

بررسی آزمایشگاهی کنترل جریان غلیظ رسوبی به کمک احداث مانع

سید امین اصغری پری^{۱*}، سید محمود کاشفی پور^۲ و مهدی قمشی^۳

* دانش آموخته دکتری گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز asghari.amin56@gmail.com

۲ و ۳ - استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۷

چکیده

جریان های غلیظ از جمله عوامل مهم در انتقال رسوبات به مصب دریاها و مخازن سدها می باشند. یکی از روش های کاهش و یا حذف اثر این جریان استفاده از مانع در مسیر آن ها می باشد. مانع می تواند جلوی بخشی و یا تمام جریان غلیظ را سد نماید و در نتیجه رسوبات در مناطق دورتری نسبت به تاسیس مهمی مانند سدها ته نشین گردند. به منظور بررسی اثر مانع بر روی کنترل جریان غلیظ، آزمایشات در یک فلوم آزمایشگاهی انجام پذیرفت. در این تحقیق جریان غلیظ به کمک رسوبات با $250 \mu m$ ، $29/7$ میکرومتر تهیه و شرایط جریان عبوری از مانع در دبی ها و شیب های مختلف بررسی گردید. نتایج نشان می دهد با وجود اینکه اثر مانع در جریان زیر بحرانی بیشتر از جریان فوق بحرانی است لیکن وجود مانع می تواند تأثیر نسبتاً قابل ملاحظه ای بر روی دبی رسوبی عبوری از مانع حتی در جریان های فوق بحرانی داشته باشد.

کلید واژه ها: اثر مانع، انتقال رسوب، جریان غلیظ، مخازن سدها

مقدمه

جریان های غلیظ یکی از مهم ترین عوامل انتقال رسوبات به قعر اقیانوس ها، دریاها و مخازن سدها می باشند و اولین ثبت رخداد این گونه از جریان ها به سال ۱۹۲۹ در ساحل گراند در نیو فتلاند بر می گردد که در اثر وقوع زلزله ای در ساحل، سیب های تلگراف در زیر دریا پاره شدند. نتایج مطالعات نشان داد که زلزله باعث نشست و گسیختگی توده عظیمی از گل در ساحل شده و در اثر ایجاد جریان غلیظ کابل ها در فاصله زمانی متوالی در ۲ یا ۳ نقطه دورتر از ساحل قطع شدند. همچنین در سال ۱۹۳۵ در مصب رودخانه ریو مگدالنا در کشور کلمبیا ۴۵۰ متر از موج شکن ساحلی در دریا فرو ریخت و در همان شب در فاصله ۲۴ کیلومتری از دهانه رودخانه در عمق ۱/۵ کیلومتری در یکی از دره های زیر آب یک کابل واقع در دریا قطع شد. در حین ترمیم این پارگی مقداری علف که به دور کابل پیچیده شده بود پیدا

شد. بررسی ها نشان داد که این نوع علف در حوالی موج شکن می روید؛ لذا این نظریه اظهار شد که در اثر فرو ریزی موج شکن در ساحل و ایجاد یک جریان غلیظ بسیار قوی این پارگی در فاصله ای دور از ساحل رخ داده است [۲۱]. امروزه به دلیل اهمیت جریان های غلیظ در ایجاد کانال های بزرگ و عمیق و همچنین تأثیر بر توپوگرافی کف دریاها و اقیانوس ها مطالعات نسبتاً گسترده ای در خصوص بررسی جریان های غلیظ رسوبی صورت پذیرفته است (پربسکی و همکاران ۱۹۹۱، بل و اسکرانتن ۱۹۹۲، کید ۱۹۹۲ به نقل از الکساندر و موریس ۱۹۹۴). یکی از موارد مهم بررسی اثر موانع یا توپوگرافی های کف در انحراف و یا تله اندازی جریان های غلیظ و شرایط رسوبگذاری در اثر برخورد جریان با آنهاست. این موضوع در برخورد جریان های غلیظ با سواحل و همچنین در کنترل جریان غلیظ در مخازن نیز حائز اهمیت است. احداث مانع در برابر جریان

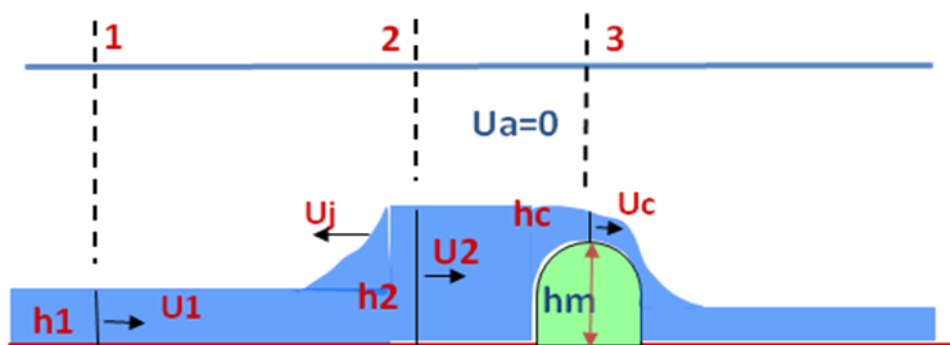
مانع عبور نماید. حالت سوم زمانی به وجود می‌آید که ارتفاع مانع به حدی برسد که امکان عبور کامل جریان حتی با عمق بحرانی امکان پذیر نباشد. در این حالت بخشی از جریان از روی مانع عبور نموده و بخش دیگر به صورت یک موج داخلی یا پرش هیدرولیکی متحرک به سمت بالادست حرکت می‌نماید که این پرش موجب استهلاک انرژی و تنظیم شرایط جریان در بالادست و پایین دست می‌شود. حالت چهارم زمانی به وجود می‌آید که ارتفاع مانع به حدی افزایش یابد که کل جریان متوقف گردد. در ادامه برای شناخت از شرایط و حالات توصیفی ذکر شده به طور ساده به بررسی معادلات حاکم پرداخته خواهد شد. شکل (۱) به طور شماتیک برخورد یک جریان دو لایه با یک مانع را نشان می‌دهد. اگر از حرکت لایه بالایی صرف‌نظر کنیم، جریان بسیاری از ویژگی‌های هیدرولیکی یک جریان با سطح آزاد معمولی را دارد و تقریب آب‌های کم عمق برای آن‌ها معتبر می‌باشد. اگر از اثر اختلاط آب و اصطکاک نیز صرف‌نظر شود و با فرض اینکه فرسایش و رسوبگذاری رخ نمی‌دهد، از معادلات پیوستگی و ممتوم برای جریان دو لایه با ساده سازی می‌توان نوشت [۱۸].

