بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی کشاورزی-آب

گرایش سازه‌های آبی

بررسی سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده در دو مدل آزمایشگاهی استوانه ته‌نشینی و فلوم‌دوار

استاد راهنما:

دکتر حسین صمدی بروجنی

استاد مشاور:

دکتر محمود شفاعی بجستان

پژوهشگر:

سیده آرزو نقشبندی

شهریورماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی- آب

پایان‌نامه خانم سیده آرزو نقشبندی جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد رشته کشاورزی آب گرایش سازه‌های‌آبی با عنوان بررسی سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده در دو مدل آزمایشگاهی استوانه ته‌نشینی و فلوم‌دوار در تاریخ ۱۳۹۳/۷/۷ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۲۵ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنما پایان‌نامه :

دکتر حسین صمدی بروجنی با مرتبه علمی دانشیار امضاء

۲. استاد مشاور پایان‌نامه :

دکتر محمود شفاعی بجستان با مرتبه علمی استاد امضاء

۳. استادان داور پایان‌نامه :

دکتر افشین هنربخش با مرتبه علمی دانشیار امضاء

دکتر مهدی اسدی آغبلاغی با مرتبه علمی استادیار امضاء

دکتر محمد حسن صالحی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده کشاورزی

تقدیم به

پدر، مادر و هم‌سرم

تقدیر و تشکر

گویند آنچه از دل برآید بر دل نشیند...

اینک که در پرتو لطف بیکران پروردگار متن نگارش و تدوین این پایان نامه به اتمام رسیده، بر خود لازم میدانم از صمیم قلبم از کلیه عزیزانی که مرا در این مسیر سخت و دشوار و پر از تجربه یاور و راهنما و همراه بودند کمال سپاسگذاری و تشکر را عرض نمایم.

از پدر و مادرم که هر لحظه از وجودم را با چشمه سار پر از عشق چشمانشان سیراب میکنند.

همسرم که در تمام طول مسیر ساخت مدل و نگارش پایان نامه یاور مهربان و صبورم بود و مرا تشویق به ادامه راه می کرد و تکیه گاه امن و پر آرامش من بوده و هست.

برادرم که در کلیه لحظات ناامیدی روشنگر چراغ امید در قلبم بود.

استاد گرانقدرم دکتر حسین صمدی بروجنی که در تمام مراحل ساخت مدل و نگارش پایان نامه با راهنمایی ها و کمک های بی دریغ شان، مرا راهنما و روشنگر بودند.

استادان گرانقدرم آقایان دکتر روح الله فتاحی، دکتر علی آرمان و دکتر محمدرضا نوری امام زاده ای که در طول راه مرا راهنما و روشنگر بودند.

آقایان محمود اسکینی، مهدی نادری بلداجی و پدر همسرم که در طول این راه تجربه هایشان را بی دریغ در اختیارم گذاشتند.

کارشناس آزمایشگاه هیدرولیک مهندس سقایی، کارشناس آزمایشگاه آبیاری سرکار خانم عبدالهی که کمال همکاری را با اینجانب داشتند.

از کلیه اساتید برون مرزی دکتر کارل فردریچ، الئو میکلسون و گریگوری موریس که فارق از حصار مرزها سخاوتمندانه برایم اطلاعات لازم را ارسال کردند.

از نگهبانان دانشگاه سراسری شهرکرد که در ساعات غیر معمول اجازه ورود و کار در آزمایشگاه را به من دادند.

کمال سپاسگذاری و تشکر را دارم . و بی صبرانه در انتظار لحظاتی هستم که بتوانم گامی کوچک برای یکا یک این عزیزان در جهت سپاسگذاری بر دارم.

سیده آرزو نقشبندی- شهریورماه ۱۳۹۳

تقدیم به

پدر، مادر و هم‌سرم

چکیده

در این تحقیق سرعت سقوط رسوبات‌چسبنده در دو مدل آزمایشگاهی استوانه ته‌نشینی با قطر داخلی ۱۹ و ارتفاع ۳۰۰ سانتیمتر و فلوم‌دوار با قطر داخلی ۱/۳ و ارتفاع ۴۷ سانتیمتر مورد بررسی قرار گرفته‌است. در مدل استوانه ته - نشینی در ابتدا آزمایشات با ۵ غلظت اولیه ۳، ۵، ۱۰، ۱۵ و۲۰ گرم‌برلیتر انجام گرفته‌است. در هر آزمایش تغییرات غلظت رسوبات‌چسبنده ریزدانه در برابر گذشت زمان و در اعماق مختلف اندازه‌گیری و ثبت‌گردیده است. در استوانه ته- نشینی برای محاسبه سرعت سقوط از معادله دیفرانسیلی مک لافلین استفاده شده‌است. نتایج نشان‌داده در بازه زمانی ابتدایی کلیه آزمایشات، سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده روند افزایشی داشته و پس از آن روند کاهشی آغاز شده و نهایتاً با ته نشین‌شدن کلیه ذرات رسوبی به صفر می رسد. ماکزیمم سرعت سقوط برای کلیه آزمایشات در زمان ۱۳ الی ۱۵دقیقه از شروع آزمایش رخ داده که این امر به فرآیند فلوکوله شدن رسوبات چسبنده برمی‌گردد. همچنین بررسی تغییرات سرعت‌سقوط رسوبات با تغییرات غلظت نشان‌داده بیشترین میزان سرعت‌سقوط در غلظت اولیه ۳ گرم‌برلیتر رخ می‌دهد و با افزایش غلظت اولیه تا ۲۰ گرم‌برلیتر این میزان کاهش می‌یابد.

