بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند
دانشکده کشاورزی
گروه آموزشی مهندسی آب

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
(مهندسی منابع آب)

عنوان:

اثر تراکم و ارتفاع پوشش‌گیاهی بر جریان غلیظ در شرایط آزمایشگاهی

استاد(ان) راهنما:
دکتر ابوالفضل اکبرپور
دکتر حسین خزیمه‌نژاد

استاد مشاور:
دکتر پیمان ورجاوند

نگارش:
آتنا خلیلی نفت‌چالی

شهریور ۹۳

تقدیم به

سایه‌بانان آرامش، تکیه‌گاهان زندگی و صاحبان برترین مقام

پدر و مادر دلسوز و فداکارم

تشکر و قدردانی

سپاس خداوندی را که اگر لطف بی کرانش نبود تلاش و پویش، بی وجود و بی معنا می شد. او که در تمام لحظه های سهل و سخت بود و چگونه بودن را به من آموخت.

گذراندن مراحل اجرائی و تدوین این پایان نامه پس از الطاف الهی، مدیون راهنمایی و همفکری بزرگوارانی است که بی تردید بدون همراهی آنان، طی این طریق با مشکلات فراوان همراه بود لذا بر خود لازم می دانم مراتب سپاس خود را به کلیه کسانی که در مراحل مختلف این پژوهش مرا یاری نمودند، اعلام دارم.

از جناب آقای دکتر ابوالفضل اکبرپور و دکتر حسین خزیمه نژاد، استادان محترم راهنما به سبب راهنمایی ارزنده در کلیه مراحل این تحقیق و در ارائه نکات ارزنده در تدوین و نگارش پایان نامه تقدیر و تشکر می نمایم. از جناب آقای دکتر پیمان ورجاوند، استاد محترم مشاور به دلیل راهنمایی های ارزنده ایشان، کمال تشکر را دارم. از جناب آقای مهندس نخعی، کارشناس محترم آزمایشگاه، به سبب کمک در تهیه تجهیزات آزمایشگاهی بسیار سپاسگزارم. از جناب آقای دکتر یوسف رمضانی و دکتر محسن پوررضا بیلندی به جهت داوری پایان نامه سپاسگذارم. از جناب آقای دکتر سید رضا هاشمی نماینده محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه تشکر دارم. از اساتید محترم گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند، که در مدت تحصیل از علم و راهنمایی آنها بهره مند گردیده ام تشکر می نمایم.

از خانواده عزیزم که همواره در کسب علم و معرفت مشوق و همراه من بوده و هستند، تشکر فراوان دارم.

از همکلاسی و دوستان عزیزم که در طول این دوره تحصیل همراه من بوده و به این جانب در اجرا آزمایش ها کمک فراوانی کرده اند صمیمانه تشکر می نمایم و از خداوند متعال سلامتی و موفقیت این عزیزان را خواستارم.

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که انسان در پیش‌رو دارد، کمبود آب می‌باشد، بنابراین شناخت عواملی که ذخایر آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بسیار ضروری است. متعاقب احداث سدهای ذخیره‌ای، به‌علت رسوب‌گذاری جریان‌های سیلابی، عمر مفید مخازن کاهش می‌یابد. پدیده رسوب‌گذاری چالش‌های فراوانی را در عملکرد و وظایف مخازن ایجاد می‌کند. جریان غلیظ مهم‌ترین عوامل در رسوب‌گذاری است که باعث انتقال رسوبات به نزدیکی بدنه سد می‌شود. لذا شناخت این جریان و عوامل مؤثر بر آن از نقطه-نظر کیفیت آب و پیش‌بینی میزان آلودگی، حائز اهمیت است. پیش‌بینی حرکت جریان غلیظ به‌دلیل پیچیدگی اندازه‌گیری آن، معمولا به صورت آزمایشگاهی انجام شده است. از مهم‌ترین بخش‌های این جریان، قسمت پیش‌رونده (پیشانی جریان غلیظ) می‌باشد که تحت تأثیر عوامل زیادی است. در تحقیق حاضر، با انجام آزمایش‌های مختلف به تأثیر پوشش‌گیاهی بر کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ پرداخته شد. بدین منظور جریان غلیظ با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ گرم بر لیتر وارد فلوم شد و پوشش‌گیاهی با ارتفاع ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ متر و تحت ۵ تراکم ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲ و ۱/۴ درصد در مسیر جریان قرار گرفت. اندازه‌گیری سرعت در شش مقطع به فاصله ۵/. متر از هم انجام گرفت. تغییرات غلظت در راستای قائم در سه مقطع به فاصله یک متر از هم اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی در ارتفاع‌های مختلف، سرعت پیشروی جریان نسبت به بستر صاف به طور متوسط به میزان ۲/۵ تا ۲۸/۵ درصد و غلظت جریان بین ۳۴/۵ تا ۸۱/۵ درصد کاهش می‌یابد و با افزایش غلظت تأثیر پوشش‌گیاهی در کنترل سرعت و غلظت بیشتر می‌گردد. همچنین تراکم ۱/۴ درصد و ارتفاع ۰/۲ متر پوشش‌گیاهی مؤثرین پوشش برای کاهش سرعت و غلظت پیشانی جریان غلیظ می‌باشد و در ادامه ضریب کئولگان برای محاسبه سرعت در بستر صاف و بستر دارای پوشش‌گیاهی باتوجه به هریک از تراکم‌ها و ارتفاع‌ها ارائه شد و در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه سرعت در بستر دارای پوشش‌گیاهی استخراج گردید.

