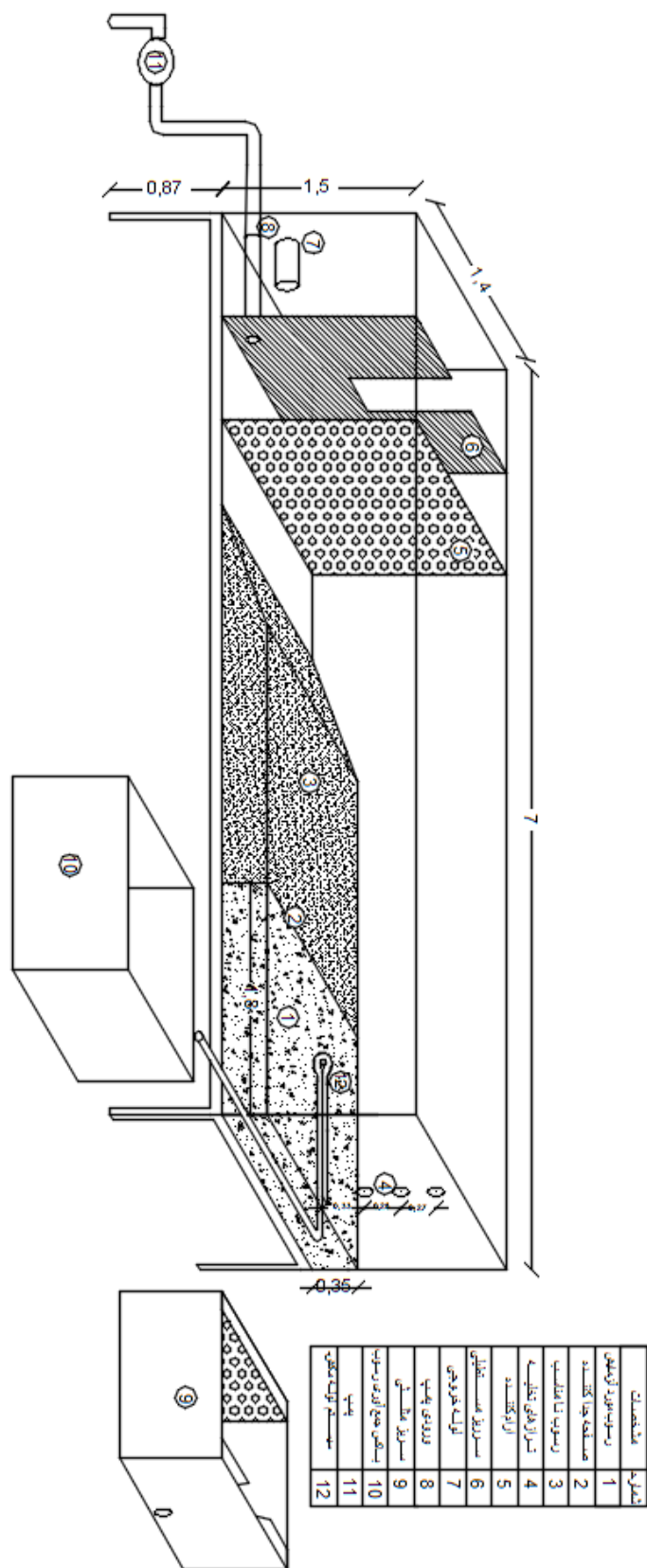
شکل ۱-۳: شمای کلی مدل آزمایشگاهی

#### ۱-۱-۳ سیستم تأمین آب

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

#### ۲-۱-۳ 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).

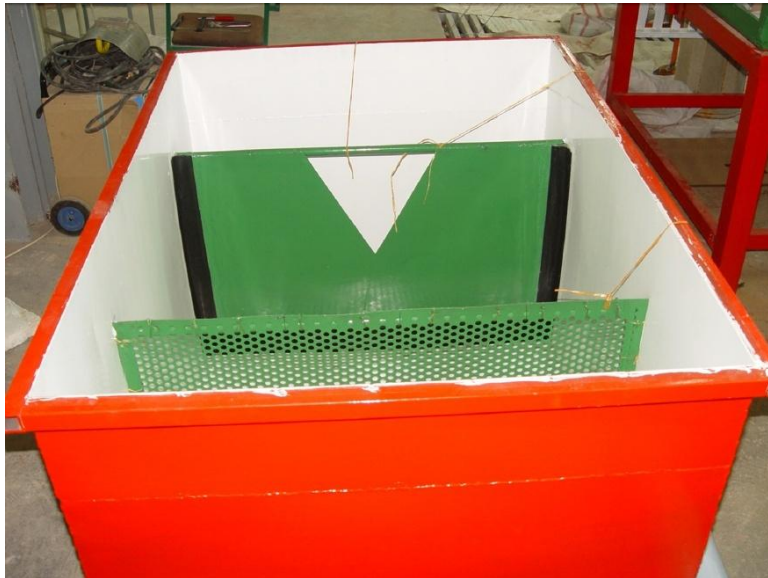


شکل ۲-۳: طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی

### ۳-۱-۳ سرریز مثلثی

برای اندازه‌گیری و تنظیم جریان خروجی از لوله مکش از سرریز مثلثی ۶۰ درجه استفاده شد

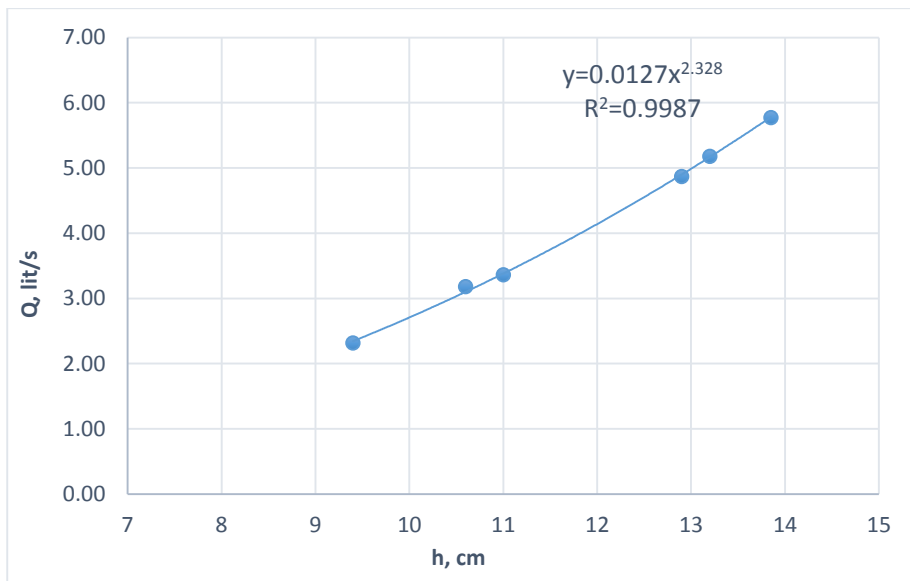
(شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳: سرریز مثلثی ۶۰ درجه

### ۱-۳-۱-۳ واسنجی سرریز

از آنجاکه مبنای سنجش ارتفاع آب روی سرریز از بین رفته بود، نیاز بود این سرریز واسنجی شود. با اندازه‌گیری حجمی چندین مقدار دبی خروجی از لوله مکش و یادداشت ضخامت متناظر جریان روی سرریز رابطه دبی-اسل واسنجی شد. نمودار ۱-۳ واسنجی سرریز مثلثی ۶۰ درجه را نشان می‌دهد. برای هر مقدار دبی ارائه‌شده در شکل ۲ اختلاف تراز مشخصی را بین آب مخزن و تراز خروجی ایجاد شد و سپس دبی خروجی بین ۴-۷ بار به صورت حجمی اندازه‌گیری و مقدار میانگین دبی به دست آمده ثبت گردید.



نمودار ۱-۳: واسنجی سرریز مثلثی ۶۰ درجه

### ۴-۱-۳ حوضچه تله اندازی رسوب

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



شکل ۴-۳: حوضچه تله اندازی رسوب

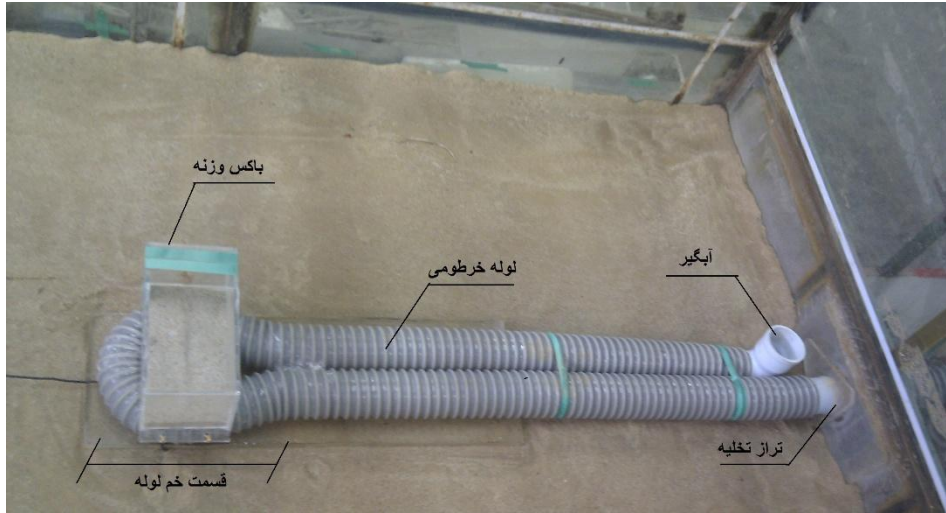
### ۵-۱-۳ مشخصات لوله مکش بهینه

همان طور که در مقدمه ذکر گردید، لوله مکش استفاده شده در آزمایش‌ها، لوله مکش بهینه

به دست آمده از نتایج تحقیق پیش‌گرم می‌باشد (شکل ۳-۵) که مشخصات آن به شرح زیر است:

