بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم
صراط الذين أنعمت عليهم غير المغضوب عليهم ولا الضالين

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی

بررسی سرعت آستانه ته‌نشینی رسوبات معلق چسبنده درجریان‌های باز در سطوح مختلف شوری با استفاده از مدل فیزیکی فلوم دوار

استادان راهنما:

دکتر حسین صمدی بروجنی

دکتر روح‌اله فتاحی نافچی

پژوهشگر:

محمود اسکینی

اسفند ماه ۱۳۹۰

دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان‌نامه آقای محمود اسکینی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی با عنوان بررسی سرعت آستانه ته‌نشینی رسوبات معلق چسبنده درجریان‌های باز در سطوح مختلف شوری با استفاده از مدل فیزیکی فلوم دوار در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۷ با حضور داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۶۳ مورد تصویب نهایی قرار گرفته است.

۱. **استادان راهنما پایان نامه**

دکتر حسین صمدی بروجنی ، (استادیار) .....

دکتر روح‌اله فتاحی نافچی ، (استادیار) .....

۲. **استادان داور پایان نامه**

دکتر بهزاد قربانی، (دانشیار) .....

دکتر منوچهر حیدرپور، (استاد) .....

دکتر سید حسن طباطبائی
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی

سپاس ایزد منان را که نعمت حیات عطا نمود و فرصت آموختن.

از خانواده مهربان و همسر صبورم

که در کلیه مراحل این پایان نامه یار و یاورم بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به:

همسر عزیزم،

دستان سخاوتمند پدر و مادر مهربانم

و قلبهای پر مهر برادران و خواهرانم.

چکیده

رسوبات چسبنده رسوباتی هستند که اندازه‌های کوچک، در حد چند دهم میکرون تا چندین میکرون داشته و دارای خاصیت چسبندگی می‌باشند. میزان ته‌نشینی این رسوبات به دلیل ریزدانه بودن باید ناچیز باشد اما فلوکوله شدن این رسوبات باعث افزایش میزان ته‌نشینی می‌شود .در این تحقیق، آزمایش‌هایی در یک فلوم دایره‌ای اجرا شد . نمک مورد نیاز از چشمه‌های آب شور کوهرنگ و رسوبات مورد استفاده، از سد خاکی پیربلوط واقع در۲۰کیلومتری شهرکرد برداشت شد. این رسوبات متشکل از ۶۳/۲٪ رس، ۳۶/۱٪ سیلت و ۰/۷٪ ماسه بود. پروفیل سرعت و تنش برشی جریان (در بستر) با استفاده از دستگاه سرعت سنج ADV و غلظت رسوبات به روش خشک‌کردن و توزین اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سطوح مختلف شوری تقریبا نقش یکسانی در میزان ته‌نشینی رسوبات دارند و به طور کلی روند ته‌نشینی سوبات را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در تنش‌برشی بالا (۰/۵۹۳ N/m^2 معادل سرعت ۰/۳۵۰m/s)) اعمال شوری در به تعادل رسیدن غلظت تاثیر ندارد و همانند آزمایش‌های انجام شده در آب غیر شور بین بستر و جریان حاوی رسوب به لحاظ ته‌نشین شدن رسوبات و جدا شدن رسوبات ته‌نشین شده از بستر تعادل به وجود آمد. اما در تنش‌های برشی پایین (۰/۲۹۹ N/m^2 و۰/۱۰۹ معادل سرعت‌های ۰/۲۵۶m/s و۰/۱۴۱) وجود شوری باعث می‌شود غلظت رسوبات معلق هرگز به تعادل نرسد. همچنین بررسی توام تاثیر شوری و تنش برشی نشان داد که در فرآیند ته‌نشینی اثر تنش‌برشی بر تاثیر خاصیت الکتروشیمیایی املاح غالب است و در هنگام طراحی کانالهای انتقال آب‌های حاوی املاح و رسوب صرفا توجه به تنش‌برشی می‌تواند معیارهای رسوب‌گذاری را تامین نماید.