کلید واژه‌ها: جریان غلیظ نمکی، تراکم پوشش‌گیاهی، ارتفاع پوشش‌گیاهی، تغییرات سرعت، تغییرات غلظت

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲-اهمیت و ضرورت تحقیق ۳

۱-۳- تعریف مسئله ۵

۱-۳-۱ - تعریف جریان غلیظ ۵

۱-۳-۲- انواع جریان غلیظ ۶

۱-۳-۳- پدیده درون‌آمیختگی ۹

۱-۳-۴- روابط حاکم بر پدیده ۹

۱-۴- نمونه‌هایی از جریان غلیظ در طبیعت و صنعت ۱۰

فصل دوم: مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- بررسی منابع ۱۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- مواد مصرفی ۲۶

۳-۲-۱- نمک ۲۶

۳-۲-۲- ماده رنگی ۲۶

۳-۳- تجهیزات آزمایشگاهی ۲۷

۳-۳-۱- معرفی مدل و سیستم شبیه‌سازی ۲۷

۳-۳-۲- سیستم تأمین آب ۲۸

۳-۳-۳- سیستم تخلیه ۲۸
۳-۳-۴- سیستم اختلاط ۳۰
۳-۳-۵- مدل پوشش گیاهی مورد استفاده ۳۰
۳-۳-۶- اندازه‌گیری سرعت ۳۱
۳-۳-۷- اندازه‌گیری غلظت ۳۱
۳-۴- نحوه انجام آزمایش‌ها ۳۳
۳-۵- انتخاب متغیرها ۳۷
۳-۶- فهرست آزمایش‌های انجام شده ۳۷
۳-۷- آنالیز ابعادی ۳۷
فصل چهارم: نتایج و بحث
۴-۱- مقدمه ۴۰
۴-۲- آزمایش‌های بخش اول: تأثیر افزایش تراکم پوشش‌گیاهی ۴۰
۴-۲-۱- بررسی سرعت ۴۰
۴-۲-۲- بررسی عدد فرود ۴۶
۴-۲-۳- مقایسه سرعت و ارائه روابط ۴۹
۴-۲-۴- بررسی تغییرات غلظت جریان غلیظ ۵۳
۴-۳-آزمایش‌های بخش دوم: بررسی تأثیر ارتفاع پوشش گیاهی ۵۸
۴-۳-۱- بررسی سرعت ۵۸
۴-۳-۲- بررسی ارتفاع پیشانی جریان غلیظ ۶۶
۴-۳-۳- بررسی عدد فرود ۶۷
۴-۳-۴- مقایسه سرعت و ارائه روابط ۶۸
۴-۳-۵- بررسی تغییرات غلظت جریان غلیظ ۷۰
فصل پنجم: نتیجه‌گیری

۵-۱- نتیجه‌گیری کلی ۷۳
۵-۲- پیشنهادات ۷۵
فهرست منابع ۷۶
چکیده ۷۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۳-۱- فهرست آزمایش‌ها..... ۳۷
جدول ۳-۲- پارامترهای موثر بر رفتار جریان غلیظ ۳۸
جدول ۳-۳- پارامترهای ثابت ۳۹
جدول ۴-۱- درصد کاهش متوسط سرعت نسبت به بستر صاف در تمامی غلظت‌ها با توجه به تراکم‌ها و ارتفاع‌های مختلف پوشش‌گیاهی ۴۳
جدول۴-۲- درصد کاهش متوسط عدد فرود نسبت به بستر صاف ۴۹
جدول ۴-۳- مقادیر ضریب رابطه ۴-۱ ..... ۵۱
جدول ۴-۴- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۲ متر پوشش‌گیاهی ۵۷
جدول ۴-۵- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۱۵ متر پوشش‌گیاهی ۵۷
جدول ۴-۶- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۱ متر پوشش‌گیاهی ۵۷
جدول ۴-۷- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۰۵ متر پوشش‌گیاهی ۵۸
جدول ۴- ۸- درصد متوسط کاهش سرعت در تمامی ارتفاع‌ها..... ۶۱
جدول ۴-۹- ضرایب پیشنهادی برای رابطه ۴-۱..... ۶۹
جدول ۴-۱۰- درصد کاهش متوسط غلظت در ارتفاع‌های مختلف برای تمامی تراکم‌ها و غلظت‌ها..... ۷۲

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- شماتیکی از فرآیند جریان غلیظ در مخزن سد ۶