- جنس لوله : لوله هوا با شکل خرطومی و حالت انعطاف پذیر
- قطر لوله : ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری
- تعداد حفره‌ها : ۵ حفره در قسمت تحتانی خم لوله (حفره تحتانی) و ۱ حفره در قسمت جلوی خم ( حفره جلویی) (شکل ۳-۶)
- قطر حفره‌ها: ۲/۳۵ سانتی متر در لوله ۴/۷ و ۳ سانتی متر در لوله ۶/۱ برای حفره‌های تحتانی ( $d_0 = \frac{1}{2}D$ )، ۱/۶ سانتی متر در لوله ۴/۷ و ۲ سانتی متر در لوله ۶/۱ برای حفره جلویی ( $d_0 = \frac{1}{3}D$ )
- فاصله حفره‌ها : تعداد ۵ حفره با فاصله ۹ سانتی متر ( $3d_0$ )
- وزنه : ۱/۸ کیلوگرم رسوب که در داخل محفظه‌ای پلاستیکی بر روی قسمت خم لوله قرار می‌گیرد
- آبگیر : زانویی ۹۰ درجه که در ابتدای لوله به عنوان ورودی اصلی آب قرار گرفته است





شکل ۳-۵: لوله مکش

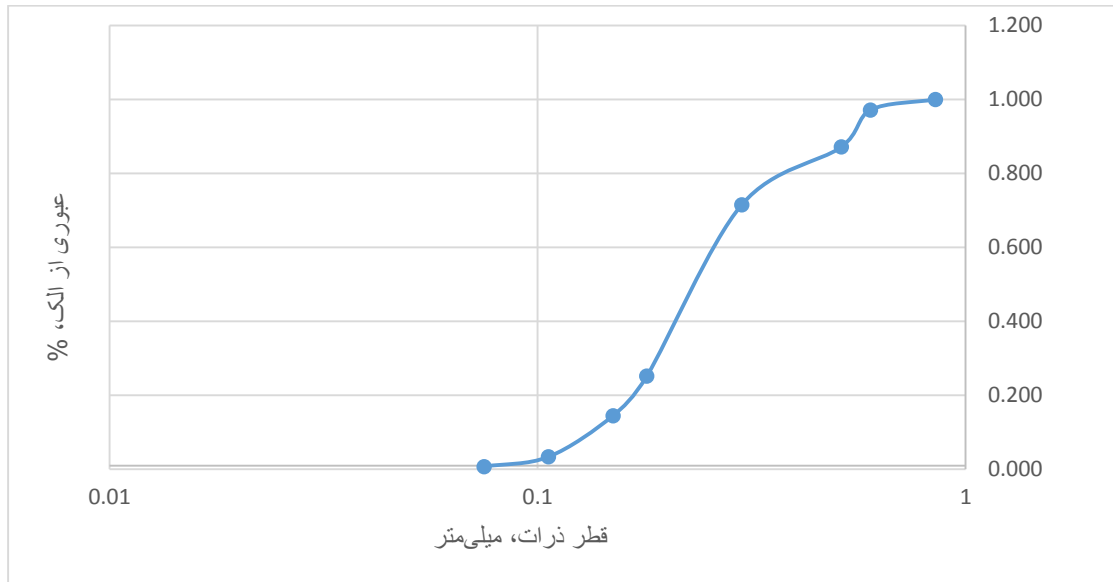


شکل ۳-۶: آرایش حفره‌ها در قسمت خم لوله

### ۳-۱-۶ رسوب

رسوب مورد استفاده در آزمایش‌ها از جنس سیلیس شکسته کارخانه‌ای با  $D_{50} = 0.244\text{mm}$ .

$C_c = 1/99$  و  $C_u = 1/85$  و دانه‌بندی مطابق نمودار ۲-۳ بوده است.



نمودار ۲-۳: نمودار دانه‌بندی رسوب مورد استفاده در آزمایش‌ها

### ۳-۲ روند انجام آزمایش‌ها

- ۱- بر روی رسوبات ترازبندی شده‌ی داخل مخزن، یک صفحه پلکسی‌گلاس نفوذناپذیر قرار داده می‌شود و لوله مکش بر روی آن قرار می‌گیرد.
- ۲- خروجی لوله از تراز تخلیه مورد نظر عبور داده می‌شود
- ۳- سطح آب داخل مخزن برای هر آزمون تنظیم می‌شود
- ۴- لوله هواگیری می‌شود
- ۵- با تغییر ارتفاع آب در آزمایش‌ها، اختلاف تراز بالادست و پایین‌دست با جابه‌جایی تراز سر لوله خروجی، ثابت نگه‌داشته می‌شود.
- ۶- خروجی لوله مکش به تراز مورد نظر رسانده می‌شود تا دبی و سرعت تنظیم گردد.

- ۷- سرعت در کلیه آزمایش‌ها ۱/۷۵ متر بر ثانیه می‌باشد.
- ۸- با برداشتن صفحه نفوذناپذیر از زیر لوله مکش آزمایش شروع می‌شود.
- ۹- در طول آزمایش خروجی لوله مکش داخل باکس جمع‌آوری رسوب برای تله اندازی رسوبات قرار می‌گیرد و کل رسوبات خروجی جمع می‌شود. همچنین طی انجام آزمایش از غلظت خروجی در زمان‌های مشخص نمونه‌برداری می‌شود.
- ۱۰- رسوبات تجمع یافته خروجی، پس از پایان مدت آزمایش، از محفظه پارچه‌ای برای خشک شدن بیرون آورده می‌شود.
- ۱۱- رسوبات خروجی پس از خشک شدن توزین می‌شوند. نمونه‌های غلظت لحظه‌ای نیز توزین و یادداشت می‌شوند.
- ۱۲- توپوگرافی مخروط آب شستگی داخل مخزن نیز بعد از پائین آمدن سطح آب داخل مخزن اندازه‌گیری می‌شود.
- ۱۳- با برگرداندن رسوبات خروجی به داخل مخروط آب شستگی و تراز بندی رسوبات، مدل برای آزمایش بعدی آماده می‌باشد.

### ۳-۳ زمان تعادل<sup>۱</sup>

عملکرد روش هیدروساکشن لوله مکش در این تحقیق، C، طبق تعریف عبارت است 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 تأثیر آن‌ها بر عملکرد روش مورد نظر می‌باشد؛ بنابراین، در این مطالعه، زمان تعادل آزمایش‌ها به این مفهوم که به یک غلظت تعادلی برسیم از شرایط و محدودیت‌های آزمایشگاهی تبعیت می‌کند که شامل دیواره‌ها و کف مخزن می‌باشد. در نتیجه هنگامی که سر لوله مکش به کف مخزن می‌رسد، گسترش مخروط آبشویی در عمق

<sup>۱</sup> Time of equilibrium

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

### ۴-۳ مشکلات انجام آزمایش‌ها

۱. ثابت نگه‌داشتن سطح آب مخزن - برای این کار نیاز بود تا دبی ورودی و خروجی از مخزن هم‌زمان تنظیم و در سطح آب مورد نظر ثابت نگه‌داشته شود.
۲. تنظیم دبی خروجی با استفاده از سرریز مثلی
۳. هواگیری دستی لوله مکش در زیر آب و با توجه ارتفاع زیاد مخزن
۴. تخلیه حدود ۳۰۰ کیلوگرم رسوب جمع شده در باکس جمع‌آوری رسوب پس از هر آزمایش
۵. توزین رسوب خروجی و ریختن مجدد آن به داخل مخزن
۶. بیل زدن رسوب درون مخزن قبل از هر آزمایش به دلیل حساسیت آزمایش‌ها به درجه تحکیم (شکل ۳-۷)
۷. ساخت ست لوله مکش و نصب لوله در حالت سیفونی به دلیل طول زیاد و خم لوله



شکل ۳-۷: رسوب بیل زده شده

## ۴- فصل چهارم

### نتایج و تحلیل داده‌ها

## ۱-۴ آنالیز ابعادی

پارامترهای تأثیرگذار 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 ذرات

رسوبات ( $D_{50}$ )، لزجت دینامیکی سیال ( $\mu$ )، چگالی آب ( $\rho$ )، چگالی رسوب ( $\rho_s$ )، تراز تخلیه سیفون

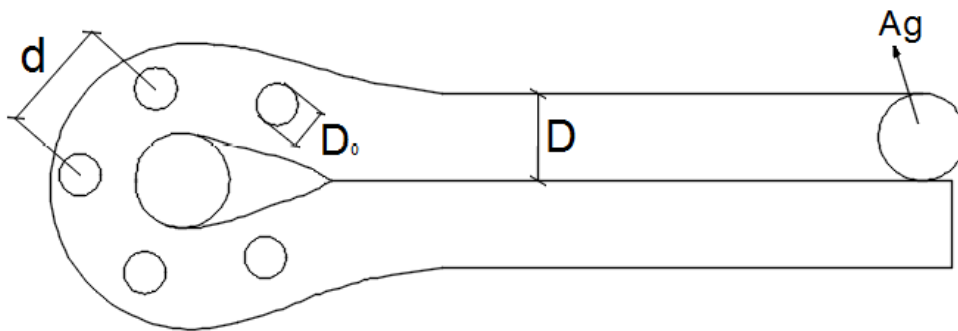
( $h_s$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، طول لوله مکش مدفون ( $L$ )، قطر حفره ( $D_0$ ) و فاصله حفره‌ها ( $d$ )

به عبارت دیگر خواهیم داشت :

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

شکل ۱-۴، پارامترهای  $d, D_0, D$  و  $A_g$  را در لوله و شکل ۲-۴ پارامترهای  $h$  و  $h_s$  را در مخزن

نشان می‌دهد :



شکل ۱-۴: پارامترهای تأثیرگذار در لوله



شکل ۲-۴: پارامترهای تأثیرگذار در مخزن

آنالیز ابعادی پارامترهای تأثیرگذار 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  $\Pi_1$ :

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow \Pi_1 = \frac{C}{\rho}$$

۲-۴

محاسبه  $\Pi_2$ :

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

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

$$\Rightarrow \Pi_2 = \frac{h}{D}$$

۳-۴

محاسبه  $\Pi_3$ :

$$\begin{aligned}\Pi_3 &= D_{50} \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (L) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_3 &= \frac{D_{50}}{D}\end{aligned}$$

۴-۴

: محاسبه  $\Pi_4$

$$\begin{aligned}\Pi_4 &= \mu \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_4 &= \frac{\mu}{\rho \cdot V \cdot D}\end{aligned}$$

۵-۴

: محاسبه  $\Pi_5$

$$\begin{aligned}\Pi_5 &= \rho_s \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c \\ (M \cdot L^{-3}) \cdot (M \cdot L^{-3})^a \cdot (L \cdot T^{-1})^b \cdot (L)^c \\ \Rightarrow \Pi_5 &= \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{\rho_s}{\rho} - 1 = \frac{\rho_s}{\rho} - \frac{\rho}{\rho} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = Gs-I\end{aligned}$$

۶-۴

: محاسبه  $\Pi_6$

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

۷-۴

: محاسبه  $\Pi_7$

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

۸-۴

: محاسبه  $\Pi_8$

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

۹-۴



محاسبه  $\Pi_9$  :

$$\Pi_9 = D_0 \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

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

$$\Rightarrow \Pi_9 = \frac{D_0}{D}$$

۱۰-۴

محاسبه  $\Pi_{10}$  :

$$\Pi_{10} = d \cdot \rho^a \cdot V^b \cdot D^c$$

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

$$\Rightarrow \Pi_{10} = \frac{d}{D}$$

۱۱-۴

در نهایت داریم :

$$\frac{c}{\rho} = f\left(\frac{h}{D}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{\mu}{\rho \cdot V \cdot D}, Gs - 1, \frac{h_s}{D}, \frac{g \cdot D}{V^2}, \frac{L}{D}, \frac{D_0}{D}, \frac{d}{D}\right) \quad ۱۲-۴$$

در این تحقیق پارامتر بدون بعد  $\Pi_1$  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 بدون

بعد ،  $\Pi_8$  ،  $\Pi_9$  و  $\Pi_{10}$  به دلیل ثابت بودن حذف می شوند.