واژگان کلیدی: رسوبات چسبنده، فلوم دوار، غلظت رسوبات چسبنده معلق، شوری و غلظت تعادلی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول

۱-۱) مقدمه ۱
۱-۲) اهداف مطالعه ۳
۱-۳) ضرورت تحقیق ۳
۱-۴) ساختار گزارش ۴

فصل دوم

۲-۱) مقدمه ۶
۲-۲) ساختار ترکیبی کانی‌های رس ۷
۲-۲-۱) چهار وجهی سیلیکا ۸
۲-۲-۲) هشت وجهی آلومینا (یا آهن یا منیزیم) ۸
۲-۳) فلوکوله‌شدن رسوبات چسبنده ۱۱
۲-۳-۱) برخورد بین ذرات ۱۱
۲-۳-۲) چسبیدن ذرات به یکدیگر ۱۲
۲-۳-۲-۱) خاصیت چسبندگی ذرات رس ۱۲
۲-۳-۲-۲) وجود نمک در آب ۱۲
۲-۳-۲-۲) فعالیت میکروبیولوژیکی ۱۲
۲-۴) عوامل مؤثر برمیزان فلوکوله‌شدن ذرات ۱۲
۲-۵) محدوده اندازه ذرات برای فلوکولاسیون ۱۳
۲-۶) خصوصیات ته‌نشینی مخلوط‌های معلق، کلوئیدها و فلوکولها ۱۵
۲-۷) مکانیک ذرات کروی در حال سقوط در آب ساکن ۱۵
۲-۸) سرعت سقوط فلوک‌های تشکیل‌شده ۱۷
۲-۹) عوامل موثر بر سرعت سقوط ۲۲
۲-۹-۱) ترکیبات رسوبات ۲۲
۲-۹-۱-۱) اندازه ذرات رسوب ۲۲
۲-۹-۱-۲)کانی رس ۲۲
۲-۹-۱-۳) مواد آلی ۲۳

عنوان صفحه

۲-۹-۱-۴) درصد رطوبت ۲۳
۲-۹-۲) ترکیبات فیزیکی و شیمیایی آب ۲۳
۲-۹-۲-۱) میزان نمک ۲۳
۲-۹-۲-۲) درجه حرارت ۲۳
۲-۹-۲-۳) PH محلول ۲۳
۲-۹-۲-۴) وجود یون های درون آب ۲۳
۲-۹-۲-۵) غلظت رسوبات ۲۴
۲-۱۰) ته‌نشینی رسوبات‌چسبنده ۲۴
۲-۱۰-۱) تنش‌برشی بحرانی ته‌نشینی ۲۴
۲-۱۰-۲) انواع ته‌نشینی رسوبات چسبنده ۲۶

فصل سوم

۳-۱) مواد مورد استفاده ۳۸
۳-۱-۱) رسوب مورد نیاز برای آزمایشات ۳۸
۳-۱-۲) نمک طبیعی مورد نیاز برای آزمایش ۴۰
۳-۲) تجهیزات آزمایشگاهی ۴۱
۳-۲-۱) فلوم دوار ۴۱
۳-۲-۱-۱) اجزای فلوم دوار آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد ۴۱
۳-۲-۲) سیستم تنظیم کننده دور موتور ۴۶
۳-۲-۲-۱ کالیبره کردن دور دستگاه ۴۷
۳-۲-۳) سیستم ذخیره برق ۵۰
۳-۲-۴) دستگاه سرعت سنج ۵۰
۳-۲-۵) لوازم سنجش غلظت ۵۱
۳-۳) آزمایشهای مورد نیاز ۵۲
۳-۳-۱) سنجش چگالی و دانه بندی رسوبات ۵۲
۳-۳-۲) آزمایش‌های سنجش سرعت و تنش برش ۵۲
۳-۳-۳) آزمایشات اصلی ۵۳

عنوان صفحه

فصل چهارم

۴-۱) پارامترهای هیدرولیکی ۵۶
۴-۱-۱) تنش‌برشی جریان ۵۶
۴-۱-۲) سرعت برشی جریان ۵۷
۴-۱-۳) سرعت جریان ۵۸
۴-۱-۴)رژیم جریان ۵۹
۴-۲) تغییرات غلظت رسوبات معلق نسبت به زمان ۶۰
۴-۲-۱) غلظت متوسط رسوبات معلق ۶۲
۴-۳) نرخ ته‌نشینی ۷۳
۴-۴ تنش‌برشی آستانه شروع ته‌نشینی و بحرانی تنش‌برشی ته‌نشینی کامل ۸۰
۴-۵) درصد ته‌نشینی رسوبات ۸۳