شکل ۱-۲- نمایی از جریان غلیظ روگذر ۶

شکل ۱-۳- نمایی از جریان غلیظ زیرگذر ۷

شکل ۱-۴- نمایی از جریان غلیظ میان گذر ۷

شکل ۱-۵- شماتیک اجزای تشکیل‌دهنده جریان غلیظ ۸

شکل ۳-۱- ماده رنگی مصرفی ۲۶

شکل۳-۲- نمای کلی از آزمایشگاه هیدرولیک ۲۷

شکل ۳-۳- طرح شماتیک مدل فیزیکی مورد استفاده ۲۷

شکل۳-۴- سیستم تأمین آب ۲۸

شکل ۳-۵- سیستم تخلیه ۲۹

شکل ۳-۶ – نمایش آرام‌کننده و دریچه ۲۹

شکل ۳-۷- اهرم تغییر شیب ۲۹

شکل ۳-۸- سیستم اختلاط ۳۰

شکل ۳-۹- پوشش گیاهی در ارتفاع‌های مختلف ۳۱

شکل ۳-۱۰- سیفون نمونه‌گیری و نحوه قرار گرفتن آن در فلوم ۳۲

شکل ۳-۱۱- EC متر ۳۳

شکل ۳-۱۲- نمودار واسنجی شده ۳۳

شکل۳-۱۳- ابعاد فلوم و فواصل تجهیزات (اندازه‌ها به سانتی‌متر) ۳۵

شکل ۳-۱۴- نمونه‌هایی از جریان غلیظ شکل‌گرفته در فلوم ۳۶

شکل ۴-۱- مقایسه تأثیر تراکم پوشش‌گیاهی بر سرعت پیشانی جریان‌غلیظ در غلظت‌های مختلف ... ۴۲

شکل ۴-۲- تغییرات سرعت بی‌بعد به طول مسیر جریان در چهار غلظت ۴۴
شکل ۴-۳- تغییر سرعت بی‌بعد نسبت به تراکم ۴۵
شکل ۴-۴- تغییر سرعت پیشروی جریان غلیظ نسبت به غلظت در تراکم‌های مختلف ۴۶
شکل ۵- تغییر عدد فرود نسبت به تراکم پوشش‌گیاهی ۴۸
شکل ۴-۶- رابطه‌ی بین $0.5(g'Hf)$ و Uf ۵۰
شکل ۴-۷- مقایسه نتایج تحقیقات قبلی و تحقیق حاضر ۵۳
شکل ۴-۸- توزیع قائم غلظت در بستر صاف در مقاطع مختلف وغلظت های متفاوت ۵۴
شکل ۴-۹- مقایسه توزیع قائم غلظت در طول پوشش‌گیاهی در ارتفاع ۰/۲ و ۰/۵۰ متری و تراکم های مختلف ۵۶
شکل ۴-۱۰- تغییر سرعت پیشانی جریان غلیظ تحت‌تأثیر پوشش‌گیاهی با ارتفاع‌های مختلف ۶۰
شکل۴-۱۱- مقایسه سرعت بی‌بعد نسبت به طول مسیر جریان ۶۳
شکل ۴-۱۲- تغییر سرعت بی‌بعد نسبت به تراکم در ارتفاع‌های مختلف ۶۴
شکل ۴-۱۳- مقایسه سرعت بی‌بعد نسبت به غلظت در تراکم‌ها و ارتفاع‌های مختلف ۶۵
شکل ۴-۱۴- بررسی تغییر ارتفاع متوسط پیشانی جریان غلیظ ۶۶
شکل ۴-۱۵- تغییر عدد فرود در طول مسیر جریان برای تراکم ۱/۴ درصد پوشش گیاهی ۶۸
شکل ۴-۱۶- مقایسه نتایج تحقیق حاضر و دیگر محققین ۶۹
شکل ۴-۱۷- مقایسه توزیع قائم غلظت در طول پوشش‌گیاهی در مقاطع مختلف ۷۲

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

سدسازی از هزاران سال قبل از میلاد فنی شناخته شده بود و انسان همواره با کمک آن سعی در حفظ و بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی داشته است. در چند دهه اخیر، هر چند سدسازی از نظر کمّی و تعدد، روند افزایشی داشته است (به‌طوری‌که طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۵۰ میلادی تعداد سدهای بزرگ[۱] دنیا از ۴۲ سد به ۵۲۶۸ سد افزایش یافت و تعداد این سدها در سال ۱۹۸۶ به ۳۹۰۰۰ مورد بالغ گردید) ولی معضل رسوب‌گذاری همواره به عنوان مهم‌ترین عامل در کوتاه‌کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی به دلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده‌اند. این مشکل به‌ویژه در مناطق استوائی و نیمه‌خشک به‌علت بالابودن دبی جریان رسوب، مشهودتر به نظر می‌رسد (برانت، ۲۰۰۰).