غلیظ اولاً باعث می‌گردد بخش زیادی از رسوب پشت مانع ته نشین شود و ثانیاً بخشی از جریان نیز که از روی مانع عبور کرده است به دلیل کاهش چگالی نسبی (عامل حرکت) مستهلک گردد. در این تحقیق تاثیر ارتفاع مانع بر روی کنترل جریان غلیظ رسوبی در شرایط مختلف دبی و شیب کف در آزمایشگاه بررسی شده است.

تئوری تاثیر مانع بر جریان غلیظ

تحقیقات متعددی در ارتباط با برخورد جریان دو فازی با مانع انجام گردیده است. این تحقیقات متناسب با نیاز صنایع در رشته‌های مختلفی از جمله هواشناسی، اقیانوس شناسی، مکانیک و در دهه اخیر در زمینه عمران جهت کنترل رسوبگذاری در مخازن سدها صورت گرفته است. هنگامی که یک جریان غلیظ (دو لایه) به یک مانع برخورد می‌نماید بسته به ارتفاع مانع و شرایط جریان حالت‌های مختلفی اتفاق می‌افتد که می‌توان آن‌ها را در ۴ حالت کلی زیر تقسیم بندی نمود.

حالت اول زمانی است که ارتفاع مانع کم باشد در این حالت جریان به طور کامل از روی مانع عبور می‌نماید. حالت دوم زمانی است که ارتفاع مانع به حدی برسد که کل جریان با عمق بحرانی از روی



شکل (۱) شماتیک از برخورد جریان دو لایه با مانع

با حل جریان به صورت دائمی می‌توان نشان داد که برای هر مقدار از عدد فرود چگال ورودی، ارتفاع نسبی از مانع ($H_m = H_{mc}$) وجود دارد که جریان بر روی مانع بحرانی می‌شود. با نوشتن معادله برنولی بین مقاطع ۱ و ۳، می‌توان H_{mc} را تعیین نمود. این معادله توسط لانگ (۱۹۵۴) به صورت زیر بیان شده است [۱۶].

$$H_{mc} = 1 + \frac{Fr_{d1}^2}{2} - \frac{3}{2} Fr_{d1}^{\frac{2}{3}} \quad (۴)$$

لانگ (۱۹۷۰) حل دائمی دیگری برای جریان بدون توقف نسبی بدست آورد که در آن H_m تابعی است از Fr_{d1} که از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۷]:

$$H_m = \frac{(8Fr_{d1}^2 + 1)^{\frac{3}{2}} + 1}{16Fr_{d1}^2} - \frac{1}{4} - \frac{3}{2} Fr_{d1}^{\frac{2}{3}} \quad (۵)$$

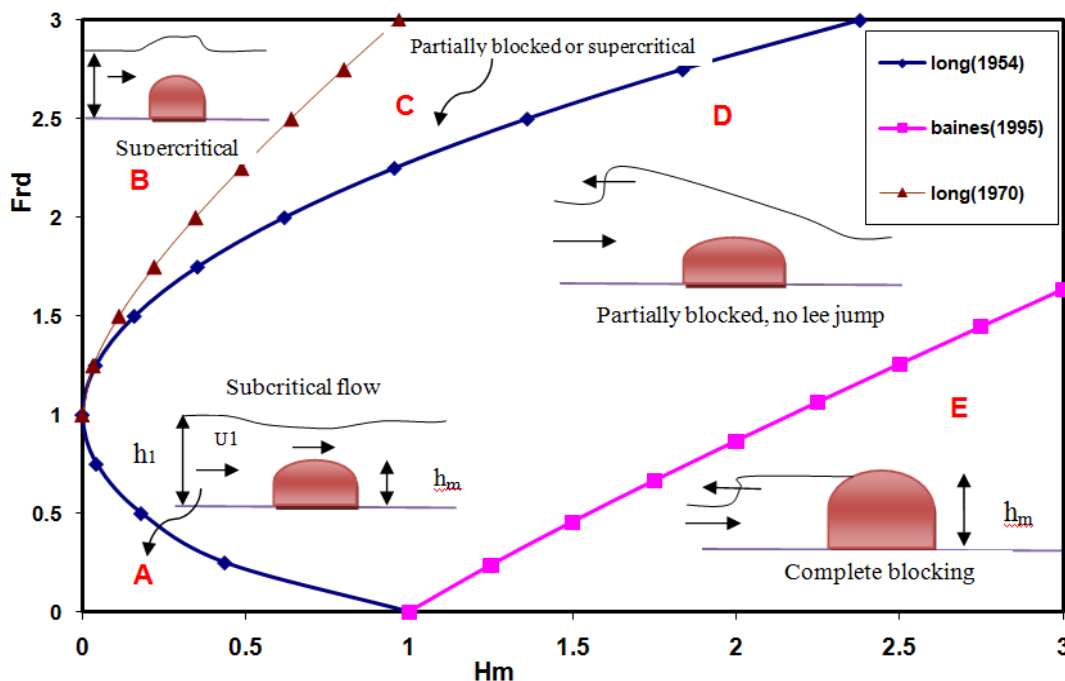
$$\frac{dh}{dt} + \frac{d}{dx}(Uh) = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{dU}{dt} + U \frac{dU}{dx} + g' \frac{d}{dx}(h_m + h) = 0 \quad (۲)$$