فصل پنجم

۵-۱) نتیجه‌گیری ۸۴
۵-۲) پیشنهادات ۸۵

منابع ۸۶

فهرست اشکال

عنوان صفحه

فصل دوم

شکل۲-۱: نمای شماتیک چهار وجهی (تترا) (پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۸
شکل۲-۲: نمای شماتیک هشت وجهی (اکتا) (پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۹
شکل۲-۳: نمای شماتیک رس های کائولونیت، ایلیت و مونت موری لونیت(پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۱۰
شکل۲-۴: نمودار فاکتور فلوکوله‌شدن در مقابل میانگین قطر ذرات پایه (چین و وان، ۱۹۹۸) ۱۴
شکل۲-۵: رابطه C_D با عدد رینولدز در معادله (۲-۵) (شفاعی بجستان،۱۳۷۳) ۱۶
شکل۲-۶: نمودار ارائه شده توسط Cai (به نقل از آرمان،۱۳۸۶) ۱۷
شکل۲-۷: نمودار تعیین مقدار k_n (کرون، ۱۹۶۲) ۲۰
شکل ۲-۸: رابطه سرعت سقوط و میزان شوری کمال الکدی(۲۰۰۹) ۲۳
شکل۲-۹: تأثیر غلظت روی سرعت سقوط رسوبات مختلف (نمودار فان راین،۱۹۹۳)،..... ۲۴
شکل۲-۱۰: تغییرات غلظت در مقابل زمان به ازای الف) تنش‌های برشی متفاوت ب) غلظت‌های اولیه متفاوت (کریشناپان و استفنس،۱۹۹۶)..... ۲۵
شکل۲-۱۱: ویژگی‌های فرسایش رسوبات رودخانه آتاباسکا (کریشناپان و استفنس،۱۹۹۶) ۲۶
شکل۲-۱۲: فلوم حلقوی و رینگ از نمای بالا (پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۲۹
شکل۲-۱۳: تغییرات رس کائولینیت معلق به ازای تغییرات در مقدار غلظت اولیه (پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۳۱
شکل۲-۱۴: نمودار لگ-نرمال درجه نگهداشت رسوب (C_{eq}^*) در مقابل پارامتر تنش برشی بستر ($\tau_b^* - 1$) (پارتنیادس،۲۰۰۹) ۳۳
شکل۲-۱۵: نمودار لگ-نرمال C_{eq}^* در مقابل $\tau_b^* - 1$ برای رسوب خلیج سانفرانسیسکو در آب شور و مخلوطی شامل ۵۰٪ رسوب و۵۰٪ رس کائولینیت در آب شور(پارتنیادس، ۲۰۰۹) ۳۴
شکل۲-۱۶: منحنی دانه بندی ذرات در آزمایش‌های ته‌نشینی (لو وکریش‌ناپان،۱۹۹۴) ۳۵

فصل سوم

شکل۳-۱: موقعیت تقریبی محل برداشت رسوبات در حومه شهرکرد..... ۳۸
شکل۳-۲: نمودار آزمایش دانه‌بندی رسوبات..... ۳۸
شکل۳-۳: رابطه میزان شوری با غلظت نمک محلول در آب..... ۴۱

عنوان صفحه

شکل۳-۴: نمایی شماتیک فلوم دوار موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد ۴۲
شکل۳-۵ : نمایی از رینگ بالا و بازوی نگه‌دارنده ۴۴
شکل۳-۶: نمایی از قطعه صلیبی نگهدارنده رینگ بالا ۴۵
شکل۳-۷: نمای کلی سیستم فلوم دوار موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد ۴۵
شکل۳-۸: نمایی از شیرهای مورد استفاده جهت نمونه گیری از مواد معلق درون فلوم ۴۶
شکل۳-۹: نمایی از دو مجرای تخلیه مخلوط آب و رسوب تعبیه شده زیر فلوم ۴۶
شکل۳-۱۰: دستگاه اینورتر جهت تنظیم جهت دور موتورها ۴۷
شکل۳-۱۱: نمودار رابطه سرعت چرخش رینگ با عدد اینورتر بالا و نمودار رابطه سرعت چرخش فلوم با عدد اینورتر پایین ۴۸
شکل۳-۱۲: نمایی از دستگاه سرعت‌سنج ADV مدل+Vectrino ۵۰
شکل۳-۱۳: مزور و آبپاش مورد استفاده در سنجش حجم نمونه ها ۵۱
شکل۳-۱۴: ظرف شماره‌گذاری شده و ترازوی دیجیتال ۵۱
شکل۳-۱۵: موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت و منطقه تاثیر هر نقطه ۵۳