- پارامتر  $\Pi_8$  عدد ثابت می باشد. زیرا مبنای طول لوله در آزمایش ها نسبت  $\frac{L}{D} = 35$

می باشد.

- پارامتر  $\Pi_9$  نیز به علت برقرار بودن نسبت ثابت  $\frac{D_0}{D} = 0.5$  بین قطر حفره و قطر لوله حذف

می شود.

- پارامتر  $\Pi_{10}$  نیز دارای نسبت ثابت  $\frac{d}{D} = \frac{3}{2}$  می باشد.

برای بهینه‌سازی و کاهش تعداد پارامترهای بدون بعد در رابطه نیاز به بررسی حالت‌های مختلف

ترکیب آن‌ها می‌باشد که نتایج به شرح زیر است:

محاسبه  $\Pi_{11}$ :

با معکوس کردن پارامتر  $\Pi_4$  به رابطه ۴-۱۳ که رابطه رینولدز است می‌رسیم.

$$\Pi_{11} = \frac{1}{\Pi_4} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = Re \quad \text{رینولدز} \quad ۱۳-۴$$

محاسبه  $\Pi_{12}$ :

با ترکیب پارامترهای  $\Pi_3$  و  $\Pi_5$  و  $\Pi_7$  به رابطه فرود ذره خواهیم رسید (شفاعی بجزستان, ۱۳۷۳).

$$\Pi_{12} = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{\Pi_7}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\Pi_3} \cdot \frac{1}{\Pi_5}} = \frac{V}{\sqrt{g(Gs - 1)D_{50}}} = Fg \quad \text{فرود ذره} \quad ۱۴-۴$$

محاسبه  $\Pi_{13}$ :

$$\Pi_{13} = \frac{1}{\Pi_2} = \frac{D}{h} \quad ۱۵-۴$$

محاسبه  $\Pi_{14}$ :

$$\Pi_{14} = \frac{1}{\Pi_6} = \frac{D}{h_s} \quad ۱۶-۴$$

در نهایت رابطه نهایی به صورت زیر به دست آمد:

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

هدف به دست آوردن رابطه‌ای برای محاسبه غلظت متوسط خروجی در ذرات رسوب غیر چسبنده

می‌باشد.

## ۲-۴ نتایج آزمایش‌ها

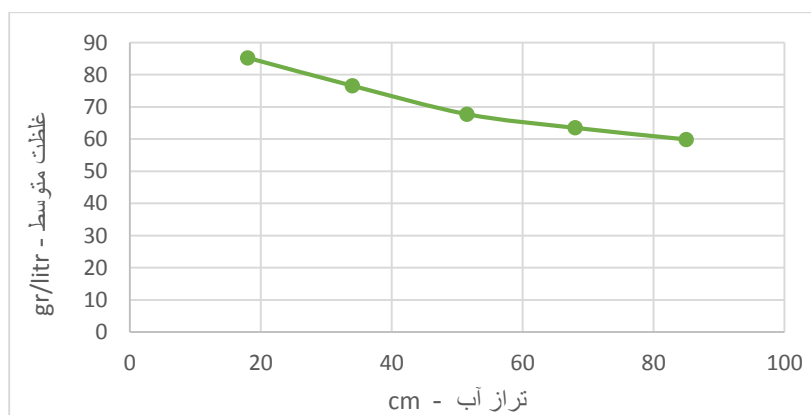
در این تحقیق، هدف بررسی تأثیر ارتفاع آب مخزن و تراز تخلیه (ارتفاع سیفون) بر عملکرد تخلیه رسوب روش هیدروساکشن با استفاده از لوله مکش بهینه به دست آمده از آزمایش‌های پیش‌گرفته بوده است. برای دستیابی به این هدف تعداد ۴۰ آزمایش به شرح زیر گرفته شد:

آزمایش‌ها با لوله مکش بهینه در ۵ ارتفاع آب مخزن (۱۸، ۳۴، ۵۱/۵، ۶۸ و ۸۵ سانتی‌متر)، ۴ تراز تخلیه (۳۵، ۷۵، ۱۰۳ و ۱۳۰ سانتی‌متر)، ۲ قطر لوله (۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متر) و در سرعت ۱/۷۵ متر بر ثانیه انجام شد که نتایج به شرح زیر می‌باشد.

## ۳-۴ تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوبات بر غلظت متوسط روش هیدروساکشن

در این تحقیق برای دستیابی به روند تأثیر تغییرات ارتفاع آب بر روش هیدروساکشن، با توجه به ابعاد و محدودیت‌ها، مخزن در ۵ سطح ارتفاع آب (۱۸، ۳۴، ۵۱/۵، ۶۸ و ۸۵ سانتی‌متر روی رسوبات)، تراز بندی گردید و با انجام آزمایش‌ها در این ۵ تراز، در ۴ حالت تراز تخلیه، با ثابت نگه داشتن اختلاف تراز آب بالادست و پایین‌دست و در ۲ لوله، این موضوع مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر است:

نمودار ۱-۴ بیانگر تغییرات غلظت متوسط در برابر تغییرات ارتفاع آب در تراز تخلیه تحتانی (تراز رسوبات) در لوله ۴/۷ سانتی‌متری می‌باشد.



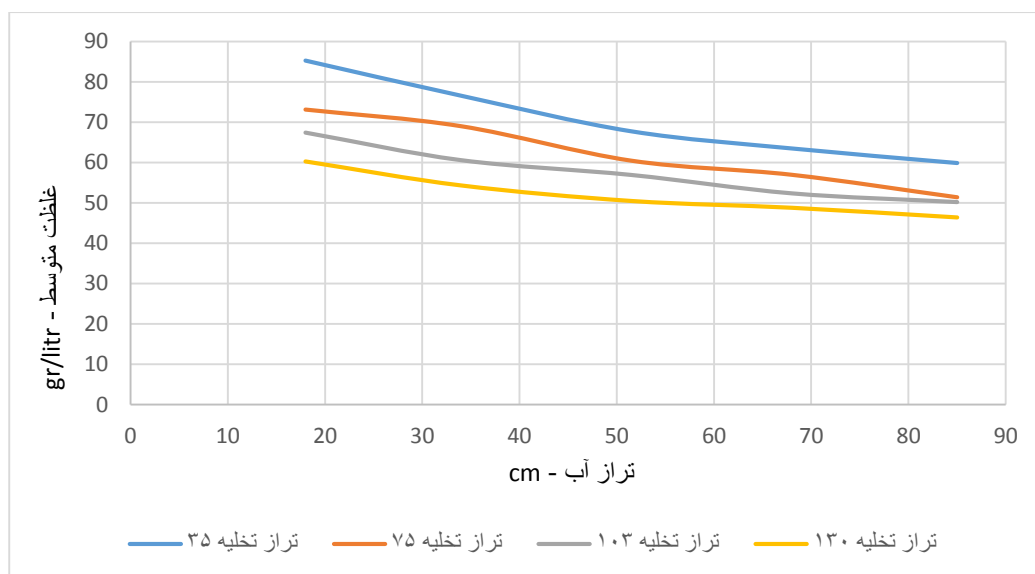
نمودار ۱-۴: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تراز آب (تخلیه از تراز رسوبات در لوله ۴,۷ سانتی‌متری)

همان طور که از نمودار مشخص است، با افزایش ارتفاع آب داخل مخزن و با ثابت نگه داشتن اختلاف تراز آب بالادست و پایین دست، غلظت متوسط روند کاهشی پیدا می کند.

نمودارهای زیر روند تأثیر تغییرات ارتفاع آب بر روش هیدروساکشن را به صورت مقایسه ای در ۴ تراز تخلیه متفاوت در لوله ۴/۷ سانتی متر نشان می دهد.

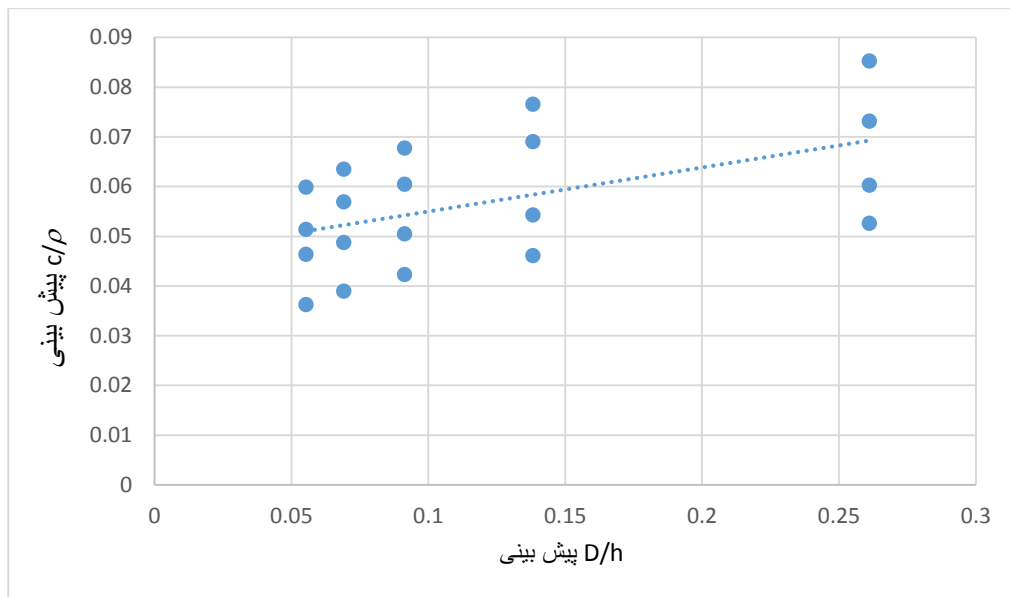
لازم به ذکر است که در هر تراز آب، سرعت درون لوله توسط سرریز مثلی در عدد ۱/۷۵ متر بر ثانیه تنظیم می گردید.