همه دریاچه‌ها و مخازن احداث‌شده برروی رودخانه‌های طبیعی در معرض خطر رسوب‌گذاری قرار دارند. احداث سد یا هر سازه هیدرولیکی دیگر در مسیر رودخانه‌ها باعث به‌هم‌خوردن تعادل رسوبی در مسیر جریان گردیده و متعاقباً پروفیل طولی مسیر رودخانه را تغییر می‌دهد که ایجاد تعادل مجدد ممکن است سال‌ها به طول انجامد. هنگام ورود جریان به مخزن سد به دلیل افزایش عمق که در بیشتر موارد توأم با افزایش عرض مقطع نیز می‌باشد، با تشکیل پدیده فراآب[۲]، سرعت جریان کاسته شده و در نتیجه رسوب-گذاری با روند بیشتری ادامه می‌یابد. مواد درشت‌دانه در مصب مخزن ته‌نشین شده و تشکیل دلتا را می-دهند، درحالی‌که مواد ریزدانه عموماً با تشکیل جریان غلیظ و با حرکت در مجاورت بستر تا پشت دیواره سد پیشروی کرده و در محل حجم مرده مخزن انباشته می‌شود (حسن‌زاده و قلمی، ۱۳۸۳).

بنا به اعلام کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ در سال ۱۹۸۸، با در نظر گرفتن حجم موجود تمام سدهای دنیا، سالیانه به‌طور میانگین یک درصد از حجم مخازن کاسته می‌شود (تونیولو و پارکر، ۲۰۰۳). تشکیل دلتا و رسوب‌گذاری در مخزن مسائل و مشکلات فراوانی را به‌وجود می‌آورد که از آن جمله می-توان به افزایش سطح آب دریاچه و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق، کاهش حجم مخزن (به‌عنوان مهم-

---

۱- براساس معیار Icold سدهای با ارتفاع بزرگتر از ۱۵ متر، طول تاج بیش‌تر از ۵۰۰ متر، حجم بیش از یکصد هزار متر مکعب و دبی سیلاب برای سرریز بیش از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه، سد بزرگ محسوب می‌شوند.

۲- افزایش سطح آب

ترین مسئله مخصوصاً در سدهای مخزنی) و آسیب‌های حاصل از ورود مواد رسوبی درشت‌دانه به تأسیسات هیدرومکانیکال سد و نیروگاه‌های برقابی آن اشاره کرد (حسن زاده و قلمی، ۱۳۸۳).

شناسایی روند رسوب‌گذاری، مقدار رسوبات ورودی ماهیانه و سالیانه و نحوه توزیع آن در دریاچه سدها از جمله مواردی هستند که می‌توانند در نحوه بهره‌برداری از سدها و نیز تخلیه جریان‌های سیلابی نقش اساسی داشته باشند. در غالب موارد سعی می‌شود که با استفاده از نیروی هیدرودینامیکی آب، رسوبات ریزدانه خارج شوند. یکی از این روش‌ها خارج‌کردن جریان سیلاب، در قالب دینامیک جریان‌های غلیظ می‌باشد. بنابراین بررسی و مطالعه حرکت جریان‌های غلیظ در مخازن از نوع تحقیقاتی است که در جهت وصول به هدف فوق که همان پیش‌بینی سرعت پیشروی جریان غلیظ رسوبی و مدیریت تخلیه آن از مخزن با کم‌ترین تلفات آب مخزن می‌باشد، اطلاعات گرانبهایی را در اختیار قرار خواهد داد. پی‌بردن به سرعت پیشروی و نحوه پخش جریان‌های رسوبی که هنگام طغیان رودخانه‌ها و بلافاصله پس از ورود به مخازن بصورت توده‌ای از رسوبات و با پیروی از شیب کف مخزن برروی آن و به سمت بدنه سد به جریان در می‌آید، اساس مطالعات را تشکیل می‌دهد. هنگامی‌که جریان رودخانه با چگالی بالاتری (نسبت به چگالی دریاچه یا مخزن) وارد این دریاچه یا مخزن با آب صاف ساکن می‌شود، در غالب اوقات جریان گل-آلود رودخانه به زیر آب مخزن یا دریاچه فرو می‌رود (تونیولو و پارکر، ۲۰۰۳).

مدیریت یکپارچه رسوب به مفهوم در نظر گرفتن تمام جوانب مشکل رسوب و به‌کاربردن استراتژی‌های متناسب با شرایط حاکم بر منطقه موردنظر، در جهت حل مشکل رسوب می‌باشد. به‌عبارت بهتر استراتژی ماندگار در مدیریت رسوب بایستی در مطالعه خود، هم‌گام با مطالعه فرآیند رسوب‌گذاری در مخزن، اثرات ناشی از رسوب‌گذاری را در مناطق پایین‌دست نیز لحاظ نماید (موریس و فان، ۱۹۹۷).

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مؤثر در رسوب‌گذاری مخازن، جریان‌های غلیظ می‌باشند. این جریان‌ها می-توانند رسوبات همراه خود را تا دیواره سد برسانند. علاوه بر این گاهی اوقات می‌توانند رسوبات نشسته-شده در مخزن را از جا کنده و با خود همراه نمایند. جریان غلیظ یا جریان چگال عبارت است از جریانی که به علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگالی دو سیال به وجود می‌آید. این نیرو، شتاب ثقل کاهش یافته نام دارد (قمشی، ۱۳۹۱).