فصل چهارم

شکل۴-۱: رابطه تنش‌برشی متوسط جریان با مجموع سرعت چرخش فلوم و رینگ ۵۷
شکل۴-۲: پروفیل سرعت عمودی در فلوم دوار موجود ۵۸
شکل۴-۳: رابطه سرعت متوسط جریان با مجموع سرعت چرخش فلوم و رینگ ۵۹
شکل۴-۴: توزیع عمقی غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۵gr/lit) و تنش‌برشی (۰/۱۰۹ N/m^2) ۶۱
شکل۴-۵: توزیع عمقی غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۵gr/lit) و تنش‌برشی (۰/۲۹۹ N/m^2) ۶۱
شکل۴-۶: توزیع عمقی غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۵gr/lit) و تنش‌برشی (۰/۵۹۳ N/m^2) ۶۲
شکل۴-۷: پارامترهای محاسبه غلظت متوسط رسوبات معلق ۶۳
شکل ۴-۸: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۵gr/lit) ۶۴
شکل ۴-۹: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۱۰۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۵gr/lit) ۶۴
شکل ۴-۱۰: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۲۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۵gr/lit) ۶۴
شکل ۴-۱۱: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۴۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۵gr/lit) ۶۵

عنوان صفحه

شکل ۴-۱۲: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۱۰gr/lit) ۶۵
شکل ۴-۱۳: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۱۰۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۱۰gr/lit) ۶۵
شکل ۴-۱۴: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۲۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۱۰gr/lit) ۶۶
شکل ۴-۱۵: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۴۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۱۰gr/lit) ۶۶
شکل ۴-۱۶: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای آب غیر شور و غلظت اولیه (۲۰gr/lit) ۶۶
شکل ۴-۱۷: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۱۰۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۲۰gr/lit) ۶۷
شکل ۴-۱۸: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۲۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۲۰gr/lit) ۶۷
شکل ۴-۱۹: تغییر غلظت نسبی رسوبات معلق برای شوری (۴۵۰۰mmhos/cm) و غلظت اولیه (۲۰gr/lit) ۶۷
شکل ۴-۲۰: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۵gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ \ N/m^2$) ۶۸
شکل ۴-۲۱: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۵gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ \ N/m^2$) ۶۸
شکل ۴-۲۲: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۵gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ \ N/m^2$) ۶۹
شکل ۴-۲۳: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ \ N/m^2$) ۶۹
شکل ۴-۲۴: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ \ N/m^2$) ۶۹
شکل ۴-۲۵: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ \ N/m^2$) ۷۰
شکل ۴-۲۶: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ \ N/m^2$) ۷۰
شکل ۴-۲۷: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ \ N/m^2$) ۷۰
شکل ۴-۲۸: تاثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ \ N/m^2$) ۷۱
شکل ۴-۲۹: تاثیر بلند مدت شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق..... ۷۱
شکل ۴-۳۰: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب ($gr/m^2 \times min$) برای غلظت اولیه (۵gr/lit)
و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ \ N/m^2$) ۷۶

عنوان صفحه

شکل ۴-۳۱: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۵gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ N/m^2$) ۷۶
شکل ۴-۳۲: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۵gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ N/m^2$) ۷۷
شکل ۴-۳۳: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ N/m^2$) ۷۷
شکل ۴-۳۴: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ N/m^2$) ۷۸
شکل ۴-۳۵: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ N/m^2$) ۷۸
شکل ۴-۳۶: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۱۰۹ N/m^2$) ۷۹
شکل ۴-۳۷: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۲۹۹ N/m^2$) ۷۹
شکل ۴-۳۸: تغییرات نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق بر حسب $(gr/m^2 \times min)$ برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit) و تنش‌برشی ($۰/۵۹۳ N/m^2$) ۸۰
شکل ۴-۳۹: تغییرات درصد ته‌نشینی ($f_d = 1 - \frac{C_{eq}}{C_0}$) با تنش‌برشی موجود در بستر برای آزمایشات در آب غیر شور به تفکیک غلظت اولیه..... ۸۲
شکل ۴-۴۰: تغییرات تنش‌برشی آستانه شروع ته‌نشینی با غلظت اولیه رسوبات معلق..... ۸۳

فهرست جداول

عنوان صفحه

فصل دوم

جدول۲-۱: مرتبه فلوک به ازای تنش‌های برشی حداکثر (کرون، ۱۹۶۲)..... ۱۹
جدول۲-۲: نتایج اندازه‌گیری قطر متوسط ذرات در مقابل تنش برشی کف (لو و کریش‌ناپان،۱۹۹۴) ۳۶