### ۱-۳-۴ در لوله با قطر ۴/۷ سانتی متر



نمودار ۲-۴: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تراز آب مخزن در ۴ تراز تخلیه در لوله ۴،۷ سانتی متری

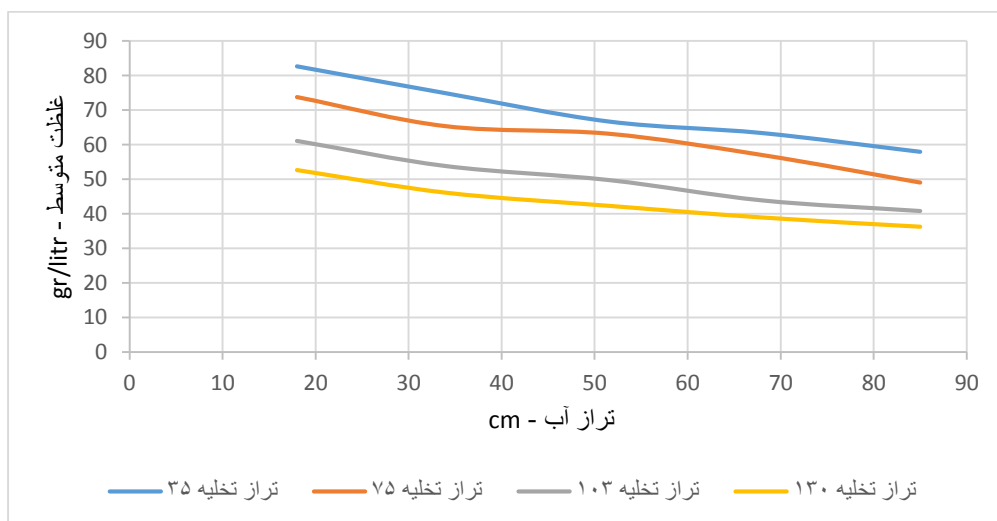
در نمودار ۲-۴ نیز همانند نمودار ۱-۴، افزایش ارتفاع آب در ترازهای متفاوت سیفون، باعث کاهش غلظت متوسط شده است.



نمودار ۳-۴: نمودار عدد بی بعد  $C/\rho$  در برابر عدد بی بعد  $D/h$  برای تغییرات  $h$  (ارتفاع آب روی رسوب) در لوله ۴/۷ سانتی متری

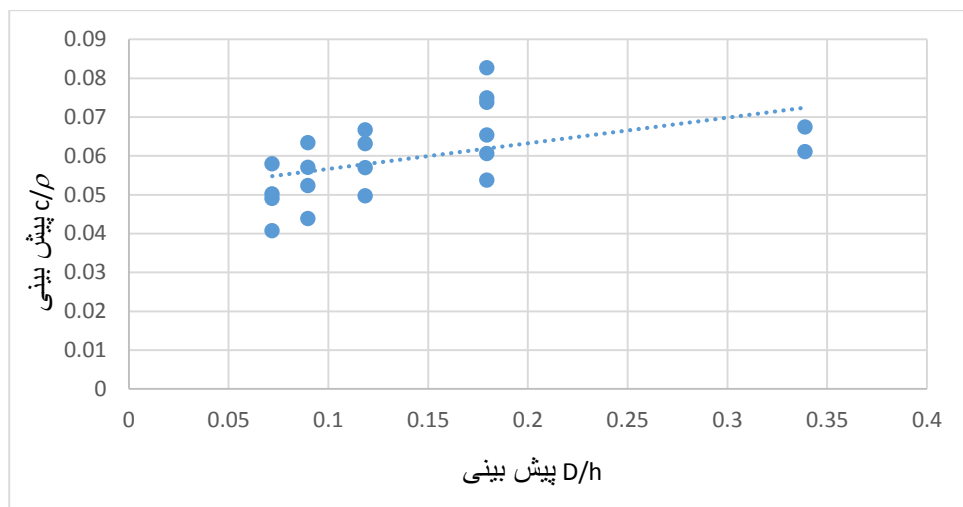
نمودار ۳-۴ که با استفاده از داده‌های بی بعد به دست آمده از آنالیز ابعادی رسم شده است، نشان می‌دهد که با افزایش پارامتر بی بعد  $D/h$  (کاهش ارتفاع آب روی رسوب)، پارامتر  $C/\rho$  یا همان غلظت متوسط افزایش می‌یابد. روند این تغییرات در لوله ۶/۱ سانتی متری به شرح زیر می‌باشد.

#### ۲-۳-۴ در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر



نمودار ۴-۴: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تراز آب در ۴ تراز تخلیه لوله ۶،۱ سانتی متری

نمودار ۴-۴ نیز بیانگر تأثیر کاهش غلظت متوسط در اثر افزایش ارتفاع آب در این روش می‌باشد.

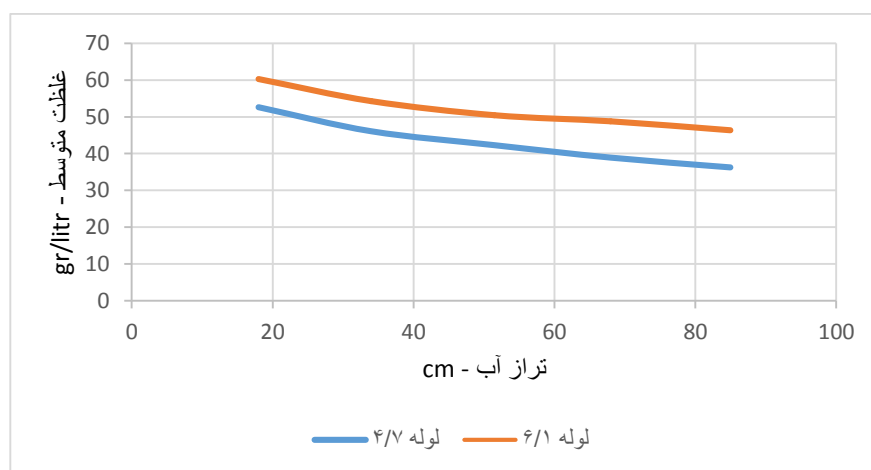


نمودار ۴-۵: نمودار عدد بی‌بعد  $C/p$  در برابر عدد بی‌بعد  $D/h$  برای تغییرات  $h$  (ارتفاع آب روی رسوب) در لوله ۶/۱ سانتی‌متری

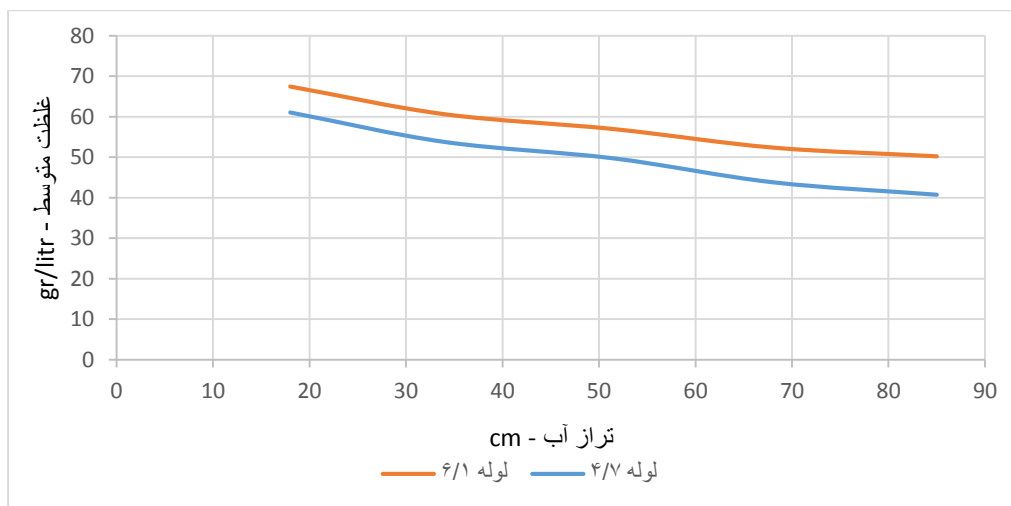
نمودار ۴-۵ همانند نمودار داده‌های اندازه‌گیری و نمودار بی‌بعد لوله ۴/۷ سانتی‌متری روند افزایشی غلظت متوسط با کاهش ارتفاع آب در لوله ۶/۱ سانتی‌متری را نشان می‌دهد.

### ۳-۳-۴ مقایسه اثر مقیاس در دو لوله با قطرهای ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متر

برای بررسی اثر مقیاس، نتایج در ۲ تراز ۱۰۳ و ۱۲۰ سانتی‌متر در ۲ لوله با هم مقایسه می‌شوند (نمودار ۴-۶).