روش‌های تحلیلی زیادی برای حرکت جریان‌های غلیظ ارائه شده است. اگرچه کاربرد تئوری سیال لزج برای جریان‌های غلیظ، مانند کار بنیامین (بنیامین، ۱۹۶۸)، در توصیف برخی قوانین حاکم مفید و سودمند می‌باشد، ولی فرآیند واقعی جریان‌های غلیظ، کاملاً پیچیده بوده و بررسی آن در اغلب موارد به‌طور تحلیلی امکان‌پذیر نبوده و در عمل نیازمند استفاده از روابط نیمه‌تجربی جهت توصیف اثرات عواملی چون تلاطم، اختلاط و اصطکاک در روابط حاکم بر جریان غلیظ می‌باشد (قاسمی، ۱۳۹۰).

با توجه به اهمیت جریان‌های غلیظ، باید نقش این جریان‌ها در فرایند رسوب‌گذاری مخازن شناسایی شده و با شناخت پارامترهای مختلف این جریان نسبت به مدیریت رسوب مخازن اقدامات مؤثر را انجام داد. در این تحقیق سعی بر آن است که با به‌کارگیری پوشش گیاهی با تراکم‌ها و آرایش‌های مختلف، رفتار جریان غلیظ مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۲-اهمیت و ضرورت تحقیق

در ایران نیز رسوب‌گذاری در مخازن سدها حائز اهمیت زیادی است، چرا که حدود ۷۰ درصد از منابع آب ایران را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهد و عدم تطابق زمانی بین آبدهی حوزه‌ها و مصارف، وجود مخازن کنترل آب را امری ضروری می‌نماید. از طرفی عدم انجام اقدامات مؤثر آبخیزداری در حد کافی باعث شده که فرسایش از حوزه‌ها از حد مجاز خیلی بیشتر باشد و همین امر معضل رسوب‌گذاری در مخازن سدها را تشدید می‌کند. بنابراین سدهای مخزنی پیوسته توسط رسوبات انتقالی از حوضه‌های آبریز مورد تهدید واقع می‌شوند و با رسوب‌گذاری در مخازن آن‌ها از بهره‌وری و عمر مفید آن‌ها کاسته می‌گردد. به همین دلیل رسوب‌گذاری در مخازن سدها از مشکلات اساسی سدهای ساخته شده است. روش‌های مختلفی برای جلوگیری از ورود رسوبات و تخلیه آن‌ها وجود دارد اما به‌دلیل هزینه نسبتاً زیاد این روش‌ها، در غالب موارد سعی می‌شود که با استفاده از نیروی هیدرودینامیکی آب، رسوبات ریزدانه خارج شوند (فان و موریس، ۱۹۹۲).

بررسی جریان‌های غلیظ در علوم مختلف، هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست محیطی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. افزایش جمعیت در سراسر جهان و به‌طبع آن، افزایش غذای مورد نیاز انسان‌ها و

نیاز به ایجاد رفاه نسبی، تغییر و تحولات در طبیعت را سرعت بخشیده است. مهار آب‌های سطحی بوسیله انواع سدها و به خصوص سدهای مخزنی در جهان از جمله این تغییرات می‌باشد (اصغری پری، ۱۳۸۸). حفظ مخازن فعلی و مدیریت رسوب در مخزن، گزینه‌ای اجتناب‌ناپذیر و ضروری در کلیه مخازن سدها می‌باشد. مهم‌ترین مسأله در تعیین عمر مفید سدها نحوه و مدت پرشدن مخزن آن‌ها از آورد رسوب رودخانه‌های بالادست می‌باشد. شاید مهم‌ترین کاربرد جریان گل‌آلود در مخازن سدها باشد که خود یکی از روش‌های مهم رسوب‌زدایی در مخازن به‌شمار می‌رود. حداکثر غلظت جریان غلیظ در زمان سیلاب اتفاق می‌افتد که نتیجه آن ایجاد یک دریاچه گل‌آلود و رسوب‌گذاری در نزدیکی سازه سد بوده و این امر عملکرد سازه‌های آبگیر و خروجی‌های کف را مختل می‌کند. اگرجریان غلیظ به‌طور کامل در مخزن متوقف شود و یا اجازه رسوب‌گذاری در نقاط حساس مخزن به آن داده نشود، کارایی مخزن به‌طور چشم-گیری بالا می‌رود.