فصل سوم

جدول۳-۱: خصوصیات فیزیکی نمونه های آزمایشی..... ۳۸
جدول۳-۲: خصوصیات محاسبه شده رسوبات مورد استفاده..... ۳۹
جدول۳-۳ : نتایج آزمایش‌های تعیین شوری نمک..... ۴۰
جدول۳-۴: مشخصات فلوم با مقطع مستطیلی..... ۴۳
جدول۳-۵: مشخصات موتور محرک فلوم به همراه سیستم تنظیم‌کننده دور آن..... ۴۳
جدول۳-۶: مشخصات رینگ بالای فلوم ۴۳
جدول۳-۷: مشخصات موتور محرک رینگ بالا به همراه سیستم تنظیم‌کننده دور آن..... ۴۴
جدول۳-۸: کالیبره عدد اینورتر بالا با سرعت چرخش رینگ و کالیبره عدد اینورتر پایین با سرعت چرخش فلوم..... ۴۹
جدول۳-۹: وسایل مورد نیاز جهت سنجش غلظت نمونه‌های گرفته شده ۵۱
جدول۳-۱۰: سرعت و تنش‌برشی متوسط در سرعت‌های مختلف چرخش فلوم و رینگ بالا..... ۵۳
جدول۳-۱۱ : جرم رسوب مورد نیاز برای ساخت غلظت اولیه..... ۵۳
جدول۳-۱۲: نام و مشخصات آزمایشات انجام گرفته در این تحقیق ۵۵

فصل چهارم

جدول۴-۱: مقادیر عدد رینولدز و عدد فرود به ازای سرعت‌های مختلف جریان ۶۰
جدول۴-۲ : تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به غلظت رسوبات معلق در آب غیر شور
در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه(۵gr/Lit) ۷۲
جدول۴-۳ : تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به غلظت رسوبات معلق در آب غیر شور
در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه(۱۰gr/Lit) ۷۲

عنوان صفحه

جدول۴-۴ : تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به غلظت رسوبات معلق در آب غیر شور
در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه(۲۰gr/Lit) ۷۳
جدول۴-۵: مقادیر P-Value محاسبه شده با نرم افزارSAS ۷۴
جدول۴-۶: نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق($gr/m^2 \times min$) برای غلظت اولیه (۵gr/lit) ۷۴
جدول۴-۷: نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق($gr/m^2 \times min$) برای غلظت اولیه (۱۰gr/lit) ۷۵
جدول۴-۸: نرخ ته‌نشینی رسوبات معلق($gr/m^2 \times min$) برای غلظت اولیه (۲۰gr/lit) ۷۵
جدول۴-۹: تنش‌برشی آستانه شروع ته‌نشینی و ته‌نشینی کامل رسوبات مورد مطالعه ۸۱

فصل اول

۱–۱) مقدمه

موضوع انتقال رسوب قرن‌ها توسط مهندسین و متخصصین رودخانه مورد مطالعه قرار گرفته و راه‌های مختلفی برای حل مسائل مربوط به آن ارائه شده است. متاسفانه نتایج حاصل از تحقیقات دانشمندان مختلف این رشته اغلب به طور فاحشی با یکدیگر تفاوت داشته و در ضمن این نتایج با مشاهدات عینی نیز همخوانی نداشته‌اند. علم رسوب و مهندسی رودخانه، پیوسته در طول زمان به پیشرفت‌های چشمگیری نائل آمده است، بطوری که برای بعضی از مفاهیم اساسی انتقال رسوب، تنها در سالهای اخیر حدود کاربرد تحقیقات و روابط میان این مفاهیم کشف شده است. از سوی دیگر، بعضی از جنبه‌های پیچیده انتقال رسوب هنوز کشف نشده و نیازمند مطالعات بیشتر در آینده است (به نقل از امامی، ۱۳۷۹).