نمودار ۴-۶: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تغییرات تراز آب در تراز تخلیه ۱۲۰ سانتی‌متری در ۲ اندازه لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متری

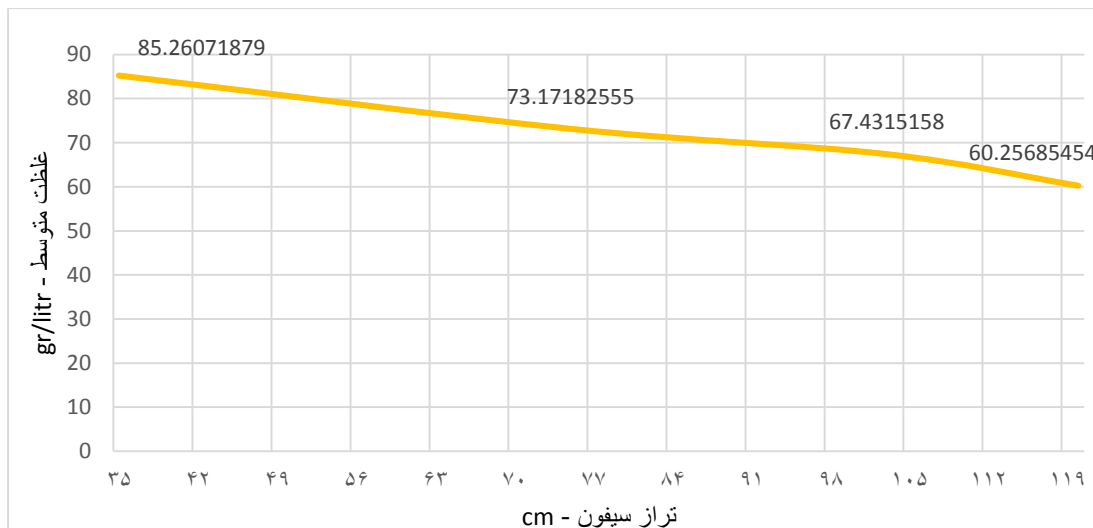


نمودار ۴-۷: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تغییرات تراز آب در تراز تخلیه ۱۰۳ سانتی‌متر در ۲ اندازه لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متری

نمودارهای ۴-۶ و ۴-۷ برای نشان دادن اثر مقیاس تغییر قطر لوله بر غلظت متوسط روش هیدرو ساکش می‌باشد. با توجه به نمودارها ملاحظه می‌شود که لوله ۶/۱ سانتی‌متری با قطر بیشتر عملکرد بهتری دارد. همچنین با در نظر گرفتن رابطه دار سی-وایسباخ ( $h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$ )، ملاحظه می‌شود که بیشتر شدن قطر لوله باعث کاهش افت آن و بالا رفتن غلظت متوسط می‌شود.

#### ۴-۴ تأثیر تغییرات تراز تخلیه (سیفون) بر غلظت متوسط روش هیدروساکشن

همان‌طور که در قبلاً گفته شد، مخزنی که در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت، دارای دیواره‌ای شیشه‌ای به ارتفاع ۱/۵ متر بود. برای سیفونی کردن لوله و بررسی تأثیر افت سیفون بر روش هیدروساکشن، دیواره جلویی مخزن در ۴ تراز (۳۵، ۷۵، ۱۰۳ و ۱۳۰ سانتی‌متر) حفره‌ای ایجاد شد و آزمایش‌ها در این ۴ تراز تخلیه و ۵ تراز سطح آب پیمایش انجام شد. نتایج توأم تأثیر سیفونی کردن و تغییرات ارتفاع آب به شرح زیر است:

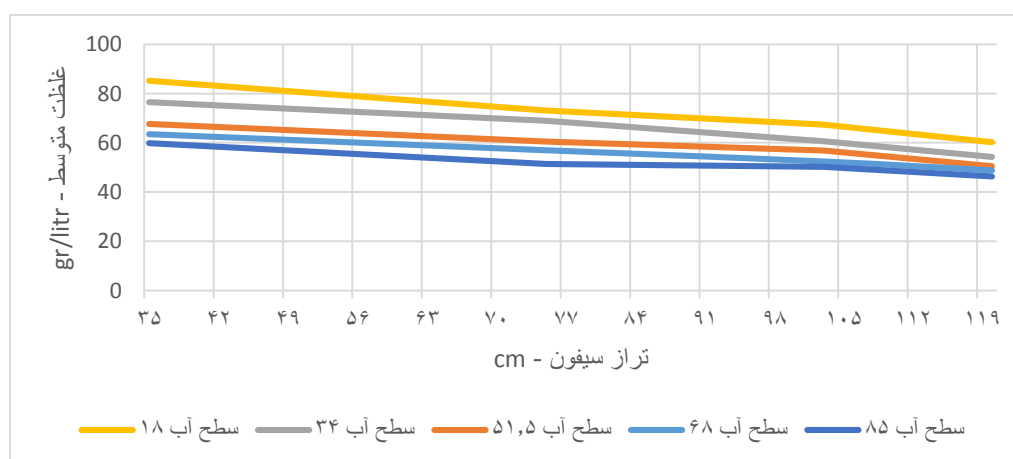


نمودار ۴-۸: تغییرات غلظت متوسط در برابر تغییرات تراز سیفون با تراز آب ۱۸ سانتی‌متر در لوله ۴/۷ سانتی‌متری

نمودار ۴-۸ نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع سیفون، زمانی که سرعت ثابت است، باعث افت در جریان آب و رسوب شده و در نتیجه غلظت متوسط روش هیدروساکشن کاهش می‌یابد.

نمودارهای زیر روند تأثیر ارتفاع سیفون و ارتفاع آب را در ۲ لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متر در کنار هم نشان می‌دهد:

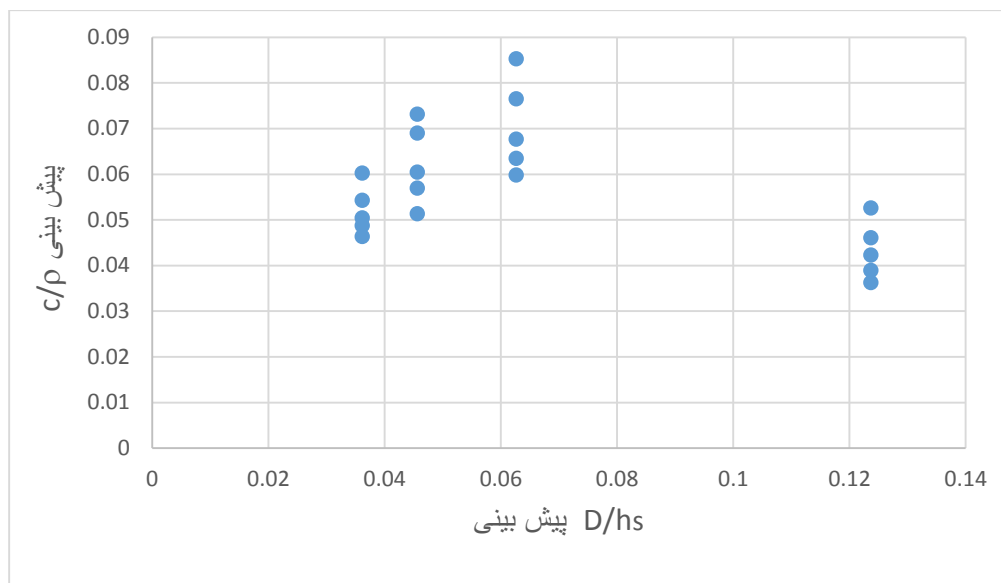
#### ۴-۴-۱ در لوله با قطر ۴/۷ سانتی‌متر



نمودار ۴-۹: تغییرات غلظت متوسط در برابر تراز تخلیه (سیفون) در ۴ تراز آب در لوله ۴,۷ سانتی‌متری

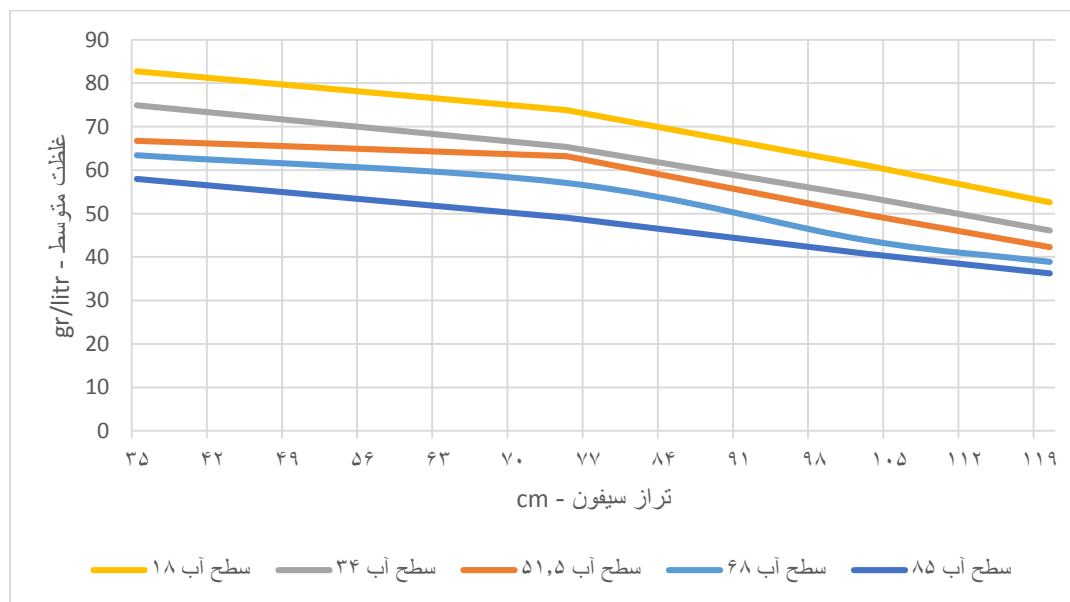


همانند نمودار ۹-۴، نمودار ۱۰-۴ نیز بیانگر این است که با افزایش ارتفاع سیفون، غلظت متوسط کاهش پیدا می‌کند.



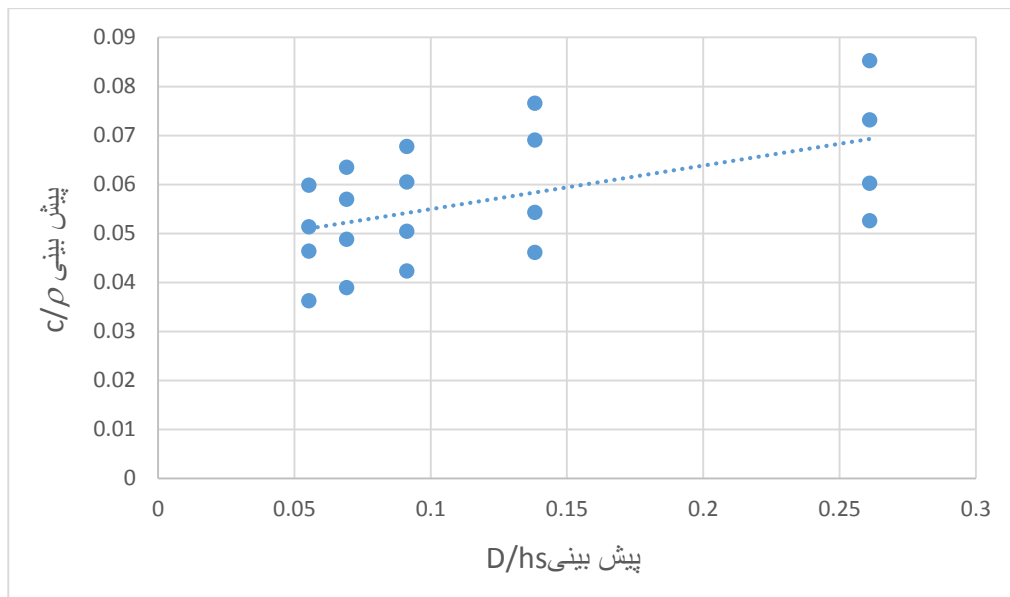
نمودار ۱۰-۴: نمودار عدد بی بعد  $C/\rho$  در برابر عدد بی بعد  $D/hs$  برای تغییرات  $hs$  (تراز تخلیه) در لوله ۴/۷ سانتی متری

#### ۲-۴-۴ در لوله با قطر ۶/۱ سانتی متر



نمودار ۱۱-۴: تغییرات تراز تخلیه سیفون در برابر غلظت متوسط در ۴ تراز آب در لوله ۶,۱ سانتی متر

تغییر غلظت متوسط در برابر تراز تخلیه در لوله ۶/۱ همانند لوله ۱/۷ به صورت کاهشی می‌باشد.