که در آن h_m ارتفاع مانع و g' شتاب ثقل کاهش یافته است که برابر است با.

$$g' = g \left(\frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_a} \right) = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \quad (۳)$$

که در معادله فوق ρ_t چگالی جریان غلیظ و ρ_a چگالی سیال ساکن پیرامون است. علامت U در این معادلات سرعت افقی جریان غلیظ است که در عمق لایه پایینی متوسط گیری شده است. جریان عبوری از روی مانع با دو متغیر مستقل توصیف می‌شوند، عدد فرود چگال جریان نزدیک شونده، $Fr_{d1} = \frac{U_1}{\sqrt{g' h_1}}$ و ضریب بدون بعد $H_m = \frac{h_m}{h_1}$ که نسبت ارتفاع مانع به ارتفاع جریان ورودی می‌باشد.



شکل (۲) رژیم جریان عبوری از روی مانع برای جریان بالایی با عمق نامحدود

(شکل ۱). اگر ارتفاع مانع به حدی برسد که از ارتفاع h_2 نظیر پرش هم بیشتر باشد آنگاه جریان کاملاً متوقف خواهد شد. بینز (۱۹۹۵) این شرایط را به صورت معادله زیر بیان نمود.

حال در صورتی که $H_m > H_{mc}$ باشد جریان به طور نسبی متوقف می‌شود. در این حالت یک موج داخلی یعنی پرش هیدرولیکی متحرک تشکیل می‌شود که به سمت بالادست با سرعت U_j حرکت می‌کند

تحلیلی با فرضیات ساده شونده بررسی نمودند. آن‌ها از ۱۰ معادله برای توصیف جریان قبل و بعد از مانع و برای شرایط ورودی جریان از نتایج آزمایشات خود که در شیب افقی و با دبی ثابت ولی با تغییر غلظت و ارتفاع مخزن بدست آمده بود، استفاده نمودند و ۱۱ معادله حاصل را به روش تکرار حل کردند [۱۵]. پرینز (۱۹۹۹) تاثیر دو شکل نیم دایره و مثلثی و موقعیت مانع را در شیب افقی با استفاده از آزمایشات مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که شکل مانع تأثیری در انسداد جریان ندارد و در عدد فرود ۰.۷ تا ۰.۸ ارتفاع مانع ۲ برابر ارتفاع بدنه جریان باعث توقف جریان می‌شود [۱۹]. برسیک و ودز (۲۰۰۰) به تاثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل نسبی جریان پرداختند و آن‌ها اعلام نمودند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوبگذاری جریان موثر است که باعث توقف نسبی جریان شود [۷].

اوهی (۲۰۰۲) به تاثیر روش‌های مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک، جت آب ۴۵ درجه و ۹۰ درجه و دیواره حباب بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخت. او برای یک ارتفاع مانع و برای دو شیب صفر و ۴/۶۴ درصد به بررسی وضعیت جریان عبوری از مانع پرداخت و به طور کلی نتیجه گیری نمود که احداث مانع در جریان زیر بحرانی برای کنترل جریان مناسب است [۱۸] کوبو (۲۰۰۴) تأثیرات توپوگرافی را به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی رسوبگذاری جریان‌های غلیظ بررسی کرد. وی آزمایشات خود را بر روی یک سری برآمدگی کوچک (hump)، با ارتفاع‌های ۱/۲ و ۳/۶ سانتیمتر انجام داد. او به این نتیجه رسید که رسوبگذاری به طور موضعی در بالادست برآمدگی‌ها افزایش می‌یابد و علت آن انسداد قسمتی از جریان توسط مانع و کاهش سرعت در بالا دست این موانع است. [۱۲].

$$Fr_{d1}^2 = (H_m - 1)^2 \left(\frac{H_m + 1}{2H_m} \right) \quad (۶)$$

معادلات (۴)، (۵) و (۶) در شکل (۲) ترسیم گردیده است. همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد. در ناحیه A جریان دائمی و زیر بحرانی و در ناحیه B جریان دائمی و فوق بحرانی است. در ناحیه C بسته به شرایط جریان، جریان یا دائمی فوق بحرانی و یا نسبتاً متوقف شده خواهد بود. در ناحیه D انسداد نسبی جریان رخ می‌دهد و در ناحیه E مانع به حد کافی بلند بوده است که توانسته جریان را کاملاً متوقف نماید [۴].

نسبتی از جریان ورودی که از روی مانع عبور می‌کند می‌تواند توسط معادله (۷) محاسبه شود.

$$\eta = \frac{q_c}{q_1} = \frac{\sqrt{g' h_c^3}}{U_1 h_1} = \frac{\sqrt{g'(h_2 - h_m)^3}}{U_1 h_1} \quad (۷)$$

که q_c دبی بحرانی در واحد عرض عبوری از روی تاج می‌باشد [۱۸].