رسوب‌گذاری در مخازن سدها یکی از بزرگترین مشکلاتی است که بسیاری از سدها با آن مواجهند. بر اساس گزارش کمیته بین المللی سدهای بزرگ، در حال حاضر بیش از ۴۰۰۰ سد بزرگ در دنیا وجود دارد که برای تامین آب، تولید انرژی و کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی در اثر رسوب‌گذاری هر ساله بطور متوسط ۰/۵ تا ۰/۷۵درصد از کل حجم ذخیره این سدها از بین می‌رود. برای جبران این کاهش ظرفیت، نیاز است سالانه بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ سد بزرگ در جهان ساخته شود. به همین لحاظ همگام با درک اهمیت موضوع و چاره-اندیشی بموقع، ارائه و کاربرد راه‌حل‌های علاج بخش برای حل این معضل اجتناب‌ناپذیر است. هر گونه غفلت از این موضوع به ویژه در کشورهای خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران، نه تنها مشکل را حادتر می‌نماید، بلکه چاره‌اندیشی آن را مشکل‌تر نموده و این تهدید بزرگی برای زندگی نسل‌های آینده به شمار می‌رود (به نقل از امامقلی‌زاده، ۱۳۸۴).

رودخانه‌ها مهمترین عامل انتقال مواد فرسایش یافته از پوسته جامد زمین هستند. موادی که توسط رودخانه‌ها حمل می‌شود از منابع مختلفی نظیر مواد ناشی از هوازدگی، کنده شدن بستر و کناره‌های رودخانه‌ها، غلتیدن سنگها از کناره‌های دره به داخل رودخانه‌ها، گرد و خاک ناشی از وزش باد، رسوبات یخچالی، خاکسترهای آتشفشانی، املاحی که توسط آبهای زیرزمینی حمل می‌شوند و بالاخره در اثر زمین لغزش وارد آن می‌شوند. مواد جامد موجود در رودخانه‌ها بسته به قطر، وزن و سرعت آب در موقعیت‌های مختلفی نسبت به سطح آب قرار می-گیرند. موادی که بر اثر مراحل مختلف فرسایش خرد شده و در نتیجه عوامل مختلف مانند رودخانه‌ها حمل

شده‌اند بالاخره در محیط‌های مختلف رسوب می‌کنند (به نقل از مدنی و شفیقی، ۱۳۷۲). رسوبات چسبنده رسوباتی هستند با اندازه‌ای معمولاً در حد رس که دارای خاصیت چسبندگی باشند. با کاهش اندازه ذرات و افزایش نسبت سطح به حجم نیروهای بین ذره‌ای به جای نیروی وزن تبدیل به نیروی غالب بر رفتار ذرات رسوب می‌شود. به طور کلی در مباحث مهندسی رس و لای هر دو از رسوبات چسبنده به شمار می‌روند. سیلت‌ها مرکب از ذرات کوارتز و سایر مینرال‌ها هستند که مقاومت خیلی زیادی نسبت به هوازدگی از خود نشان می‌دهند. رس‌ها از ذرات بسیار ریز و پولک مانند مونت‌موریلونیت، کائولینیت و ایلیت تشکیل یافته‌اند که قسمت اعظم آنها به ذرات کلوئیدی تبدیل یافته‌اند (به نقل از رحیمی، ۱۳۷۱).

عدم توجه به رفتار رسوبات در رودخانه‌ها و چگونگی روند رسوب‌گذاری و فرسایش در آنها و در نظر نگرفتن تغییر مسیر، تغییر شکل و شیب طولی رودخانه، در بسیاری از موارد بهره‌برداری از سازه‌های احداث شده در مسیر رودخانه را با مشکلات فراوانی روبرو ساخته است (به نقل از آرمان، ۱۳۸۶). در کانال‌های انتقال آب نیز عدم توجه به رفتار رسوب و چگونگی حرکت مواد جامد در آن‌ها و میزان انباشتگی و محل رسوب‌گذاری در قسمت‌های مختلف هر کانال، در بهره‌برداری از برخی کانال‌ها مشکلاتی را ایجاد نموده است. از جمله این مشکلات می‌توان به انباشته شدن رسوبات در کانال و پر شدن قسمتی از سطح مقطع مفید کانال و کاهش حجم آب قابل انتقال اشاره نمود. بنابراین ارزیابی و بررسی روند ته‌نشینی و تحکیم رسوبات چسبنده در مخازن سدها و سواحل رودخانه‌ها و کانال‌های انتقال آب یکی از موضوعات و مسائل مهمی است که در طرح‌ها و مسائل مختلف رسوب‌زدایی و کنترل رسوب، از جمله پروژه‌های لایروبی و عملیات رسوب‌شویی هیدرولیکی نقش موثری دارد.