از دیگر دلایل اهمیت شناخت رفتار جریان‌های غلیظ می‌توان موارد زیر را نام برد (قمشی، ۱۳۹۱):

- پیش‌بینی صحیح توزیع رسوبات در بستر مخازن سدها و تأثیرات فرسایشی آن‌ها
- تعیین افت ظرفیت ذخیره مخزن بر اثر رسوب‌گذاری مواد معلق
- پیش‌بینی و مدیریت کیفیت آب مخازن
- بهترشدن بعضی از طرح‌ها از نقطه نظر اقتصادی
- ایجاد محیطی بهتر برای گیاهان و آبزیان
- جلوگیری از سائیدگی توربین‌ها و مجراهای انتقال آب

کاهش مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از جریان‌های چگال نیازمند آشنایی با رفتار جریان و متغیرهای تأثیرگذار بر آن می‌باشد. هنگامی‌که جریان غلیظ نزدیک به مخزن می‌رسد، متغیرهای زیادی بر رفتار مواد معلق یا محلول در جریان و همچنین مشخصات جریان تاثیرگذار است. تعدادی از این متغیرها عبارتند از: پوشش‌گیاهی، شیب بستر، غلظت مواد معلق، دبی جریان چگال، درجه‌حرارت جریان چگال و آب مخزن، توزیع اندازه ذرات، ساختار رسوبات، عمق فلوم و مخزن، لایه‌بندی حرارتی مخزن، تراز

سطح آب و فعالیت امواج. اما اهمیت نسبی هر یک از این عوامل بر روی تولید و رفتار جریان‌های چگال کاملاً مشخص نیست (افشین، ۱۳۸۸).

با توجه به مطالب فوق‌الذکر با در نظر گرفتن تلفات کمتر آب، بررسی و مطالعه حرکت جریان‌های غلیظ می‌تواند اطلاعات گرانبهایی را در اختیار قرار دهد. به عنوان مثالی در این زمینه می‌توان به مشکل تجمع رسوب در مخزن سد سفیدرود اشاره کرد که ناشی از این جریان‌ها می‌باشد. درنتیجه انجام تحقیقات در این زمینه به‌منظور جلوگیری از افزایش رسوبات مخزن و به‌طبع آن افزایش عمر مفید آن‌ها امری مهم و ضروری می‌باشد.

۱-۳- تعریف مسئله

۱-۳-۱ - تعریف جریان غلیظ

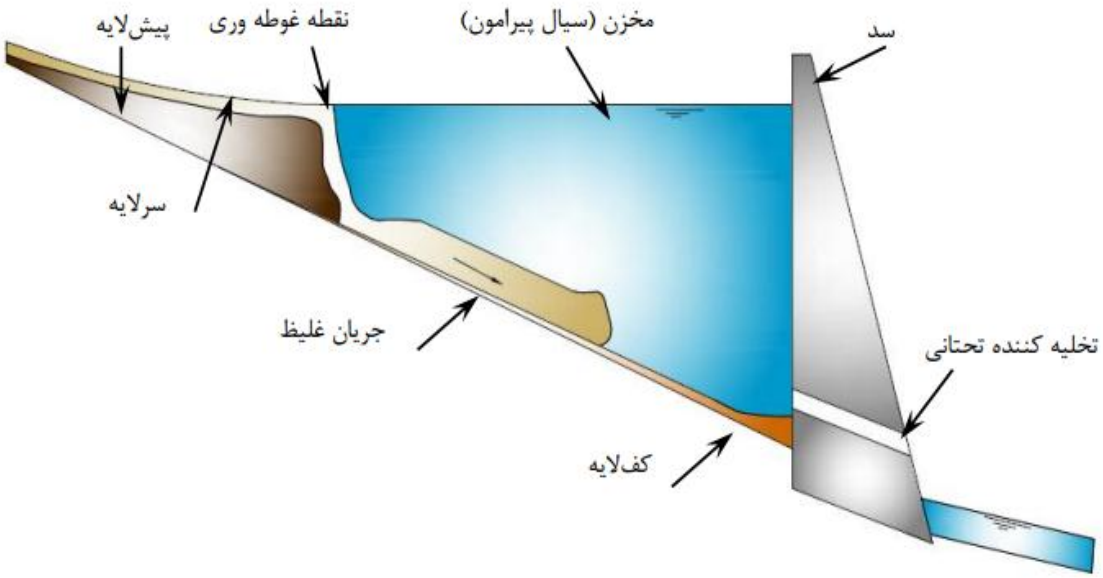
جریان‌ها را براساس تغییرات چگالی درداخل آن‌ها، می‌توان به دو دسته همگن و غیرهمگن یا طبقه‌ای تقسیم کرد. در صورتی‌که در هر مکانی از جریان مقدار چگالی ثابت باشد، جریان از نوع همگن است اما اگر چگالی در هریک از جهات تغییر نماید، جریان از نوع طبقه‌ای است (گراف و آلتینکار، ۱۹۹۸).

اصولاً زمانی‌که سیالی با جرم مخصوص $(\rho \pm d\rho)$ به درون یک توده سیال با جرم مخصوص (ρ) جریان یابد، پدیده جریان غلیظ اتفاق می‌افتد (قمشی، ۱۳۹۱) (شکل ۱-۱)

به‌عبارت‌دیگر، جریان غلیظ به جریانی گفته می‌شود که یک سیال با سرعت مخالف صفر و چگالی متفاوت از چگالی سیالی که نسبتاً ساکن است، وارد آن شود و در امتداد یکی از لایه‌های سیال ساکن به حرکت خود ادامه دهد. این تعریف تمامی خصوصیات لازم برای تشکیل جریان غلیظ را در بر می‌گیرد (احمدی رنانی، ۱۳۸۲).