به منظور یکسان‌سازی شرایط آزمایش در حالت وجود تنش برشی و حالت سکون از معادلات تورن ، نیکلاس-اوکانر و کرون برای هردو شرایط سکون و وجود تنش برشی و غلظت‌های اولیه ۵، ۱۰ و۲۰ گرم‌برلیتردر محاسبه سرعت‌سقوط استفاده‌شده‌است. نتایج نشان‌داده که در حالت وجود تنش متوسط سرعت‌سقوط بیشتر از حالت سکون می‌باشد و تاثیر تنش و سرعت چرخش فلوم و رینگ در روند رشد فلوکها و افزایش سرعت سقوط مثبت است و در هر غلظت اولیه با افزایش تنش‌برشی در بستر مقدار غلظت‌تعادلی و غلظت هیندردشدن نیز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: رسوبات‌چسبنده، سرعت‌سقوط، استوانه ته‌نشینی، فلوم‌دوار

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول ۸

۱-۱ مقدمه ۸

۱-۲ اهمیت پژوهش حاضر ۱۰

۱-۳ اهداف مطالعه ۱۲

۱-۴ فرضیات تحقیق ۱۲

۱-۵ ساختار گزارش ۱۲

فصل دوم ۱۴

۲-۱ مقدمه: ۱۴

۲-۲ ساختار ترکیبی کاربیدهای رس ۱۵

۲-۲-۱ سیلیکا تتراهدرون ۱۵

۲-۲-۲ آلومینا اکتاهدرون: ۱۶

۲-۳ فلوکولاسیون رسوبات چسبنده: ۱۹

۲-۴ سرعت سقوط ۲۴

۲-۵ وسایل و روش‌های اندازه‌گیری سرعت سقوط رسوبات چسبنده ۴۷

۲-۵-۱ روش‌های اندازه‌گیری در محل (اندازه‌گیری درجا در مکان مشخص موردنظر) ۴۷

۲-۵-۲ روش‌های اندازه‌گیری در آزمایشگاه ۵۳

فصل سوم ۵۸

۳-۱ مواد ۵۸

۳-۱-۱ رسوبات ریزدانه مورد استفاده در آزمایشگاه ۵۸

۳-۲ تجهیزات آزمایشگاهی ۶۱

۳-۲-۱ استوانه ته‌نشینی ۶۱

۳-۲-۲ لوازم سنجش غلظت ۶۶

۳-۲-۳ فلوم‌دوار ۶۹

۳-۲-۴ دماسنج ۷۱

۳-۳ شرح آزمایشات ۷۱

۳-۳-۱ مدل فیزیکی استوانه ته‌نشینی ۷۱

۳-۳-۲ مدل فیزیکی فلوم‌دوار ۷۱

۳-۴ نتایج محاسبه غلظت در استوانه ته‌نشینی ۷۲

فصل چهارم ۷۵

۴-۱ مقدمه ۷۵

۴-۲ روش محاسبه سرعت‌سقوط در آزمایش‌های استوانه‌ته‌نشینی ۷۶

۴-۳ تغییرات غلظت در برابر عمق ۷۶

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

۴-۴ تغییرات غلظت در برابر زمان ۷۹
۴-۵ محاسبه سرعت‌سقوط در استوانه تەنشینی ۸۲
۴-۶ محاسبه سرعت‌سقوط با روش‌های سای محققان ۸۹
۴-۷ تغییرات سرعت‌سقوط نسبت به زمان در فلوم‌دوار ۹۰
۴-۸ تغییرات سرعت‌سقوط نسبت به زمان در استوانه تەنشینی ۹۹
فصل پنجم ۱۰۲
۵-۱ مقدمه ۱۰۲
۵-۲ نتایج و بحث ۱۰۳
۵-۳ پیشنهادها ۱۰۵
۶ منابع : ۱۰۶