خاصیت چسبندگی رسوبات چسبنده موجب می‌شود دانه‌های رسوب معلق به یکدیگر چسبیده و تشکیل توده‌های بزرگتری را که فلوک نامیده می‌شوند بدهند. به این عمل اصطلاحاً فلوکوله‌شدن، می‌گویند. فلوکوله‌شدن ذرات باعث به هم چسبیدن ذرات و تشکیل فلوک‌های بزرگ می‌شود به شکلی که این فلوک‌ها قادر به ته‌نشینی می‌شوند. فلوک‌ها در مسیر حرکت خود به ذرات دیگر چسبیده و تشکیل فلوک‌های بزرگتر می‌دهند. پس از اینکه به حد کافی بزرگ شدند ته‌نشین شده و یا ممکن است هنگام برخورد با بستر شکسته شده و به چند فلوک کوچک تقسیم شوند که در این صورت مجدداً به حالت تعلیق در می‌آیند. علاوه بر آن ممکن است دو ذره یا فلوک نیز به هم برخورد کرده و تغییر اندازه دهند که شامل حالت‌های مختلفی است. به طور مثال ممکن است یکی از فلوک‌ها به دوتکه تقسیم شده و یکی از آن‌ها به فلوک دیگر چسبیده و باعث بزرگتر شدن آن شود. بنابراین به دلیل این‌که از فلوک‌ها تجمع چندین ذره رس به وجود آمده‌اند، دارای دوام و استحکام زیادی نبوده و در صورت برخورد با یکدیگر ممکن است شکسته شده و از هم جدا شوند. این استحکام به میزان نیروی چسبندگی بین ذرات و فشردگی آن‌ها بستگی دارد. فلوکوله‌شدن ذارت پدیده‌ای بسیار پیچیده است و هنوز به‌طور دقیق قانونمند نشده است. این خاصیت، باعث ته‌نشینی رسوبات بسیار ریز درشرایط هیدرولیکی مشخص می‌شود. این شرایط هیدرولیکی قادر به معلق نگاه داشتن ذرات مذکور در حالت مجزا از یکدیگر می‌باشد.

عوامل مؤثر بر پدیده فلوکوله‌شدن ذرات رس را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول مربوط به خصوصیات خود ذرات رس بوده و گروه دوم مربوط به خصوصیات سیال می‌باشد. از جمله خصوصیات رس که در فرآیند

فلوکوله‌شدن نقش دارد، می‌توان به مواردی از قبیل نوع کانی‌های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات، اندازه ذارت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اشاره نمود. همچنین خصوصیات مربوط به سیال که در فلوکوله‌شدن ذرات نقش مهمی دارند عبارتند از خصوصیات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان سیال و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن که با انجام آزمایشات و اندازه‌گیری تا حدودی می‌توان این خصوصیات را شناخت (به نقل از صمدی بروجنی، ۲۰۰۴).

خواص فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب و اندرکنش میان آنها موجب شدت یا ضعف فرآیند فلوکوله‌شدن می-شود. بنابراین برای بدست آوردن روابط حاکم بر رسوبات چسبنده، بایستی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب شناسایی گردند. سرعت آستانه برای ته‌نشینی کامل ذرات چسبنده معلق در آب جاری از جمله خواص مهم در تعیین خصوصیات فیزیکی انتقال و یا ته‌نشینی این ذرات به شمار می‌رود. سرعت آستانه ته‌نشینی تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب بوده و خاصیت فلوکوله‌شدن رسوبات باعث تغییرات زیادی در این پارامتر می‌گردد. یکی از خواص سیال که انتظار می‌رود بر این فرآیند موثر باشد میزان املاح همراه با آب است. با توجه به اینکه املاح دارای بارهای الکتریکی هستند و رسوبات نیز دارای همین ویژگی می‌باشند، بارهای الکتریکی املاح می‌توانند باعث همگرایی یا پراکندگی ذرات معلق شده و فرآیند فلوکوله شدن را تحت تاثیر قرار دهند. در این زمینه می‌توان به تحقیقات آرمان(۱۳۸۶) اشاره نمود. نتایج ارائه شده توسط آرمان(۱۳۸۶) نشان داد که اضافه کردن نمک بطور نسبی سرعت سقوط ذرات چسبنده را بین ۳٪ تا ۹٪ افزایش می‌دهد.