اختلاف چگالی ممکن است ناشی از یک یا چند عامل به شرح زیر باشد (قمشی، ۱۳۹۱):

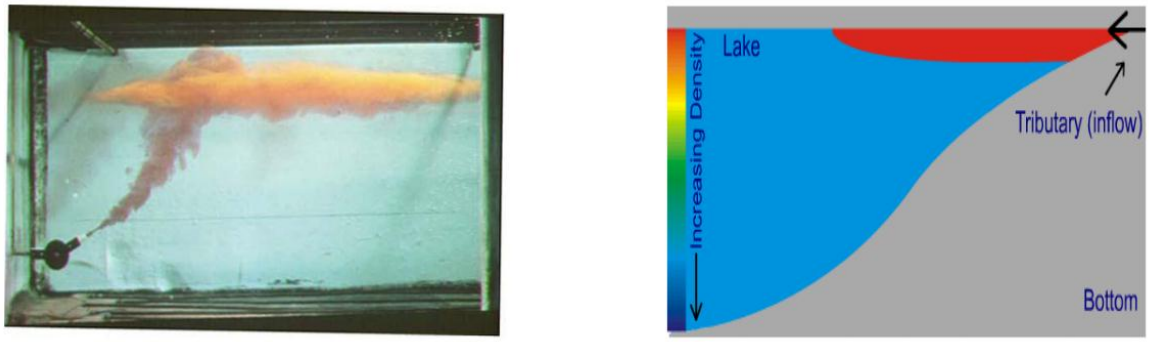
۱- تفاوت دما ۲- تفاوت در غلظت مواد محلول ۳- تفاوت در غلظت ذرات معلق.



شکل ۱-۱- شماتیکی از فرآیند جریان غلیظ در مخزن سد

۱-۳-۲- انواع جریان غلیظ

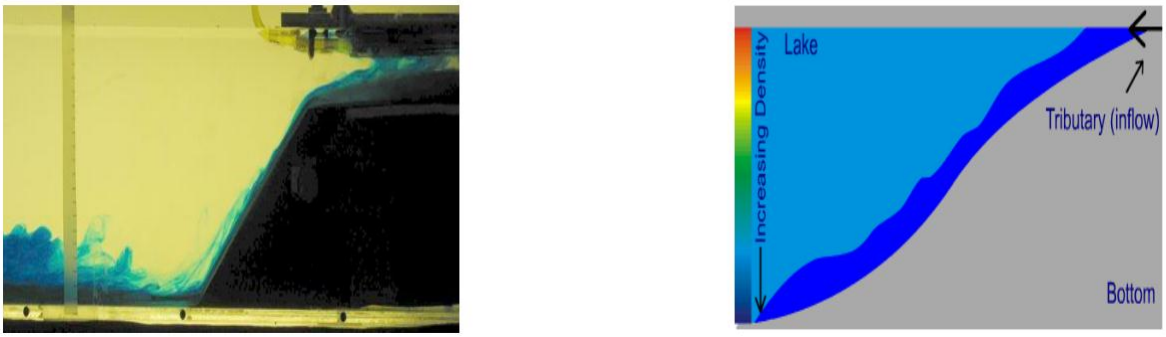
به‌طورکلی در مطالعه جریان‌های چگالی، سه ناحیه وجود دارد: سیال محیطی، جریان چگال و بستر. زمانی‌که جریانی از سیال با چگالی متفاوت وارد مخزن آب می‌شود برحسب اختلاف چگالی بین دو سیال، سه نوع جریان می تواند شکل بگیرد: اگر چگالی سیال ورودی به مخزن از چگالی آب موجود در مخزن کم‌تر باشد ($\rho_{av} < \rho_a$) لایه ای از سیال در راستای سطح آزاد حرکت خواهد کرد که در این حالت جریان رورونده[1] نامیده می‌شود (شکل۱-۲)(لی و یو، ۱۹۹۷).



شکل ۱-۲- نمایی از جریان غلیظ روگذر (قمشی، ۱۳۹۱)

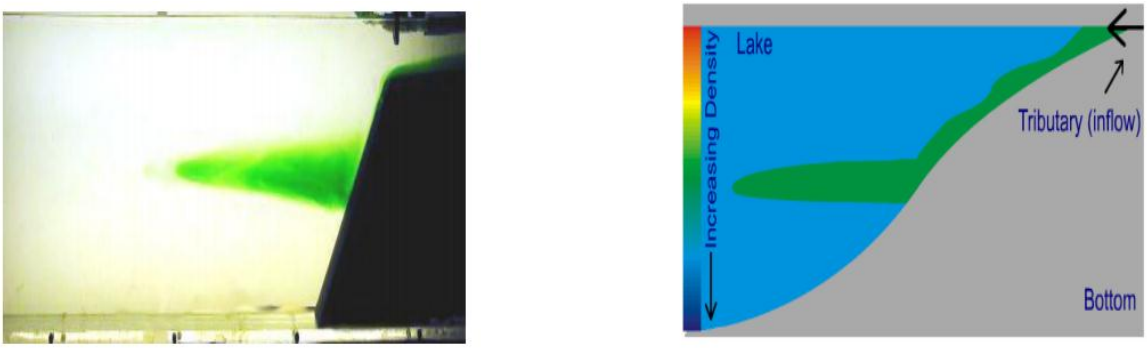
[1] Overflow

برعکس، اگر چگالی سیال ورودی از چگالی آب موجود در مخزن بیشتر باشد ($\rho_{av} > \rho_a$)، در این حالت جریان زیررونده[1] نامیده می‌شود (شکل۱-۳) (لی و یو، ۱۹۹۷).