فهرست جدول‌ها

عنوان شماره صفحه

جدول(۲-۱): دانه‌بندی سنگها و نام‌گذاری بر مبنای اندازه آنها(به‌نقل از آرمان۱۳۸۶) ۱۵
جدول(۲-۲): خصوصیات خطوط شکل(۲-۱۷) ۳۳
جدول(۲-۳): افزایش قطر متوسط ذرات معلق با افزایش تنش‌برشی بستر ۳۸
جدول(۲-۴): نام برخی ازمحققان و فرمول ارائه‌شده توسط آنها برای محاسبه سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده ۴۶
جدول(۲-۵): خصوصیات استوانه‌های ته‌نشینی برای اندازه‌گیری‌های در محل (الساندرا منتاونای و همکاران۲۰۰۶) ۵۰
جدول(۲-۶): برخی تحقیقات انجام‌شده بر روی استوانه‌های ته‌نشینی و تحکیم و نام محققان آنها (به نقل از صمدی بروجری،۲۰۰۴) ۵۵
جدول(۲-۷): بررسی تنش‌برشی برای ته‌نشینی رسوبات فلوکله‌شده در فلوم‌دوار توسط محققان مختلف(چاو، ۲۰۰۳) ۵۷
جدول(۲-۸): مشخصات برخی فلوم‌های دوار مورد استفاده محققان مختلف (به نقل ازصمدی،۲۰۰۴) ۵۷
جدول(۳-۱): پاره‌ای از خصوصیات رسوبات مورد استفاده در آزمایش ۶۰
جدول(۳-۲): مشخصات استوانه ته‌نشینی دانشگاه شهرکرد ۶۱
جدول(۳-۳): مشخصات فنی همزن مورد استفاده ۶۴
جدول(۳-۴): وسایل مورد نیاز جهت سنجش غلظت نمونه‌های گرفته‌شده ۶۸
جدول(۳-۵): نمونه ای از محاسبات سنجش غلظت ۷۲
جدول(۳-۶): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۵ دقیقه ۷۲
جدول(۳-۷): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۱۵ دقیقه ۷۳
جدول(۳-۸): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۳۰ دقیقه ۷۳
جدول(۳-۹): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۶۰ دقیقه ۷۳
جدول(۳-۱۰): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۱۲۰دقیقه ۷۳
جدول(۳-۱۱): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت ۳ گرم‌برلیتر در زمان ۲۴۰دقیقه ۷۴
جدول(۳-۱۲): داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت۳ گرم‌برلیتر در زمان ۴۸۰دقیقه ۷۴
جدول(۴-۱): سطح زیر منحنی غلظت-عمق برای غلظت اولیه ۳ گرم برلیتر ۸۲
جدول(۴-۲): سطح زیر منحنی غلظت-عمق برای غلظت اولیه ۵ گرم‌برلیتر ۸۲
جدول(۴-۳): سطح زیر منحنی غلظت-عمق برای غلظت اولیه ۱۰ گرم برلیتر ۸۳
جدول(۴-۴): سطح زیر منحنی غلظت-عمق برای غلظت اولیه ۱۵ گرم‌برلیتر ۸۳
جدول(۴-۵): سطح زیر منحنی غلظت-عمق برای غلظت اولیه ۲۰ گرم‌برلیتر ۸۳
جدول(۴-۶): سرعت سقوط متوسط برای غلظت اولیه ۳ گرم برلیتر ۸۴
جدول(۴-۷): سرعت سقوط متوسط برای غلظت اولیه ۵گرم‌برلیتر ۸۴
جدول(۴-۸): سرعت سقوط متوسط برای غلظت اولیه ۱۰ گرم برلیتر ۸۴
جدول(۴-۹): سرعت سقوط متوسط برای غلظت اولیه ۱۵ گرم برلیتر ۸۵

فهرست جدول‌ها

عنوان شماره صفحه

جدول(۴-۱۰): سرعت‌سقوط متوسط برای غلظت اولیه ۲۰ گرم برلیتر ۸۵

جدول(۴-۱۱): سرعت‌های مختلف چرخش فلوم دوار ناشی از اختلاف سرعت‌خطی رینگ و فلوم (نادری، ۱۳۸۹)..... ۸۹

جدول(۴-۱۲): متوسط غلظت رسوبات دراعماق مختلف در فلوم‌دوار (نادری، ۱۳۸۹) ۹۰

جدول(۴-۱۳): آزمایش‌های به تعادل رسیده در فلوم‌دوار و میزان غلظت در حال تعادل(نادری، ۱۳۸۹) ۹۰

جدول(۴-۱۴): سرعت‌سقوط محاسبه‌شده در فلوم‌دوار با غلظت‌متوسط و فرمول کرون (میلیمتربرثانیه) ۹۱

جدول(۴-۱۵): سرعت‌سقوط محاسبه‌شده در فلوم‌دوار با غلظت متوسط و فرمول تورن (میلیمتربرثانیه)..... ۹۲

جدول(۴-۱۶): سرعت‌سقوط محاسبه‌شده در فلوم‌دوار با غلظت‌متوسط و فرمول ریکلاس واوکانر..... ۹۲

جدول(۴-۱۷): محاسبه سرعت‌سقوط در آزمایشهای به تعادل‌رسیده در فلوم‌دوار(میلیمتربرثانیه) (نادری،۱۳۸۹)..... ۹۹