۱-۲) اهداف مطالعه

در تحقیق حاضر چگونگی تاثیر نمک بر روند ته‌نشینی رسوبات چسبنده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های صورت گرفته بر روی رسوبات چسبنده جمع آوری شده از بستر یکی از سدهای خاکی شهرکرد صورت گرفته است. آب حاوی مقدار مشخصی از این رسوبات با سرعت‌های متفاوت و نتیجتاً تنش برشی‌های مختلف جریان داده شد. به‌گونه‌ای که در ابتدا به ازای سه سرعت متفاوت فرآیند ته‌نشینی رسوبات چسبنده در آب غیر شور (بدون شوری) برای هر یک از غلظت‌های ۲۰gr/lit و۱۰ ،۵ مورد بررسی قرار گرفته سپس فرآیند مذکور با استفاده از نمک طبیعی موجود در سه سطح شوریmmhos/cm ۴۵۰۰ و ۲۵۰۰، ۱۰۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق با استفاده از فلوم دوار موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام پذیرفت.

۱-۳) ضرورت تحقیق

موضوع ته‌نشینی رسوبات چسبنده در کانالهای آبیاری، سواحل کشتیرانی و مخازن آب همواره مورد توجه محققان بوده، چرا که این پدیده هزینه‌ها و مشکلات زیادی در پی داشته است. متأسفانه تاکنون به کار بردن

معیارهای طراحی نیز نتوانسته‌اند به طور کامل با این پدیده مقابله کنند و رسوبات ریزدانه چسبنده حتی در کانال‌هایی ته‌نشین می‌شوند که معیارها و استانداردهای موجود در طراحی آن‌ها رعایت شده است. در مخازن سدها نیز رسوبات ریزدانه چسبنده ته‌نشین شده و راندمان تله‌اندازی را افزایش داده‌اند. این مسأله علاوه بر کاهش عمر مفید مخازن باعث شده زلالی آب رها شده از مخازن آب موجود اکولوژی و مورفولوژی رودخانه پایین دست را به هم بزند. در سواحل و بنادر ته‌نشینی رسوبات چسبنده موجب شده هزینه لایروبی به شدت افزایش یابد و در بسیاری از موارد عملاً مبارزه با این پدیده غیر ممکن شده است (صمدی بروجنی، ۲۰۰۴).

وجود رسوبات چسبنده در بسیاری از آبراهه‌ها به‌صورت یک معضل بوده و به شکلی جدی با کیفیت آب مرتبط می‌باشد. بسیاری از آلودگیها مانند فلزات سنگین، آفت کش‌ها و کودهای شیمیایی در وهله اول جذب سطح رسوبات‌چسبنده می شوند. رسوبات چسبنده برای موادسمی نقش حامل را دارند و به شکلی جدی، کیفیت آب به حمل این رسوبات وابسته است. سموم می‌توانند هم به صورت سطحی جذب رسوبات شوند و هم به صورت محلول در آب باشند. (فاز جذب شده و فاز محلول). جذب به صورت چسبیدن مواد سمی از حالت محلول به ذرات رسوب معلق تعریف می شود. سموم جذب شده بعد از ته‌نشینی رسوبات چسبنده در بستر رودخانه، می توانند از ستون آب حذف شوند اما ممکن است براثر فرسایش رسوبات بستر ، دوباره به ستون آب باز گشته و درآب حل شوند. علاوه بر آلودگی‌های جذب شده به این رسوبات، خود رسوبات بسیاری از مواقع برای کیفیت آب، معضلی جدی هستند. کدر بودن آب به علت وجود ذرات رسوب می تواند عبور نور خورشید را محدودتر کرده و دسترسی به مواد غذایی را کاهش دهند. بنابراین بر زندگی آبزیان تأثیر منفی بگذارد. همچنین کدربودن، هزینه تصفیه آب را نیز افزایش خواهد داد (هوانگ وهمکاران، ۲۰۰۶).

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

۱. ته‌نشینی مواد رسوبی در کانال‌ها، و کاهش ظرفیت جریان.

۲. تحمیل شدن هزینه لایروبی کانال‌ها که بسیار پرهزینه است.

درحال حاضر معیارهای طراحی مختص رسوبات غیرچسبنده (ماسه و ذرات درشت‌تر از آن) می‌باشد و طراحی به نحوی انجام می‌شود که رسوبات معلق غیرچسبنده ته‌نشین نشوند اما دراکثر موارد، میزان رسوبات ته‌نشین شده بسیار بالاست که علت آن خاصیت چسبندگی رسوبات ریزدانه می‌باشد. (به نقل از وجدانی و قمشی، ۱۳۸۵).

۱-۴) ساختار گزارش

این تحقیق متشکل از پنج فصل به شرح زیر است:

فصل اول- مقدمه: در این فصل به بیان خلاصه‌ای از گزارش پرداخت شده است.