شکل ۱-۳- نمایی از جریان غلیظ زیرگذر (قمشی، ۱۳۹۱)

و در نهایت اگر ناهمگنی آب درون مخزن مثلاً به دلیل اختلاف دما باشد، سیال ورودی در جهت لایه میانی حرکت خواهدکرد که در این حالت جریان میان‌رونده[2] نامیده می‌شود (شکل۱-۴) (لی و یو، ۱۹۹۷).

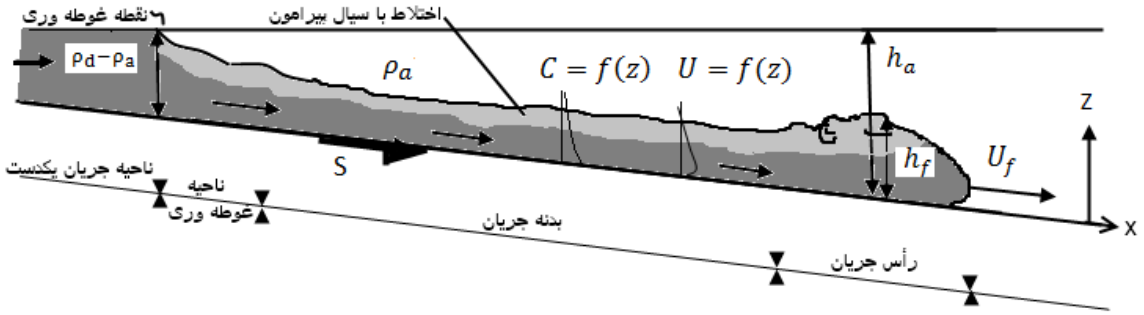


شکل ۱-۴- نمایی از جریان غلیظ میان‌گذر (قمشی، ۱۳۹۱)

جریان مورد بحث در مخازن سدها غالباً جریان زیررونده می‌باشد. یک جریان غلیظ زیرگذر دارای ۴ ناحیه می‌باشد:

۱- ناحیه قبل از ورود به مخزن (یا جریان یک‌دست) ۲- ناحیه غوطه‌وری ۳- بدنه جریان ۴- پیشانی (یا رأس) جریان

[1] Underflow
[2] Interflow



شکل ۱-۵- شماتیک اجزای تشکیل‌دهنده جریان غلیظ (صدیق، ۱۳۸۶)

هنگامی‌که جریان غلیظ وارد مخزن ساکن با چگالی کمتر می‌شود، در ابتدا جریان ورودی، آب پیرامون خود را جابه‌جا می‌کند تا آنجا که نیروها به تعادل برسند. در نقطه تعادل، جریان با دانسیته بیشتر زیر سطح آب فرو می‌رود، این نقطه را نقطه غوطه‌وری می‌نامند (قمشی، ۱۳۹۱).

جریان غلیظ به واسطه رأس خود وارد سیال پیرامون می‌گردد، که حرکت آن به‌دلیل گرادیان فشار ناشی از تفاوت جرم مخصوص بین رأس و سیال محیطی می‌باشد (دی‌سزار، ۱۹۹۸).

در مقایسه رأس و بدنه جریان غلیظ، مشخصاتی از قبیل ارتفاع بیشتر، سرعت کمتر، وجود دماغه‌ای در جلو، جریان غیردائمی و نامنظم، رأس جریان را از بدنه متمایز می‌سازند. در یک مقطع مشخص بعد از عبور رأس جریان غلیظ و تلاطم‌های آن، جریان غلیظ حالتی شبه‌یکنواخت پیدا کرده که ناحیه بدنه جریان را تشکیل می‌دهد. به‌دلیل وجود هاله‌ای از جریان غلیظ در مرز مشترک، محل دقیق مرز و در نتیجه ارتفاع بدنه جریان قابل تشخیص نمی‌باشد (قمشی، ۱۳۹۱).

جریان‌های چگالی را می‌توان به دو دسته جریان‌های چگالی پایستار یا فاقد ذره مانند جریان آب نمک و جریان‌های چگالی ناپایستار یا حاوی ذرات معلق تقسیم کرد که در این صورت اصطلاحاً جریان گل‌آلود نامیده می‌شود. بیشتر جریان‌های چگالی طبیعی، حاوی ذرات معلق می‌باشند. در واقع جریان‌های گل‌آلود آن دسته از جریان‌های چگالی هستند که اختلاف چگالی که محرک اصلی رانش این جریان‌ها است، از وجود ذرات معلق در جریان ناشی می‌شود (هاپرت و سیمپسون، ۱۹۸۰).