جدول(۴-۱۸): سرعت‌سقوط محاسبه‌شده دراستوانه ته‌نشینی (میلیمتر برثانیه)..... ۱۰۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل(۲-۱): نمای شماتیک واحد بزرگی سازه‌ی تترا هدرون ۱۶
شکل(۲-۲): نمای شماتیک واحد بزرگی آلومینا اکتا هدرون ۱۶
شکل(۲-۳): ساختمان اتمی کائولوریت ۱۷
شکل(۲-۴): ساختمان اتمی اایت ۱۷
شکل(۲-۵): ساختمان اتمی مونتموریلونیت ۱۸
شکل (۲-۶): نمای شماتیک رسهای کائولوریت، ایت و مونتموریلونیت ۱۹
شکل(۲-۷): نمایی از شکل فلوکها ۲۰
شکل(۲-۸): ساختار ژئومتری کاری کائولینیت ۲۲
شکل(۲-۹): اندازه ذرات منفرد رس و فلوکها و گروه فلوکها (مکدوئل و اوکانر۱۹۸۶) ۲۲
شکل(۲-۱۰): رابطه بین مدل اندازه فلوکها، غلظت و تنش‌برشی جریان (دای ۱۹۹۶) ۲۳
شکل(۲-۱۱): سیکل ته‌نشینی و تعلیق دوباره فلوکها با شکست دوباره آنها ۲۳
شکل(۲-۱۲): دیاگرام غلظت رسوبات در یک لوله استوانه ته‌نشینی (McLaughlin) ۲۶
شکل(۲-۱۳): نمودار تغییرات $\overline{W}$ در مقابل زمان ۲۷
شکل(۲-۱۴): دیاگرام پروفیل غلظت رس بنتونیت و زاج سفید در آب ۲۷
شکل(۲-۱۵): ارتباط سرعت سقوط با میزان غلظت ۲۹
شکل(۲-۱۶): مقایسه نتایج چگالی موثر فلوکها توسط محققان مختلف ۳۱
شکل(۲-۱۷): رابطه بین غلظت وسرعت سقوط ۳۳
شکل(۲-۱۸): حجم کنترل مخلوط آب و رسوب ۳۵
شکل(۲-۱۹): سرعت سقوط کائولینیت در آب مقطر نسبت اندازه رسوبات، سرعت گردش فلوم برابر ۷رادیان بر ثانیه ۳۶
شکل(۲-۲۰): غلظت کائولینیت در آب مقطرنسبت به اندازه رسوبات، سرعت گردش فلوم برابر ۷ رادیان برثانیه ۳۷
شکل(۲-۲۱): منحنی تغییرات سرعت سقوط نسبت به زمان، مخلوط کائولینیت در آب مقطر، سرعت گردش فلوم ۳۷
شکل(۲-۲۲): تغییرات منحنی دانه‌بندی در طی فرآیند ته‌نشینی، مخلوط کائولینیت درآب مقطر، سرعت گردش فلوم‌دوار ۷ رادیان در هر دقیقه ۳۸
شکل(۲-۲۳): سرعت‌سقوط در مقابل قطر فلوکها ۴۰
شکل(۲-۲۴): ته‌نشینی فلوکها در مقابل غلظت ۴۰
شکل(۲-۲۵): تصویر شماتیک از لایه لوتوکلاین و لایه CBS ۴۱
شکل(۲-۲۶): رابطه بین غلظت و سرعت‌سقوط متوسط ذرات در رومئودایه (مورتن پیچراب و الئو مایکلسون ۲۰۰۹). ۴۳
شکل(۲-۲۷): تاثیر تنش‌برشی بر روی فرآیند فلوکلاسیون و سرعت‌سقوط ۴۴
شکل(۲-۲۸): تغییرات سرعت‌سقوط نسبت به غلظت وگرادیان برشی در رومئودایه ۴۵
شکل(۲-۲۹): کاربرد دوربین ویدئویی در اندازه‌گیری‌های درجای سرعت‌سقوط در زیآب ۴۷
شکل(۲-۳۰): شکل شماتیک دوربین لیزری برای اندازه‌گیری قطر ذرات و سرعت آنها ۴۸
شکل(۲-۳۱): دستگاه لیزر برای اندازه‌گیری سرعت‌سقوط و غلظت ۴۸
شکل(۲-۳۲): وسایل اندازه‌گیری سرعت‌سقوط درجا ۴۹

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل(۲-۳۳): منحنی جرم تجمعی نمونه‌های گرفته‌شده از کف استوانه ته‌نشینی ۵۲
شکل(۲-۳۴): تجهیزات مورد نیاز برای یک استوانه ته‌نشینی (U.S.Army, 1987). ۵۴
شکل(۲-۳۵): استوانه ته‌نشینی وتحکیم (صمدی ۲۰۰۴) ۵۴
شکل(۲-۳۶): نمایی شماتیک از فلوم‌دوار ، درپوش و موتور محرکه بالا و پایین ۵۶
شکل(۳-۱): تصویر ماهواره‌ای سد بیلوط ۵۹
شکل(۳-۲): وضعیت سد در هنگام برداشت رسوبات مورد نیاز آزمایش ۶۰
شکل(۳-۳): دانه‌بندی رسوبات ۶۱
شکل(۳-۴): نمایی از استوانه ته‌نشینی و اجزای آن ۶۲
شکل(۳-۵): نمایی از مخزن تخلیه استوانه ته‌نشینی ۶۲
شکل(۳-۶): نمایی از مخزن استوانه ته‌نشینی واجزای آن ۶۳
شکل(۳-۷): پمپ کفکش یک اینچی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد ۶۴
شکل(۳-۸): نمایی از شیرهای نمونه‌گیری استوانه ته‌نشینی ۶۵
شکل(۳-۹): نمایی از استوانه ته‌نشینی حاوی مخلوط آب و رسوب ۶۵
شکل(۳-۱۰): نمایی ترازوهای مورد استفاده در آزمایش ۶۶
شکل(۳-۱۱): نحوه صحیح قرائت حجم مایع در مزور ۶۶
شکل(۳-۱۲): نمایی از مزور و نمونه‌های گرفته‌شده ۶۷
شکل(۳-۱۳): قوطی‌های فلزی جهت سنجش غلظت نمونه‌ها ۶۷
شکل(۳-۱۴): آون‌های موجود در آزمایشگاه جهت سنجش غلظت ۶۸
شکل(۳-۱۵): آبپاش جهت شست‌وشوی مزور ۶۸
شکل(۳-۱۶):نمای شماتیک فلوم‌دوار دانشگاه‌شهرکرد ۶۹
شکل(۳-۱۷): اجزای فلوم‌دوار مستقر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد ۷۰
شکل(۳-۱۸):دماسنج جیوه‌ای موجود در آزمایشگاه ۷۱
شکل(۴-۱): پروفیل غلظت برای غلظت اولیه ۳ گرم بر لیتر ۷۶
شکل(۴-۲): پروفیل غلظت برای غلظت اولیه ۵ گرم بر لیتر ۷۷
شکل(۴-۳): پروفیل غلظت برای غلظت اولیه ۱۰ گرم بر لیتر ۷۷
شکل(۴-۴): پروفیل غلظت برای غلظت اولیه ۱۵ گرم بر لیتر ۷۸
شکل(۴-۵): پروفیل غلظت برای غلظت اولیه ۲۰ گرم بر لیتر ۷۸
شکل(۴-۶): تغییرات غلظت در برابر زمان برای غلظت اولیه ۳ گرم برلیتر در اعماق مختلف ۷۹
شکل(۴-۷): تغییرات غلظت در برابر زمان برای غلظت اولیه ۵ گرم برلیتر در اعماق مختلف ۸۰
شکل(۴-۸): تغییرات غلظت در برابر زمان برای غلظت اولیه ۱۰ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۰
شکل(۴-۹): تغییرات غلظت در برابر زمان برای غلظت اولیه ۱۵ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۱
شکل(۴-۱۰): تغییرات غلظت در برابر زمان برای غلظت اولیه ۲۰ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۱
شکل(۴-۱۱): سرعت‌سقوط متوسط در برابر زمان، برای غلظت اولیه ۳ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۶