مروری بر تحقیقات پیشین

لانگ (۱۹۵۴ و ۱۹۷۰) به بررسی جریان یک لایه و همچنین جریان دو لایه با عمق لایه بالایی نا محدود با مانع پرداخت ۱۶ و ۱۷]. گرین اسپن و یانگ (۱۹۷۸) تاثیر مانع با زاویه‌های برخورد ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را با جریان حاصل از شکست یک مخزن بررسی نمودند [۹]. رتمن و همکاران (۱۹۸۵) به حل تحلیلی جریان دو فازی در شیب افقی با مانع در جریان دائمی و غیر دائمی پرداختند و نتیجه گرفتند که در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان باشد جریان به طور کامل مسدود می‌شود [۲۰]. نلر و همکاران (۱۹۹۱) به بررسی انعکاس جریان غلیظ با دیواره سواحل با زوایای مختلف و الکساندر و موریس (۱۹۹۴) به بررسی آزمایشگاهی جریان غلیظ با غلظت بالا و تغییرات الگو و توزیع رسوبگذاری در اطراف مانع پرداختند [۱۱ و ۲]. لین سرف و همکاران (۱۹۹۵) جریان با عمق لایه بالایی محدود و نامحدود را به صورت

دانه بندی رسوبات عبوری ریز تر و غلظت نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌شد [۱۴]

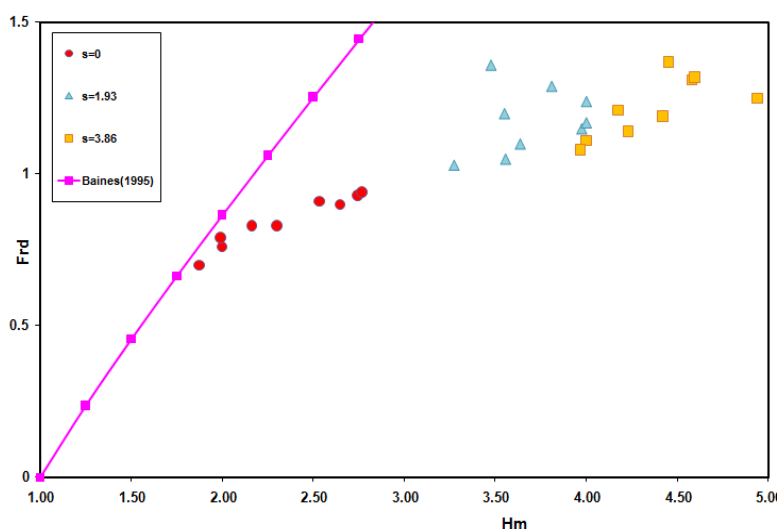
تنیولو و همکاران ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ به بررسی راندمان تله اندازی رسوب در مخازن سدها پرداختند. آن‌ها همچنین پروفیل غلظت قبل از مانع را در زمان‌های مختلف برداشت کردند و به این نتیجه رسیدند که به ازای دبی و غلظت ثابت ورودی، این پروفیل در طی زمان تغییر محسوسی ندارد. آن‌ها با شبیه سازی عددی نیز نشان دادند که در اثر مرور زمان راندمان تله اندازی مانع کم می‌شود و رسوبات بیشتری اجازه عبور از مانع را پیدا می‌کنند. [۲۳ و ۲۴]

بیرمن و همکاران (۲۰۰۹) به صورت عددی به بررسی ساختار خاکریزهای زیردریایی و نحوه شکل گیری آن‌ها توسط جریان غلیظ پرداختند. این خاکریزها از سرریز شدن جریان غلیظ از لبه‌های کانال به بیرون به وجود می‌آیند. آن‌ها با فرض دائمی بودن جریان غلیظ عبوری از روی لبه این کانال‌ها به این نتیجه رسیدند که پروفیل این خاکریزها متناسب با پروفیل کاهشی غلظت می‌باشد. از آنجا که روند کاهشی پروفیل غلظت از تابع نمایی و توانی پیروی می‌کند، به این نتیجه رسیدند که با فرض اختلاط صفر، شکل خاکریزهای به وجود آمده از قانون نمایی و با فرض وجود اختلاط از قانون توانی پیروی می‌کند [۵]

اصغری (۱۳۸۸) با بررسی آزمایشگاهی و با جریان نمکی به بررسی ارتفاعی از مانع که باعث کنترل جریان غلیظ در شرایط مختلف ورودی (دبی، غلظت و شیب) پرداخت [۱]. نتایج آزمایشات او بر روی جریان غلیظ نمکی در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شیب اثر ارتفاع مانع در توقف جریان غلیظ کاهش می‌یابد.

لم و همکاران (۲۰۰۴) به شبیه سازی حوضچه‌های موجود در خلیج مکزیک پرداختند و مدلی را به صورت آزمایشگاهی از این حوضچه‌ها ساختند. آن‌ها دو سری آزمایش (یک سری جریان غلیظ پیوسته و دیگری با جریان غلیظ محدود) بر روی جریان غلیظ ورودی به حوضچه و نقش آن در تله اندازی رسوبات انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در مورد جریان محدود که در آن جریان غلیظ رسوبی در طی مدت کوتاهی به درون فلوم تزریق می‌شود، راندمان تله اندازی بسیار بالا است و به مقدار ۹۹ درصد می‌رسد. ولی در مورد جریان دائمی این مقدار کمتر می‌شود. اما میزان رسوبات از لحاظ حجمی بیشتر از جریان غلیظ محدود است. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که در جریان دائمی در مواردی که دانه بندی درشت‌تر است راندمان نیز افزایش می‌یابد [۱۳]

لم و همکاران (۲۰۰۶) چند آزمایش را بر روی راندمان تله اندازی رسوبات توسط مدل فیزیکی یک حوضچه انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند موقعی که جریان رسوبی به مانع می‌رسد مقداری از آن به علت داشتن ممتوم کافی از روی مانع عبور می‌کند. این در حالی است که بقیه به صورت یک موج متحرک به بالا دست منعکس می‌شوند. در برخی مواقع این موج به دریچه می‌رسد و در برخی موارد موج بعد از طی فاصله‌ای به بالادست، در یک نقطه به موج ایستاده تبدیل می‌شود. آزمایشات دارای غلظت اولیه ۵ درصد بود. بعد از اینکه جریان دائمی می‌شد اقدام به نمونه گیری غلظت قبل و بعد از مانع و در فواصل مختلف زمانی می‌شد. ایشان بعد از آنالیز نمونه‌های به دست آمده به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی غلظت جریان عبوری بعد از اینکه جریان دائمی شد، قابل ملاحظه نبود و همچنین