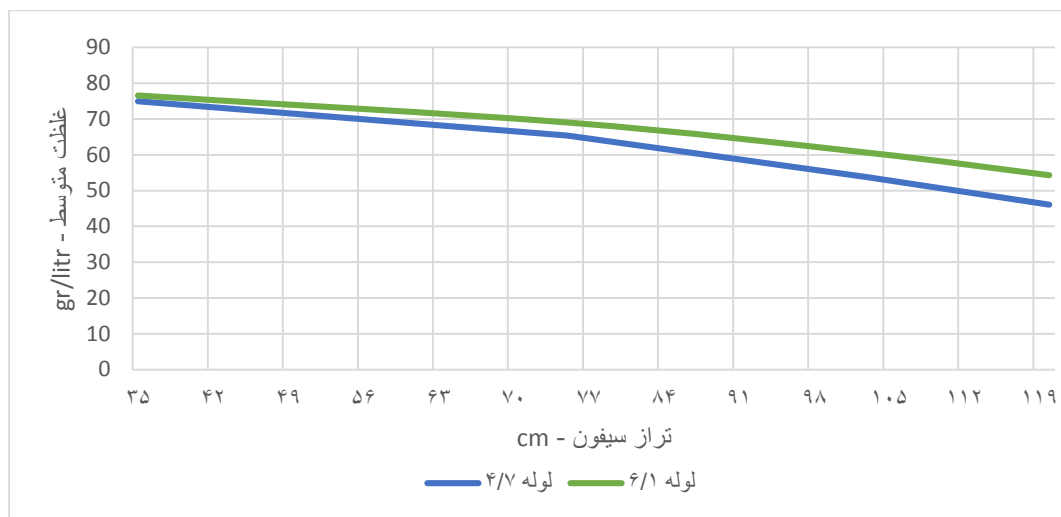


نمودار ۴-۱۲: نمودار عدد بی بعد  $C/\rho$  در برابر عدد بی بعد  $D/hs$  برای تغییرات  $hs$  (تراز تخلیه) در لوله ۶/۱ سانتی متری نتایج فوق با توجه به رابطه داری-وایسباخ نیز قابل تأیید است. سیفونی شدن و افزایش ارتفاع سیفون با افزایش طول لوله همراه است. با توجه به فرمول  $h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$  با افزایش طول افت نیز افزایش پیدا می کند که موجب کاهش غلظت متوسط می شود.

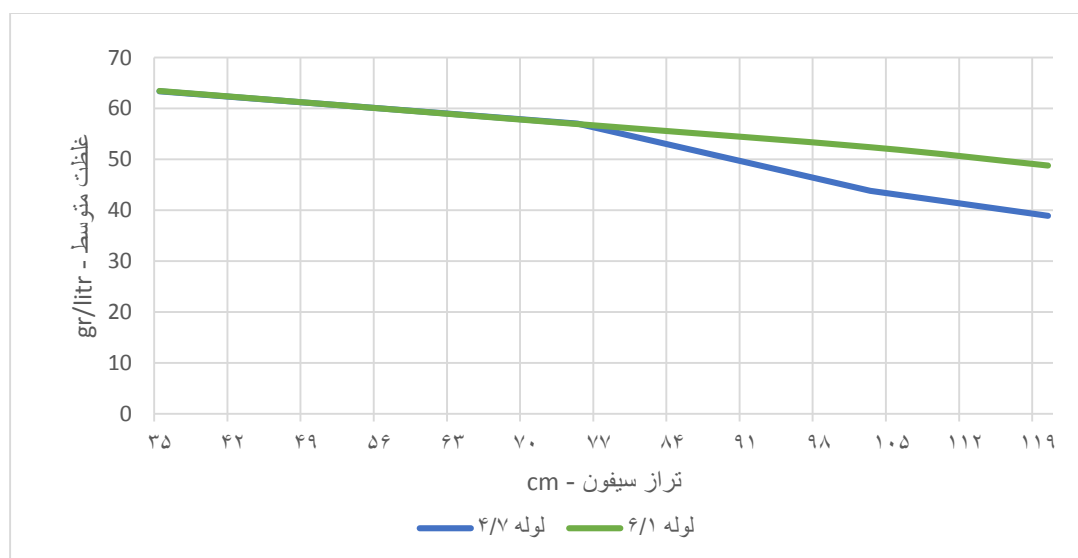
#### ۴-۴-۳ مقایسه اثر مقیاس در دو لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی متری

برای بررسی اثر مقیاس بر تغییرات ارتفاع سیفون، نتایج را در ۲ سطح آب ۳۴ و ۸۵ سانتی متری

در ۲ لوله باهم مقایسه می کنیم :



نمودار ۴-۱۳: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تغییرات تراز تخلیه (آب شویه) در سطح آب ۳۴ سانتی‌متر در ۲ اندازه لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متری



نمودار ۴-۱۴: تغییرات غلظت متوسط نسبت به تغییرات تراز تخلیه (آب شویه) در سطح آب ۸۵ سانتی‌متر در ۲ اندازه لوله ۴/۷ و ۶/۱ سانتی‌متری

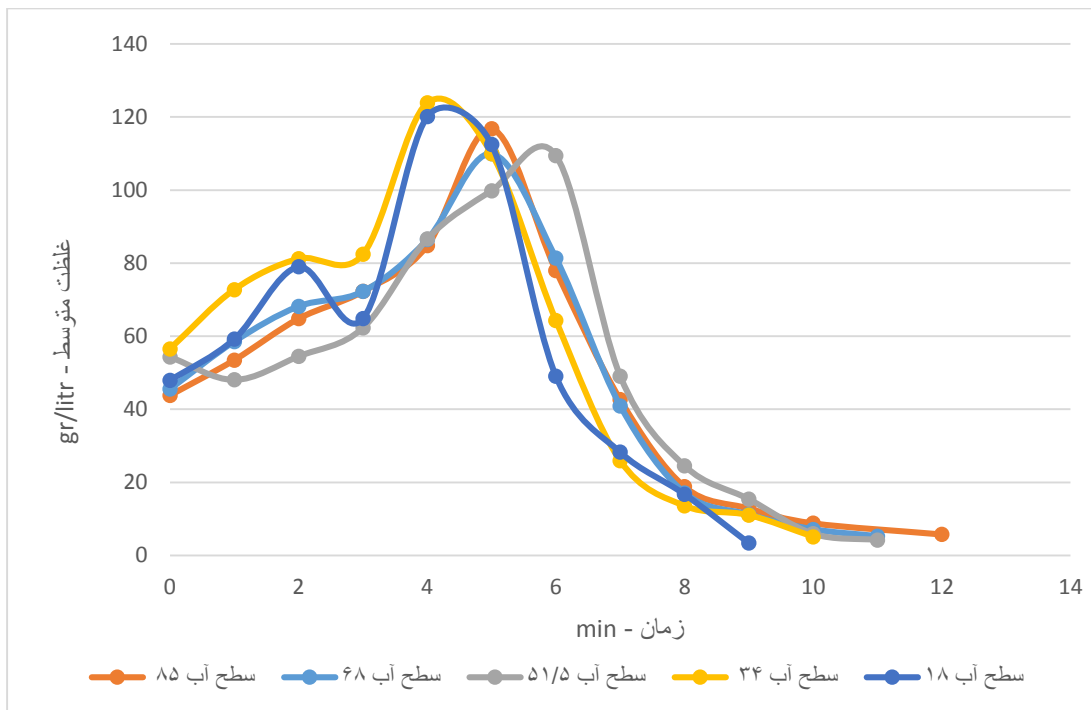
گراف‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نمایانگر این موضوع است که اثر مقیاس اندازه لوله در تغییرات تراز تخلیه، بدین گونه است که غلظت متوسط در لوله ۶/۱ سانتی‌متری اندکی بیشتر از لوله ۴/۷ سانتی‌متری می‌باشد.

از نقطه نظر هیدرولیکی، با در نظر گرفتن رابطه  $h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$ ، ملاحظه می‌شود که بیشتر

شدن قطر لوله رابطه عکس با افت درون لوله دارد.

#### ۵-۴ تحلیل روند آزمایش بر اساس غلظت‌های لحظه‌ای

در زمان انجام هر آزمایش، برای مشخص شدن روند رسوب شویی و زمان اتمام آزمایش (زمان تعادل)، در زمان‌بندی‌های مشخص و به صورت متناوب از جریان خروجی نمونه‌گیری انجام می‌گرفت. در نمودار ۴-۱۵ نتایج غلظت‌های لحظه‌ای حاصل از نمونه‌گیری برای آزمایش‌های لوله ۶/۱ سانتی‌متر، در تراز تخلیه ۳۴ سانتی‌متری و در ۵ سطح آب آورده شده است.