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل(۴-۱۲): تغییرات سرعت‌سقوط در برابر زمان، برای غلظت اولیه ۵ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۶
شکل(۴-۱۳): سرعت‌سقوط در برابر زمان، برای غلظت اولیه ۱۰ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۷
شکل(۴-۱۴): تغییرات سرعت‌سقوط در برابر زمان، برای غلظت اولیه ۱۵ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۸
شکل(۴-۱۵): تغییرات سرعت‌سقوط در برابر زمان، برای غلظت اولیه ۲۰ گرم برلیتردر اعماق مختلف ۸۸
شکل(۴-۱۶): تغییرات سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت ۹۳
شکل((۴-۱۷): تغییرات سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول کرون ۹۳
شکل(۴-۱۸): تغییرات سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول تورن ۹۴
شکل(۴-۱۹): تغییرات سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول ریکلاس- اوکانر ۹۴
شکل(۴-۲۰): تغییرات سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول کرون ۹۵
شکل(۴-۲۱): سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول تورن ۹۶
شکل(۴-۲۲): سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول ریکلاس-اوکانر ۹۶
شکل(۴-۲۳): سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول کرون ۹۷
شکل(۴-۲۴): سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول تورن ۹۷
شکل(۴-۲۵): سرعت‌سقوط با افزایش زمان و غلظت، فرمول ریکلاس واوکانر ۹۸
شکل(۴-۲۶): تغییرات غلظت تعادلی با اختلاف سرعت خطی رینگ و فلوم در غلظتهای اولیه مختلف ۹۸
شکل(۴-۲۷): تغییرات سرعت‌سقوط غلظت اولیه ۵ گرم برلیتر در استوانه ته‌نشینی ۱۰۱
شکل(۴-۲۸): تغییرات سرعت‌سقوط غلظت اولیه ۱۰ گرم برلیتر در استوانه ته‌نشینی ۱۰۱
شکل(۴-۲۹): تغییرات سرعت‌سقوط غلظت اولیه ۲۰ گرم برلیتر در استوانه ته‌نشینی ۱۰۱

فصل اول

کلیات

۱ ـ۱ مقدمه:

رسوب نتیجه اثر و عملکرد همزمان مجموعه عواملی است که ابتدا موجب فرسایش خاک در سطح حوضه و در مسیر جریان آب از دورترین نقطه حوضه تا خروجی آن شده، سپس منجر به تولید رسوب می شود. رسوب تولیدی که قسم تی یا تمامی خاک تخریب شده و فرسایش یافته‌است در مسیر انتقال خود ممکن است در سطح حوضه و یا در بستر آبراهه ها و رودخانه های منتقل کننده خود بویژه مخازن سدها و دیگر سازه هایی که در مسیر رودخانه ساخته می‌شوند، بجاگذاشته‌شده و یا در دشتهای سیلابی ته‌نشین شود.

متلاشی‌شدن تدریجی پوسته جامد کره زمین، تحت تاثیر عوامل مختلف و انتقال مواد حاصل از آن توسط جریانهای سطحی و باد، فرسایش بستر رودخانه‌ها، فرسایش بستر کانال و انتقال مواد خارجی موجود در اطراف کانال به داخل آنها، عمده‌ترین منابع تشکیل رسوب در کانالهای آبیاری می‌باشند. رسوبات ته‌نشین‌شده در این کانالها دو نوعند، رسوبات درشت‌دانه یا غیرچسبنده که شامل ماسه و ذرات درشت‌تر از آن می‌شوند و نوع دوم شامل رسوبات ریزدانه می‌باشد. این رسوبات که اصطلاحاً رسوبات‌چسبنده نامیده می‌شوند، رسوباتی هستند که بین ذرات آنها پیوند و چسبندگی وجود داشته باشد(نادری، ۱۳۸۹).

بررسی چگونگی حرکت و ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده، به علت دخالت ماهیت شیمیایی و الکترومغناطیسی ذرات، تحقیقات در این زمینه را اندکی مشکل نموده‌است. این مسئله در رودخانه‌هایی که وجود این ذرات در بار رسوبی آنها قابل ملاحضه‌است، باعث تأثیر جدی در برآورد بار رسوب معلق می‌گردد. مضافاً اینکه این ذرات از محلهای آبگیری وارد کانالهای آبیاری شده و با ته‌نشین‌شدن در کانالها مشکلات فراوانی را ایجاد می‌کنند.

ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده در مخازن سدها، رودخانه‌ها، کانالهای آبیاری و نیز در معابر کشتیرانی از مهمترین مشکلاتی است که همواره در زمین ه بهره‌برداری و مطالعه منابع آب مطرح می باشد. برای بدست آوردن روابط حاکم بر رسوبات چسبنده، نیاز به شناسایی خصوصیات فیزیکی و رفتاری این رسوبات می باشد. سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده به‌شدت تحت‌تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب بوده و خاصیت فلوکله‌شدن رسوبات‌چسبنده باعث تغییرات زیادی در این پارامتر می گردد(آرمان، ۱۳۸۶). ارزیابی و بررسی روند ته‌نشینی و تحکیم رسوبات‌چسبنده در مخازن سدها و سواحل یکی از موضوعات و مسایل مهم است که در طرح های مختلف رسوب زدایی و کنترل رسوب ، از جمله پروژه های لایروبی و عملیات رسوب‌شویی هیدرولیکی سدها نقش موثری دارد. متأسفانه تاکنون معیارهای طراحی نیز نتوانسته‌اند بطورکامل با این پدیده مقابله کنند و رسوبات ریزدانه چسبنده حتی در کانالهایی ته‌نشین می‌شوند که معیارهای استاندارد موجود در طراحی آن‌ها رعایت‌شده‌است. در مخازن سدها نیز رسوبات ریزدانه چسبنده ته‌نشین‌شده و راندمان تله‌اندازی را به ۱۰۰ درصد نزدیک کرده‌اند. این مسأله علاوه بر کاهش عمر مفید مخازن باعث‌شده زلالی آب رهاشده از مخازن آب موجود، اکولوژی و مورفولوژی رودخانه پایین دست را تغییر دهد. در سواحل و بنادر ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده موجب افزایش هزینه لایروبی شده‌است و در بسیاری از موارد عملاً مبارزه با این پدیده غیر-ممکن است(صمدی، ۲۰۰۴). وجود رسوبات‌چسبنده در بسیاری از آبراهه‌ها به صورت یک معضل‌بوده و به شکلی جدی با کیفیت آب مرتبط می‌باشد. بسیاری از آلودگی‌ها مانند فلزات سنگین، آفت‌کشها و کودهای شیمیایی در مرحله اول جذب سطح رسوبات‌چسبنده می‌شوند. رسوبات‌چسبنده برای مواد سمی نقش حامل دارند و به شکلی جدی کیفیت آب به حمل این رسوبات وابسته‌است. سموم می‌توانند هم به صورت سطحی جذب رسوبات شوند و هم به صورت محلول در آب باشند. سموم جذب‌شده بعد از ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده در بستر رودخانه، می‌توانند از ستون آب حذف‌شوند اما ممکن است بر اثر فرسایش رسوبات بستر دوباره به ستون آب بازگشته و درآب محلول شوند(هوانگ و همکاران ، ۲۰۰۶). علاوه بر آلودگی‌های جذب‌شده به این رسوبات، خود رسوبات بسیاری از مواقع برای کیفیت آب، معضلی جدی هستند. کدر بودن آب به علت وجود ذرات رسوب می‌تواند عبور نورخورشید را محدودترکرده و دسترسی به مواد غذایی را کاهش دهد، بنابراین می-تواند بر زندگی آبزیان تأثیر منفی بگذارد. همچنین کدربودن آب، هزینه‌های تصفیه آب را نیز افزایش خواهد داد(هوانگ وهمکاران، ۲۰۰۶).

رفتار مکانیکی رسوبات‌چسبنده تحت‌تاثیر چسبندگی بین ذرات است که در اثر نیروهای سطحی و الکترو - شیمیایی بین ذرات که به علت وجود رس می‌باشد، ایجاد می گردد. این نیروها موجب تحت تاثیر قراردادن پدیده‌های مهم مانند فولکوله شدن، شدت‌رسوبگذاری، تحکیم، زاویه‌ایستایی و مقاومت در برابر فرسایش می - گردد و همین مساله سبب پیچیدگی در بررسی پدیده های هیدرولیکی مربوط به رسوبات‌چسبنده شده‌است. سرعت‌سقوط ذرات رسوبی از جمله متغیرهای مهم در برآورد میزان رسوب بار معلق و بار مواد بستر می باشد. این پارامتر در طراحی و مدلسازی فیزیکی جوضچه های ترسیب نقش بسزایی دارد و عدم برآورد دقیق آن

می‌تواند خطاهای زیادی در برآورد بار رسوب و یا طراحی ابعاد حوضچه ته نشینی ایجاد نماید. در حال حاضر تعیین این پارامتر با استفاده از روابط یا نمودارهای تجربی و یا رابطه استوکس انجام می پذیرد که عمدتا در شرایط آب زلال استخراج شده اند(آرمان، ۱۳۸۶). در اکثر معادلات و روابط موجود برای تعیین سرعت سقوط ذرات رسوبی از قطر ذرات یا فلوکها بعنوان یکی از پارامترها استفاده‌شده‌است، بدون توجه به این نکته که در فرآیند ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده در اعماق مختلف و در زمانهای مختلف قطر مواد رسوبی متغیر است . برای برطرف نمودن این نقص در این تحقیق از پارامتر غلظت که پارامتری بسیار مهم در فرآیند ته نشینی رسوبات-چسبنده است، برای محاسبه سرعت‌سقوط استفاده‌شده‌است.