شکل (۳) اثر شیب بر توقف جریان غلیظ

ثانیه می‌باشد. برای شرایط ورودی جریان ۲ دبی و ۳ شیب در نظر گرفته شد. بازشدگی دریاچه در کلیه آزمایشات ۳ سانتی متر بوده است. همان‌گونه که ذکر گردید ارتفاع مانعی که باعث توقف جریان غلیظ می‌گردد به شرایط ورودی جریان بستگی دارد؛ بنابراین ابتدا آزمایشات بدون وجود مانع برای کلیه شرایط جریان انجام گردید و جهت شناخت بهتر از شرایط رسوبگذاری در امتداد فلوم در فواصل ۰/۶ متر، ۱/۱ متر، ۱/۸ متر، ۳/۸ متر و ۵/۷۷ متری از ابتدای دریاچه مطابق با شکل (۴) نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری غلظت از بدنه جریان غلیظ انجام پذیرفت. سپس با استفاده از نتایج تحلیل‌های لین سرف و همکاران (۱۹۹۵)، بینز (۱۹۹۵) و اصغری (۱۳۸۸) و نتایج در خصوص بررسی ارتفاع مانع در کنترل جریان غلیظ نمکی، ارتفاع مانع ۳۲ سانتی متری، در فاصله ۴/۹ متری از دریاچه و برای پوشش محدوده متفاوتی از شرایط جریان شامل انسداد کامل جریان، عبور کم جریان و عبور نسبتاً کامل جریان از روی مانع در نظر گرفته شد. شکل (۵) شماتیکی از فلوم آزمایشگاهی و سیستم‌های

به طور کلی نتایج مطالعات این محققین نشان می‌دهد که ارتفاعی از مانع که باعث کنترل و توقف جریان غلیظ می‌شود به شرایط ورودی جریان بستگی دارد. با توجه به موارد فوق در خصوص ارتفاعی از مانع که باعث توقف جریان غلیظ رسوبی در شرایط مختلف جریان ورودی می‌گردد بررسی‌های جامعی صورت نگرفته است؛ لذا در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی اثر کنترلی مانع در شرایط مختلف ورودی جریان (شیب و دبی) پرداخته شده است.

روش تحقیق

هدف این تحقیق ایجاد شرایط مختلف جریان در شیب و دبی‌های متفاوت و کنترل جریان غلیظ با مانع می‌باشد؛ لذا آزمایشاتی در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، ارتفاع ۷۰ سانتی متر و عرض ۳۵ سانتی متر انجام گردید. در این مدل از جریان رسوبی به عنوان جریان غلیظ استفاده گردید. رسوبات مورد استفاده پودر سنگ با مشخصات $G_s = 2/65$ و با 0.297 d_{50} میلی‌متر و سرعت سقوط ۷۳ میلی‌متر بر

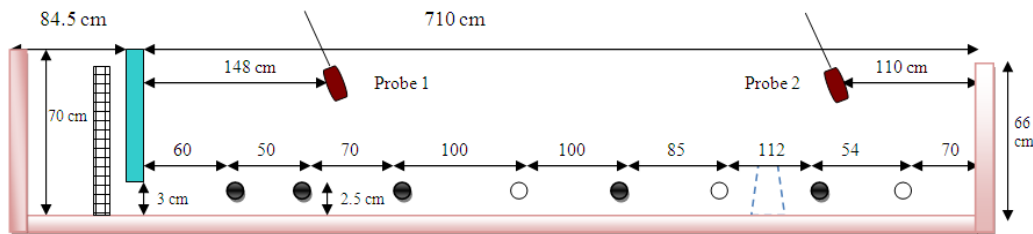
مورد نظر باز گردد. برای کنترل دبی ورودی به فلوم از دبی سنج الکترومغناطیس استفاده شد و شیر خروجی با توجه به تراز آب کالیبره گردید. در کلیه آزمایشات دبی ورودی و خروجی یکسان بود و لذا تراز آب در فلوم در طول آزمایش ثابت بود. جهت محاسبه سرعت متوسط و عمق متوسط جریان از روابط ارائه شده زیر که توسط ترنر (۱۹۵۹) ارائه گردیده است، استفاده شد [۲۲]

$$\bar{U} = \frac{\int_0^{h_t} u^2 dz}{\int_0^{h_t} u dz} \quad (۹)$$

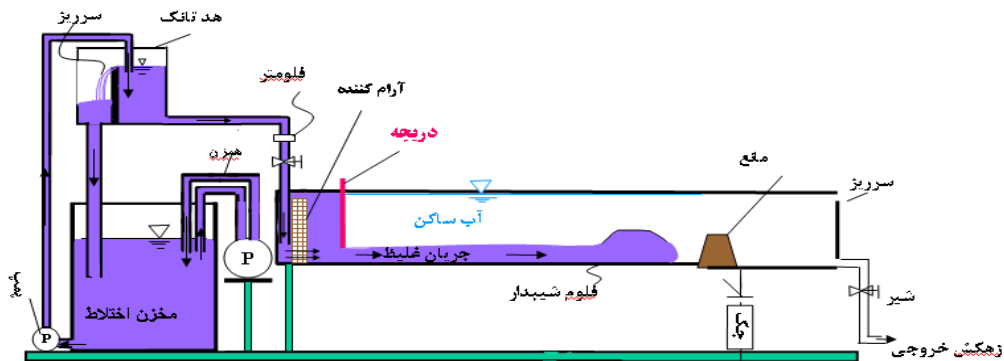
$$\bar{h} = \frac{\left(\int_0^{h_t} u dz\right)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad (۱۰)$$

که در آن‌ها h_t ارتفاعی از جریان است که سرعت صفر می‌شود.