نمودار ۴-۱۵: روند تغییر غلظت لحظه‌ای در طول زمان آزمایش‌های لوله ۶/۱ سانتی‌متر در تراز تخلیه ۳۴ سانتی‌متر. نمودار ۴-۱۵ از ۲ بخش صعودی و نزولی تشکیل شده است. بخش صعودی از غلظت حدودی ۴۰-۶۰ gr/litr آغاز می‌شود تا به مقدار بیشینه خود که دقیقه لحظه قبل از رسیدن لوله مکش به کف مخزن است برسد. پس از رسیدن لوله به کف مخزن، نمودار غلظت روند نزولی خود را آغاز می‌کند. در این مدت مخروط آبشویی فقط به صورت عرضی و طولی پیشرفت می‌کند تا زمانی که لبه‌های مخروط به دیواره‌های مخزن رسیده و این دقیقه زمانی است که غلظت لحظه‌ای به حدود ۵ gr/litr می‌رسد و

آزمایش متوقف می‌گردد. همچنین با توجه به نمودار، زمان اتمام هر آزمایش (زمان تعادل) با ارتفاع آب رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش ارتفاع آب مخزن، غلظت متوسط کاهش پیدا می‌کند و زمان بیشتری طول می‌کشد تا آزمایش به غلظت لحظه‌ای حداقل برسد.

#### ۴-۶ مخروط آبشویی

با پایین رفتن لوله مکش در رسوب، حفره‌ای در رسوب شکل می‌گیرد که به آن مخروط آبشویی می‌گویند (شکل ۴-۳ و ۴-۴). 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.

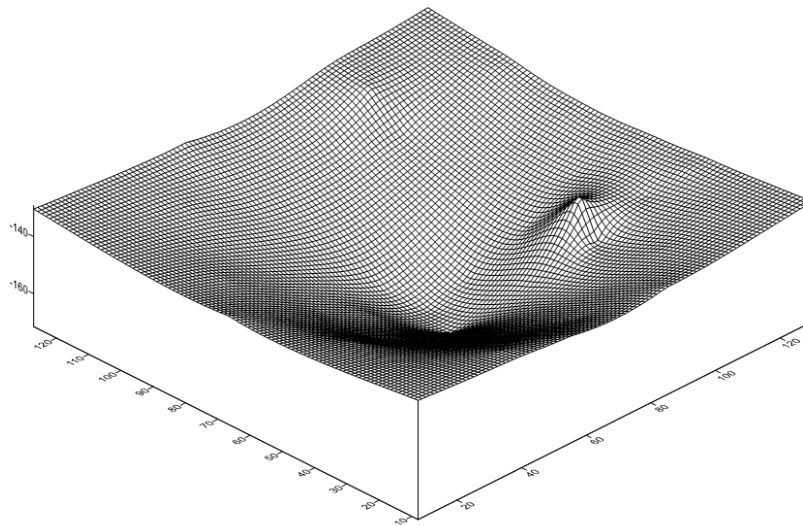


شکل ۴-۳: شکل مخروط آبشویی

پس از اتمام هر آزمایش، پروفیل مخروط آبشویی ایجادشده به وسیله متر لیزری و سیستم ریلی مدرج نصب‌شده بر روی مخزن برداشت می‌شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SURFER، شمای سه‌بعدی مخروط ترسیم و حجم آن محاسبه می‌گردید. (شکل ۴-۵)



شکل ۴-۴: شکل مخروط آبشویی در مخزن



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

## ۷-۴ به دست آوردن رابطه

با استفاده از نرم افزار SPSS 22 حالت های مختلف ترکیب پارامترهای بدون بعد  $\Pi_1$  و  $\Pi_{11}$  و  $\Pi_{12}$

و  $\Pi_{13}$  و  $\Pi_{14}$  بررسی گردید.

$$\frac{c}{\rho} = f(Fg, Re, \frac{D}{h}, \frac{D}{h_s})$$

۱۸-۴

برای آب با دمای ۲۱ درجه سانتی گراد لزجت سینماتیک  $\nu = 1.005E - 6 \text{ m}^2/\text{s}$  می باشد.

برای ۲ مقیاس لوله که به ترتیب دارای قطر ۰/۰۴۷ و ۰/۰۶۱ متر و سرعت نیز در طول آزمایش‌ها از ۰/۸ تا ۲/۱۶ متر بر ثانیه می‌باشند، عدد رینولدز جریان خواهد شد:

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

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

اعداد به دست آمده برای رینولدز جریان از ۳۷۶۰۰ تا ۱۳۱۷۶۰ متغیر است که در این محدوده

جریان متلاطم می‌باشد. پس پارامتر رینولدز ( $\Pi_0$ ) نیز از آنالیز ابعادی حذف می‌گردد.

$$\frac{c}{\rho} = f\left(Fg, \frac{D}{h}, \frac{D}{h_s}\right) \quad 19-4$$

در نتایج به دست آمده در ۲ حالت خطی و غیرخطی که در جدول (۴-۱) ارائه شده،  $R^2$  ضریب

برازش و RMSE شاخص خطا می‌باشد.

از RMSE از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(p - O)^2}{n - 1}} \quad 20-4$$

که در آن:

P داده‌های پیش‌بینی شده

O داده‌های اندازه‌گیری شده

n تعداد داده‌ها می‌باشد

جدول ۴-۱: بررسی خطا و رگرسیون خطی و غیرخطی

غیر خطی		خطی		تعداد پارامترهای بدون بعد	پارامترهای بدون بعد
RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$		
۰/۰۱۳۲	۰/۶۱۸	۰/۰۱۳	۰/۶۵۴	۴	$\frac{c}{\rho}, Fg, \frac{D}{h}, \frac{D}{h_s}$

رابطه خطی و غیرخطی به دست آمده از نرم افزار SPSS v22 به صورت زیر می باشد :

حالت خطی :

$$\frac{c}{\rho} = -0.037 + (0.003 \times Fg) + \left(0.07 \times \frac{D}{h}\right) + \left(0.205 \times \frac{D}{h_s}\right) \quad 21-4$$

حالت غیرخطی:

$$\frac{c}{\rho} = 0.007 \times (Fg^{0.954}) \times \left(\frac{D}{h}\right)^{0.164} \times \left(\frac{D}{h_s}\right)^{0.242} \quad 22-4$$

آنالیز خطی با تعداد ۴ پارامتر، دارای خطا و رگرسیون قابل قبول، به عنوان رابطه پیشنهادی

پذیرفته می شود. رابطه پیشنهادی نهایی به صورت رابطه ۴-۲۳ در می آید:

$$c = -37 + (3 \times Fg) + \left(70 \times \frac{D}{h}\right) + \left(205 \times \frac{D}{h_s}\right) \quad 23-4$$

با توجه به فرمول این طور نتیجه می شود که غلظت متوسط روش هیدرو ساکشن، با سرعت و

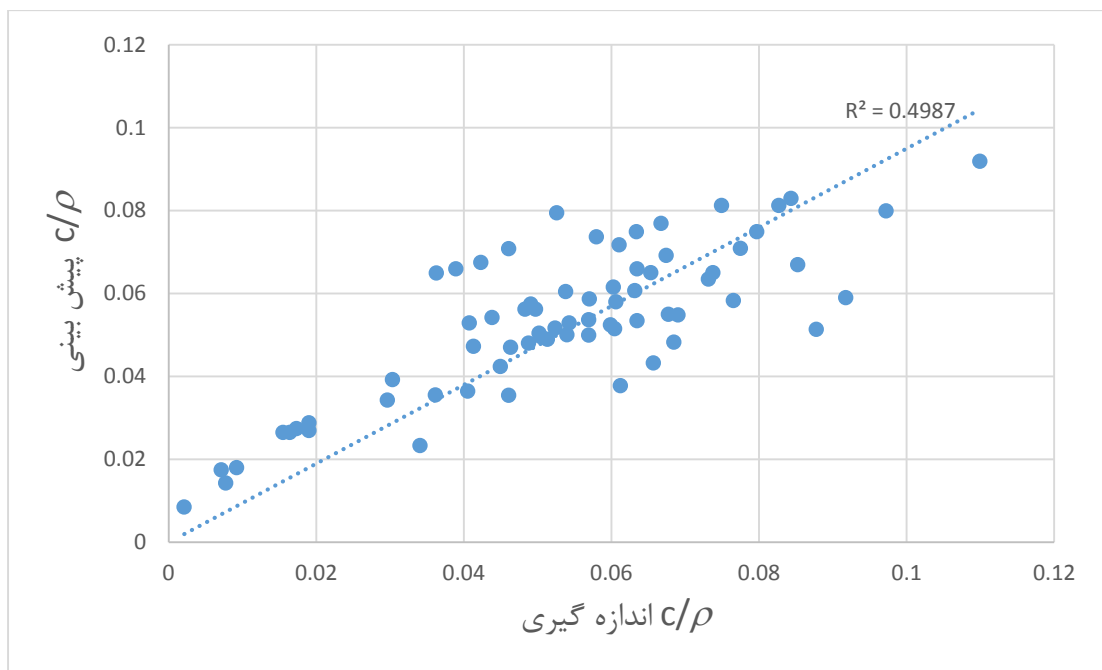
قطر لوله نسبت مستقیم و با اندازه رسوب،  $G_s$ ، ارتفاع سیفون و ارتفاع آب روی رسوب نسبت عکس

دارد.