۱ ۴ اهمیت پژوهش حاضر:

از شایع‌ترین معضلات وجود رسوبات چسبنده ورود آن ها به شبکه های آبیاری می باشد که از مهمترین عوارض آن میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

۱) درنتیجه ته‌نشینی مواد رسوبی درکانال‌ها، ظرفیت جریان آب کانال کم می‌شود.
۲) قطع آب برای لایروبی کانال‌ها باعث قطع جریان آب به طرف مزارع می‌شود.
۳) هزینه لایروبی کانال‌ها بسیار گران تمام می‌شود.
۴) در اثر ته‌نشینی رسوبات در مخزن سدها راندمان تله‌اندازی مخزن افزایش می‌یابد و سبب کاهش عمر مفید مخزن می‌شود.
۵) رسوبات چسبنده نقش حامل مواد سمی را دارند و در کیفیت نهایی آب اثر گذارند.
۶) سالانه حجم وسیعی از ظرفیت انتقال و ذخیره سازه های انتقال و نگهداری آب به علت رسوب گذاری کاسته می‌شود.
۷) در استوانه ته‌نشینی به بررسی سرعت‌سقوط در حالت سکون پرداخته می‌شود که شرایط بررسی این پارامتر در مخزن سد را مدل‌سازی می‌کند.
۸) در فلوم‌دوار به بررسی سرعت سقوط در اثر وجود تنش برشی تحت غلظت های مختلف پرداخته شده-است که شرایط بررسی این پارامتر در رودخانه ها را شبیه‌سازی می‌کند. با مقایسه هر دو روش تاثیر وجود تنش در بررسی سرعت سقوط تحت غلظت های مختلف را بررسی نموده و نتایج گزارش می -شود.

کنترل رسوبات در ورودی آبگیر شبکه های انتقال و توزیع آب از اهمیت زیادی برخوردار است . رسوب ورودی به آبگیر در قسمت‌های مختلف آبراهه‌ها ته نشین‌شده و ظرفیت حمل جریان را کاهش می‌دهد که باعث افزایش هزینه‌های نگهداری و لایروبی سامانه می‌گردد.

در چند دهه‌اخیر هر چند سدسازی از نظر کمی روند افزایشی داشته، ولی معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهمترین عامل در کوتاه‌کردن عمر مفید سدها مطرح بوده‌است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب متروکه شده اند. شدت پدیده رسوبگذاری در سدهای استان خوزستان به حدی است که سالانه حدود ۹۰ میلیون و ۵۰۰ هزار متر مکعب معادل مخزن یک سد بزرگ از ظرفیت مخازن سدهای خوزستان

کاسته می‌شود. این موضوع در آینده‌ای نزدیک، سبب رسیدن رسوبات تا دهانه ورودی نیروگاه‌های سدهایی که بیش از ۳۰ سال عمر دارند، شده و خروج آنها از سیکل تولید برق را به همراه خواهدداشت(نادری، ۱۳۸۹).

در اثر رسوبگذاری هر ساله بطور متوسط ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد از حجم کل ذخیره سدها از بین می رود و برای جبران کاهش این ظرفیت، نیاز است سالانه بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ سد بزرگ در جهان ساخته شود. برای مثال به طور معمول در هر سال هزینه های رسوب در منطقه خوزستان معادل ۱۱۳۹/۹۱میلیون دلار تخمین زده می‌شود (آرمان، ۱۳۸۶).

رسوبگذاری در مخازن، نتیجه انتقال مواد فرسایش یافته خاکهای حوضه‌آبریز بالادست مخزن است. زمانی که سرعت جریان آب و در نتیجه تنش‌برشی حاصله در کف و سواحل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها از یک حد آستانه-ای فراتر رود، فرسایش و آبشستگی اتفاق میافتد. بخشی از ذرات فرسایش‌یافته قبل از رسیدن به مخزن ممکن است در قسمتهای مختلف رودخانه ته‌نشین شوند، اما بخش عمده‌ای از آن در مخازن ساخته‌شده در مسیر رودخانه ته نشین می‌شوند. ته‌نشینی رسوبات در مخازن آثار بسیار نامطلوبی را مانند کم‌شدن حجم مفید مخزن، کاهش پایداری سد، اختلال در عملکرد دریچه‌های تحتانی، عملکرد نامناسب آبگیرها و سرریزشدن آب مخزن بدنه و کاهش کیفیت‌آب مصرفی به وجود می‌آورد(آرمان، ۱۳۸۶).

بحث رسوب یکی از مسایل اساسی در آبگیری از رودخانه ها است که مهندسین و طراحان تاسیسات آبی با آن مواجه هستند. در آبگیری از رودخانه و طراحی یک سازه انحراف باید میزان رسوبات ورودی به کانال آبگیر به حداقل مقدار ممکن برسد و در صورت نیاز جداسازی رسوبات در کانال آبگیر نیز انجام شود. در آبگیری به روش پمپاژ، بار رسوبی صدمات زیادی به بخش هایی از تجهیزات مربوط می‌رساند. قطعاتی از این تجهیزات که در تماس با رسوبات می باشند در مدت زمان کوتاهی ممکن است صدمه دیده، کارایی آنها پایین آمده و تعمیر آنها هزینه زیادی را به همراه خواهد داشت. در این حالت رسوبات باید قبل از ورود به سامانه پمپ ها از جریان جدا شوند.