متصل به آن را نشان می‌دهد و در جدول (۱) شرایط جریان بدون مانع و با مانع را نشان می‌دهد. شکل مانع در کلیه آزمایشات به صورت یک سد با مقطع دوزنقه با شیب ۱ به ۱ در دو سمت بوده است. پروفیل سرعت در دو مقطع، یکی در بالادست مانع و دیگری در پایین دست مانع و با استفاده از سرعت سنج اکوستیک DOP2000 اندازه گیری گردید. در کلیه آزمایشات دمای مخزن جریان غلیظ در فلوم و دمای آب ساکن اندازه گیری گردید تا اطمینان حاصل شود که جریان غلیظ تنها ناشی از تفاوت غلظت میان جریان رسوبی و آب شفاف باشد. تفاوت دما حداکثر در حد ۲ درجه سانتی‌گراد باقی می‌ماند. چگالی جریان غلیظ و آب ساکن با هیدرومتر اندازه گیری گردیده است. جهت دقت بیشتر در آزمایشات خصوصاً محاسبه سرعت پیشانی جریان، دریاچه به گونه‌ای طراحی و اجرا گردید، که به طور آبی به اندازه



شکل (۴) موقعیت قرار گیری پر اب های اندازه گیری سرعت و مکان‌های اندازه گیری غلظت که به صورت دایره‌های تو پر نشان داده شده است



شکل (۵) شکل شماتیک فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده

جدول (۱) مشخصات آزمایشات و شرایط ورودی جریان با و بدون مانع

ردیف	شیب (%)	دبی (L/s)	ارتفاع مانع (cm)	ارتفاع آب (cm)	دمای جریان غلیظ فلوم (C)	دمای آب ساکن (C)	چگالی آب ساکن (kg/m ³)	چگالی جریان غلیظ در فلوم (kg/m ³)
۱	۰	۱/۴	۰	۶۶	۱۸/۸	۱۷/۸	۱۰۰۰/۵	۱۰۰۸/۵
۲	۰	۲	۰	۶۶	۱۸/۷	۱۷/۷	۱۰۰۰/۵	۱۰۰۹/۵
۳	۱/۹۳	۱/۴	۰	۵۲/۵	۱۹/۲	۱۷/۹	۱۰۰۰/۵	۱۰۱۰/۲
۴	۳/۸۶	۱/۴۱	۰	۳۸/۵	۱۸/۶	۱۷/۹	۱۰۰۱	۱۰۱۰
۵	۳/۸۶	۲	۰	۳۸/۵	۱۸/۶	۱۷/۷	۱۰۰۱/۲	۱۰۱۰/۵
۶	۰	۱/۴	۳۲	۶۶	۱۸/۵	۱۷/۶	۱۰۰۰/۵	۱۰۱۰/۵
۷	۰	۲	۳۲	۶۶	۱۸/۵	۱۷/۵	۱۰۰۰/۵	۱۰۱۱
۸	۱/۹۳	۱/۴	۳۲	۵۲/۵	۱۸/۳	۱۷/۶	۱۰۰۰/۲	۱۰۱۰
۹	۳/۸۶	۱/۴	۳۲	۳۸/۵	۱۸/۳	۱۷/۷	۱۰۰۰/۵	۱۰۱۰
۱۰	۳/۸۶	۲	۳۲	۳۸/۵	۱۸/۴	۱۷/۶	۱۰۰۰/۵	۱۰۱۰/۵

نتایج و بحث

همان شکل اولیه قبل از مانع، ولی با سرعت کمتر ادامه مسیر می‌دهد (شکل ۶) و بخشی از جریان به صورت یک موج به سمت بالادست جریان حرکت می‌کند. جدول (۲) سرعت پیشانی جریان قبل از مانع، بعد از مانع و سرعت موج برگشتی به سمت بالادست را نشان می‌دهد. در شیب‌های ۱/۹۳ و ۳/۸۶ درصد (جریان فوق بحرانی) شکل موج برگشتی به صورت یک پرش هیدرولیکی با پیشانی تند می‌باشد ولی در شیب صفر این موج به صورت یک تغییر شکل تدریجی در ارتفاع جریان است که به صورت امواج منفرد دیده می‌شود (شکل ۷).

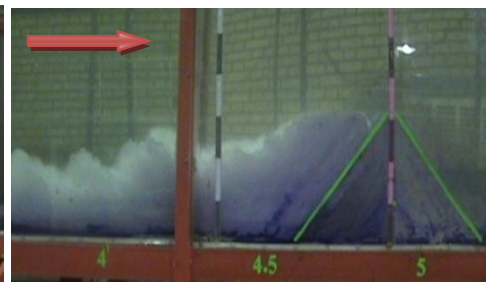
در کلیه آزمایشات عدد رینولدز جریان بیشتر از ۲۰۰۰ بوده، لذا می‌توان گفت این عدد پارامتر موثری در این آزمایشات نبوده است. جریان غلیظ پس از عبور از زیر دریچه حداکثر تا حدود ۰/۸ متر اول توسعه یافته و پس از آن با ارتفاع یکسان ادامه مسیر می‌دهد. از این رو اندازه گیری پروفیل سرعت در فاصله ۱/۵ متری از دریچه انجام گرفته است. در این تحقیق با توجه به شرایط جریان در بدنه جریان غلیظ دو رژیم جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی در نظر گرفته شده است. پس از برخورد جریان با مانع (در موانعی که جریان به طور کامل مسدود نشده اند) بخشی از جریان از روی مانع عبور کرده و با