نمودار پراکنش داده های اندازه گیری شده به داده های پیش بینی شده و خط برازش ۴۵ درجه

به صورت زیر می باشند :



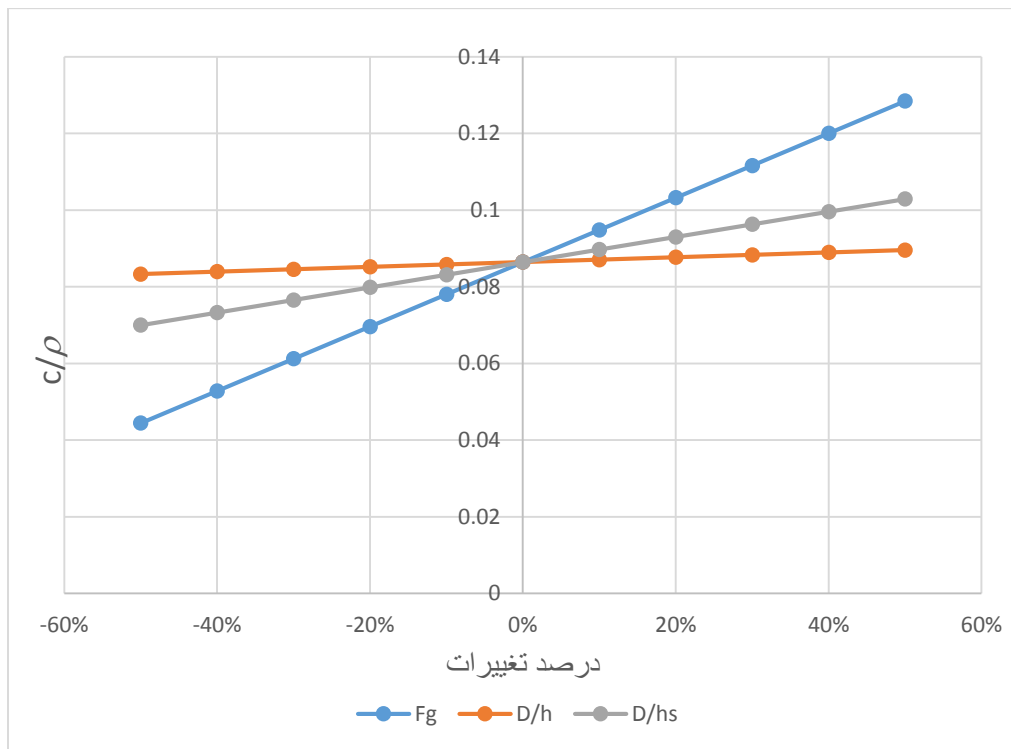


نمودار ۴-۱۶: نمودار پراکنش بین  $C/\rho$  اندازه‌گیری شده و  $C/\rho$  پیش‌بینی با خط برازش ۴۵ درجه

#### ۴-۸ آنالیز حساسیت

در تحلیل حساسیت اثرات تغییرات در پارامترهای یک مدل در جواب نهایی آن مدل بررسی می‌شود. 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 ۴-۱۷ آنالیز حساسیت رابطه پیشنهادی به‌دست‌آمده با استفاده از داده‌های یکی از آزمون می‌باشد. با توجه به فرمول سه پارامتر  $D/h$ ،  $Fg$  و  $D/hs$  مورد آنالیز قرار گرفته است. به این صورت که در هر بار آنالیز دو پارامتر ثابت و تأثیر تغییرات پارامتر سوم (از  $-0.50\%$  تا  $+0.50\%$ ) بر پارامتر متغیر وابسته  $C/\rho$  سنجیده شده است.



نمودار ۴-۱۷: آنالیز حساسیت پارامترهای تأثیرگذار

همانطور که از شیب نمودارها برمی آید، تغییرات Fg دارای شیب بیشتر و تأثیرگذاری بالاتر بر

$C/\rho$  بوده و پارامترهای D/h و D/hs با شیب کمتر، تأثیر کمتری را دارا می باشند.

## ۵- فصل پنجم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

## ۱-۵ مقدمه

معضل رسوب‌گذاری همواره به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی به دلیل پر شدن از رسوب متروکه شده‌اند. روش‌های متنوع و زیادی از جمله حفاری، تخلیه هیدرولیکی، سیستم کنارگذر و غیره برای رسوب‌زدایی از مخازن سدها وجود دارد. استفاده از روش‌ها محدود و کنترل مقدار دقیق کیفیت و کمیت رسوب تخلیه‌شده دشوار می‌باشد. همچنین به دلیل مشکلات زیست‌محیطی و محدودیت‌های مالی، تخلیه کامل رسوب مخازن غیر ضروری بوده و با رسوب‌زدایی قسمت‌های حیاتی سد از جمله آبگیرها می‌توان به بهره‌برداری از آن ادامه داد. هیدروساکشن یکی از تکنیک‌های مؤثر برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در مخازن سدها می‌باشد که یکی از جدیدترین آن‌ها روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات می‌باشد. در این تحقیق تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوب و تراز تخلیه (سیفون) بر عملکرد تخلیه رسوب "روش مدل لوله مدفون شده مکش رسوبات" با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو قطر متفاوت لوله موردبررسی قرار گرفت.

## ۲-۵ اهم نتایج شامل موارد زیر است :

۱- به ازای کاهش ارتفاع آب روی رسوبات و ثابت ماندن اختلاف تراز، غلظت متوسط افزایش می‌یابد.

۲- با افزایش ارتفاع تراز تخلیه (ارتفاع سیفون) و ثابت ماندن اختلاف تراز، به دلیل افزایش طول لوله و در نتیجه بالا رفتن افت در لوله (با توجه به رابطه دارسی و ایسباخ) غلظت متوسط کاهش پیدا می‌کند.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

۳- بررسی اثر مقیاس در دو اندازه لوله هم نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله به دلیل افزایش افت در لوله (با توجه به رابطه دارسی و ایسباخ) به‌طور نسبی غلظت متوسط افزایش

پیدا می‌کند.

۴- غلظت لحظه‌ای رسوبات تخلیه شده از مخزن از ابتدای آزمایش با گسترش حفره آب شویی

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

می‌کند و پس از آن روند کاهشی می‌شود.

۵- 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.

۶- با انجام آنالیز ابعادی و استفاده از نرم‌افزار SPSS V22 فرمول زیر برای محاسبه غلظت

متوسط تخلیه رسوب پیشنهاد می‌شود :

$$c = -37 + (3 \times Fg) + \left(70 \times \frac{D}{h}\right) + \left(205 \times \frac{D}{h_s}\right)$$

### ۳-۵ 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

چسبنده عملکرد مناسبی ندارد، همچنین بررسی روش مذکور در رسوب چسبنده در رساله این جانب

تعریف شده بود. در نتیجه پیشنهاد می‌شود برای ارتقاء این روش در رسوب چسبنده، عملکرد آن با

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

آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات درجه تحکیم رسوب تأثیر بسیاری بر عملکرد 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 متفاوت تحکیم رسوب مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع و مراجع :

ایمان شعار ف، حسنزاده ی و اعلمی م.ت (۱۳۹۲) " تحلیل عدم قطعیت در تعیین جرم مخصوص رسوبات تهنشین شده در مخازن سدها " نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۲۷ تا ۳۷

خلاصه‌ی طرح جامع آب کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۰

شاهی دشت ع و عباس نژاد ا (۱۳۸۹) " مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه موردی:

استان کرمان) " چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام

یزدانی مقدم ی و قاسمیه ه (۱۳۹۰) " راهکارهای اساسی مقابله با بحران آب در ایران " همایش بحران

آب در دشت کاشان

ابراهیمیان ص و نهتانی م (۱۳۹۲) " بررسی بحران کم‌آبی در حال حاضر ناشی از چالش عدم مدیریت

بهینه منابع آب در بخش کشاورزی در راستای تحقق توسعه پایدار کشاورزی " اولین همایش ملی

چالش‌های منابع آب و کشاورزی، اصفهان، انجمن آبیاری و زهکشی ایران

اوریم م " (۱۳۹۰) وضعیت و نحوه‌ی مدیریت منابع آب در ایران " ماهنامه‌ی تحلیل خاورمیانه

خسرونژاد ع (۱۳۸۷) " مطالعه و ارائه راه کار های عملی طراحی هیدرولیکی روش رسوب زدائی

هیدروساکشن برای رسوب زدائی مخازن سد های کشور " تهران، طرح پژوهشی وزارت نیرو به شماره

۸۵۱۰۰

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

گزارش عملیات رسوب زدایی سد سفید رود، وزارت نیرو شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان امور

سدها، ۱۳۸۵

مجموعه مقالات اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (گوه‌ران کویر)، ۱۳۸۳

نشریه شماره ۵۸۹ (۱۳۹۱) راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدایی مخازن سدها، تهران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، نشریه شماره ۵۸۹

**Atkinson E** (1996) "The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoir", Report OD 137

**Blanton J.O** (1982) "Procedures for Monitoring Reservoir Sedimentation, Bureau of Reclamation" Denver

**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" University of Kansas, Lawrence

**Bruk S** (1985) "Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs" Paris ,UNESCO

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

**Eftekhazadeh S** (1987) "Sediment bypass system for impounding reservoirs" Department of civil engineering and engineering mechanic university of arizona

**Evrard J** (1980) "Considerations on sedimentation in the hydraulic installations of the electricite de France" Seminar of Experts on Reservoir Desiltation Tunis, Tunisia ,Training Ctr for Water Resour

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

**Fan J and Morris G.L** (1992) "Reservoir sedimentation II: Reservoir Desiltation and Long Term Storage Capacity" Journal 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, Vol 314 - pp 146–153

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

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

**Hotchkiss B.H and Huang x** (1995) " Hydro suction sediment-removal systems (HSRS): Principles and field test " Journal 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 Experiments " INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DAMS IN A GLOBAL ENVIROMENTAL CHALLENGES, Bali, Indonesia

**Morris G. L and Fan Jiahua** (1997) " Reservoir sedimentation handbook " McGraw-Hill Co, 1997

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

**Sakurai T , Hakoishi N, Kashiwai J, 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** (2013) " SEDIMENT DISCHARGE FIELD TEST OF THE BURROWING TYPE SEDIMENT REMOVAL SUCTION PIPE " Civil Society



Proceedings B1 ( Hydraulic Engineering ), Vol. 69

**Sakurai T and Hakoishi N** (2011) ” Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs ” 79th Annual Meeting of ICOLD 2011, Switzerland, Dams and Reservoirs under Changing Challenges, pp 371-378

**Sakurai T and Hakoishi N** (2012) ” Hydraulic Characteristics of the Burrowing Type ” International symposium on dams for a changing world, Tsukuba, Japan, Public Works Research Institute,

**wang z and Hu c** (2009) ” Strategies for managing reservoir sedimentation ” International Journal of Sediment Research, pp 369-384

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

## **Abstract**

In today's world factors like significant growth in population and excessive use of natural resources for economical purposes have had impacts 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 number of dams 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, hydro suction, bypassing systems, etc. exist for sediment removals of dams. Using these methods are 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. "Burrowing type sediment removal method" is one the newest model of Hydro-suction. In the presented research the effect of changes in height of water on sediment and syphon height on efficiency of sediment discharge "Burrowing type sediment removal method" with use of laboratory model in two different diameter of pipes was studied.

The results showed that in mentioned method in a certain upstream and downstream head difference, reduction in water level results in increase of efficiency. Also increase in syphon height results in decreased efficiency because of Head loss growth in pipe.

**Key words:** Hydrosuction, Dredging, Siphon, Water height



**University of Shahrood**

**Faculty of civil engineering**

**Experimental investigation on effects of reservoir water level and  
discharge level on sediment removal efficiency using the Siphon  
Hydrosuction method**

**Mahdi cheraghali**

Supervisors:

**Ahmad Ahmadi**

**Mojtaba Saneie**

September 2015