یکی از مشکلات اساسی که امروزه فراروی تأسیسات ذخیره‌سازی، آبگیری، توزیع و انتقال آب‌های سطحی قرار دارد، مسئله انتقال رسوب، رسوب گذاری و خسارات ناشی از آن است. با احداث سدهای مخزنی بر روی رودخانه‌ها رژیم هیدرولوژیکی طبیعی و نیز خصوصیات هیدرولیکی تغییر می‌نماید و به علت کاهش سرعت آب ورودی به مخزن، بخش عمده‌ای از رسوبات در حال حمل ته نشین می‌شوند. رسوب‌گذاری انجام‌شده باعث کم‌شدن حجم ذخیره مخازن و نیز کاهش عمر مفید سدها می گردد. تخلیه رسوب از مخازن سدها نیز مشکلات مورفولوژیکی و زیست‌محیطی متنوعی را برای بازه‌های پایین‌دست به‌وجودمی‌آورد.

بر اساس آمار ارائه شده سدهای کارده و جیرفت به ترتیب با ۹۴/۳ و ۷۲ درصد بیشترین کاهش حجم سالیانه مخزن در اثر رسوب گذاری و سدهای لار و کرج به ترتیب با ۲۲ و ۲۶ درصد کمترین کاهش سالیانه حجم مخزن را به‌خود اختصاص‌داده‌اند. متوسط کاهش حجم سالیانه‌ی مخازن کشور را ۱۵/۱درصد و متوسط حجم رسوب‌گذاری سالیانه‌ی مخازن را معادل ۳۱/۱۱۱ میلیون‌مترمکعب است(حبیبی و خوجینی، ۱۳۸۶).

زیانهای اقتصادی و اجتماعی رسوب عبارتند از:

۱) زیان ناشی از پر شدن سدهای کشور

۲) خسارت ناشی از وارد شدن رسوب در کانالها و انهار : هر ساله مقدار زیادی رسوب در انهار و کانالهای آبیاری ته نشین می گردد که به منظور انجام کارکرد پیش بینی‌شده آنها لازمست لایروبی شوند و میلیونها تومان هزینه صرف لایروبی آنها شود.

۳) زیانهای ناشی از رسوب در کفه های کویری و بیابانی و یا سواحل دریا : نظر به اینکه بخشی از رواناب فصلی و دائمی در کفه‌های داخلی و نقاط پست بیابانی ریخته می‌شود. بر جای ماندن رسوب در اراضی، نه تنها بخشی از اراضی حاشیه‌ای را از دسترس خارج می کند، بلکه پس از تبخیر آب در تابستان ذرات رسوب توسط بادهای شدید فصلی جابه جاشده و در مسیر خود موجب ازدیاد سائیدگی سطح راههای آسفالته می‌شوند.

بررسی سرعت سقوط ذرات رسوبی از جمله متغیرهای مهم در برآورد میزان رسوب بار معلق و بار مواد بستر می باشد. این پارامتر در طراحی و مدلسازی فیزیکی حوضچه های ترسیب نقش بسزایی دارد و عدم برآورد دقیق آن می‌تواند خطاهای زیادی در برآورد بار رسوب و یا طراحی ابعاد حوضچه ته‌نشینی ایجاد نماید.

۱ ۳ اهداف مطالعه:

در این مطالعه سعی بر آن است به اهداف زیر پرداخته‌شود:

۱- بررسی سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده در مدل آزمایشگاهی استوانه ته‌نشینی تحت شرایط غلظت های اولیه متفاوت و بررسی صحت معادله مک‌لافلین در محاسبه سرعت‌سقوط در شرایط سکون.

۲- بررسی سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده در فلوم‌دوار تحت شرایط سرعت، تنش های‌برشی و غلظت‌های- اولیه متفاوت.

۳- مقایسه سرعت‌سقوط رسوبات‌چسبنده در دو مدل استوانه ته نشینی و فلوم‌دوار تحت شرایط غلظت‌های اولیه متفاوت.

فلوم‌دوار در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد موجود و استوانه ته نشینی همزمان با تحقیق فوق ساخته‌شده است.

۱ ۴ فرضیات تحقیق:

۱- سرعت‌سقوط بدست آمده در مدل فیزیکی استوانه ته نشینی و فلوم دوار تحت شرایط جریان تفاوت معنی‌دار ندارند.

۲- نتایج بدست‌آمده با نتایج موجود ارائه‌شده توسط سایر محققان تفاوت معنی‌دار ندارند.

۱ ۵ ساختار گزارش:

این تحقیق متشکل از پنج فصل است که پس از بیان یک مقدمه مختصر و بیان اهمیت موضوع، در فصل دوم به بررسی منابع و خصوصیات رسوبات چسبنده و مطالعه کارهای انجام‌شده در زمینه محاسبه سرعت- سقوط و پیشینه استفاده از مدلهای فیزیکی فلوم دوار واستوانه ته‌نشینی پرداخته‌شده‌است. در فصل سوم به توصیف مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی، نحوه‌کار با مدل، مواد آزمایش، شرح آزمایشها، زمان انجام آن‌ها و چگونگی برداشت نتایج حاصل در طول آزمایش‌ها پرداخته‌شده‌است. در فصل‌چهارم با بحث برروی نتایج