جدول (۲) سرعت جریان قبل از مانع (U_{f1})، بعد از مانع (U_{f2}) و سرعت موج برگشتی (U_J)

آزمایش.	$U_{f1}(m/s)$.	$U_{f2}(m/s)$.	$U_J(m/s)$.
۶	۰/۰۵۸	۰	-۰/۰۵۲
۷	۰/۰۷۷	۰/۰۵۵	-۰/۰۵۵
۸	۰/۰۷۱	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۱
۹	۰/۰۷۱	۰/۰۵۸	-۰/۰۳۲
۱۰	۰/۰۸۱	۰/۰۶۶	-۰/۰۳۴



(ب) بعد از مانع



(الف) قبل از مانع

شکل (۶) تصاویر برخورد جریان غلیظ با مانع در دبی ۱/۴ lit/s، شیب ۱/۹۳ ارتفاع مانع ۳۲



(ب)

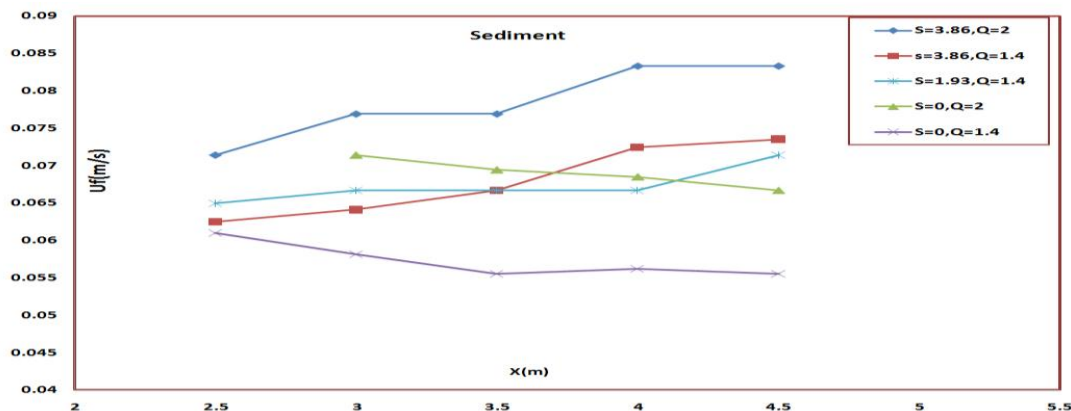


(الف)

شکل (۷) تصاویر امواج برگشتی از مانع (الف) جریان فوق بحرانی شیب ۳/۸۶ (ب) جریان زیر بحرانی شیب صفر

حرکت) می‌باشد و دلیل افزایش سرعت بر روی شیب‌ها را می‌توان به علت کاهش استغراق نسبی $\frac{h}{H}$ در امتداد شیب (h ارتفاع بدنه جریان غلیظ و H ارتفاع کل سیال است) و در نتیجه کاهش اثر جریان برگشتی آب ساکن در بالای جریان غلیظ دانست که در رسوبات ریز دانه موثر تر از کاهش کم g' بر روی شیب است

سرعت پیشانی جریان غلیظ رسوبی ریزدانه در آزمایشات بدون مانع در شیب صفر، ۱/۹۳ و ۳/۸۶ با فاصله در شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد سرعت پیشانی جریان در شیب صفر کمی کاهش می‌یابد، ولی در روی شیب‌های بزرگ‌تر از صفر سرعت پیشانی جریان افزایش می‌یابد. کاهش سرعت هد با فاصله در شیب صفر به دلیل کاهش g' (عامل



شکل (۸) روند سرعت پیشانی جریان غلیظ قبل در حالت بدون مانع در امتداد فلوام

پارامترهای $\frac{h_{max}}{h}$ و $\frac{U_{max}}{U}$ مقایسه گردید.

مقدار $\frac{U_{max}}{U}$ و $\frac{h_{max}}{h}$ برای پروفیل‌های اندازه

گیری شده توسط محققین دیگر به ترتیب آلتیناکار (۱۹۸۸) $1/3$ و $0/3$ ، گارسیا (۱۹۸۹) به نقل از اوهی (۲۰۰۲) $1/4$ و $0/15$ ، اوهی (۲۰۰۲) $1/4$ و $0/25$ و در این تحقیق $1/36$ و $0/26$ بوده است که در محدوده قابل قبولی قرار دارد. تفاوت میان مقادیر اندازه گیری شده به جهت تاثیر شیب کف و دقت دستگاه‌های اندازه گیری سرعت بوده که نسبتاً با نتایج اوهی (۲۰۰۲) که با دستگاه UVP انجام شده مطابقت خوبی دارد. غلظت‌های اندازه گیری شده در امتداد فلوام برای آزمایشات ۱ تا ۵ (بدون مانع) نشان دهنده کاهش نمایی غلظت با مسافت است که با نتایج ودزو همکاران (۱۹۹۸)، برسیک و ودز (۲۰۰۰)، اوهی (۲۰۰۲) و کوبو (۲۰۰۴) مطابقت دارد (شکل ۹).

همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد غلظت نقطه‌ای در فاصله ۰.۶ متری از دریچه کمتر از نقطه بعدی است که علت آن محدب بودن منحنی غلظت در منطقه تحت تاثیر دریچه بوده، که به دلیل واقع شدن در لایه مرزی متلاطم می‌باشد (گارسیا ۱۹۹۴ به نقل از لم و همکاران ۲۰۰۶) [۱۴].

بریتز ولیندن (۱۹۸۰) رابطه زیر را برای سرعت پیشانی جریان ارائه نمودند [۶].

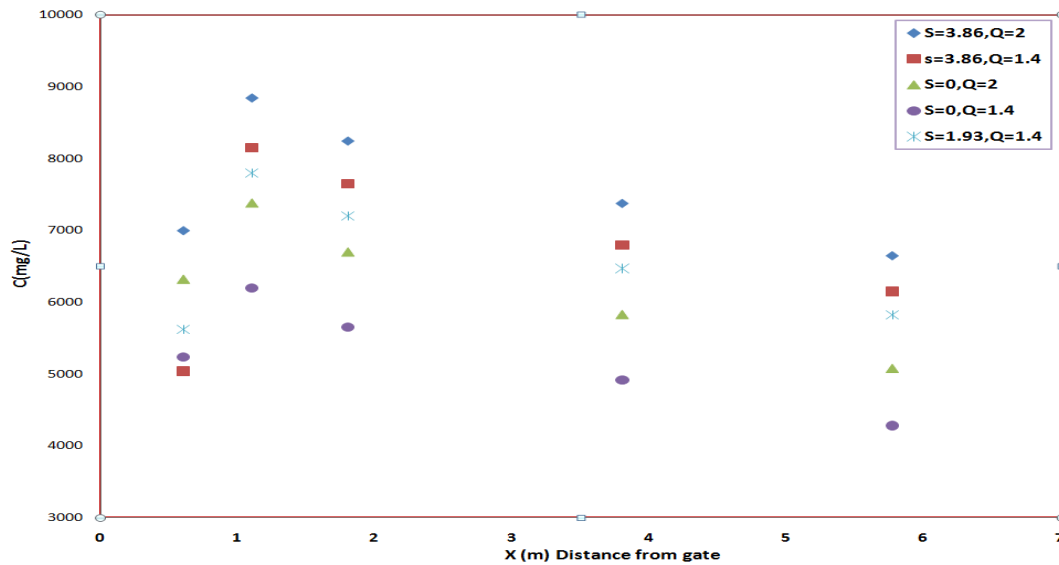
$$U_f = (g'q_0)^{1/3} f(\theta, R_e) \quad (11)$$

که در آن q_0 دبی در واحد عرض و θ شیب است. برای جریان‌های کاملاً آشفته از تاثیر رینولدز می‌توان صرف‌نظر نمود و می‌توان رابطه فوق را به صورت زیر نشان داد.

$$U_f = \alpha (g'q_0)^{1/3} \quad (12)$$

آن‌ها برای شیب‌های بین ۵ تا ۹۰ درجه مقدار ثابت α را 1.5 ± 0.2 پیشنهاد نمودند. برای شیب‌های کوچک‌تر از ۵ درجه آلتیناکار (۱۹۸۸) این مقدار را بین $0/7$ تا $1/5$ بدست آورد. حق یابی (۲۰۰۴) برای شیب‌های ۰ تا ۴ درصد مقدار ثابت 1 ± 0.3 را بدست آورد. این مقدار ثابت در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق بین $0/89$ تا $1/08$ با متوسط $1/01$ بدست آمده است. همچنین $\frac{U_f}{\sqrt{g'H_f}}$ برای آزمایشات $0/62$ بوده است که با نتایج آلتیناکار (۱۹۸۸) مطابقت کامل دارد [۳].

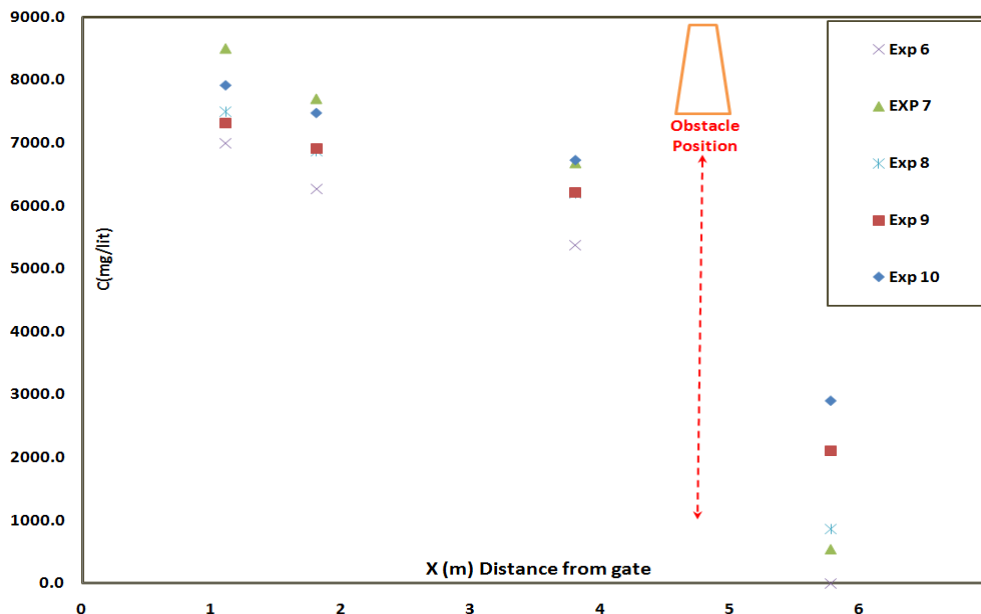
جهت بررسی دقت پروفیل سرعت که با استفاده از دستگاه سرعت سنج اکوستیک DOP2000 اندازه گیری شده بود نتایج حاصل از پروفیل سرعت با نتایج محققین دیگر و با استفاده از



شکل (۹) روند کاهش غلظت جریان غلیظ در امتداد فلولم در حالت بدون مانع

مشاهده می‌شود مانع توانسته باعث تله اندازی کامل رسوبات در جریان‌های غلیظ بر روی شیب صفر و به مقدار بسیار زیادی در شیب ۱/۹۳ درصد گردد. با استفاده از این نتایج میزان درصد عبور جریان از روی مانع و همچنین درصد میزان عبور دبی رسوبی محاسبه گردیده است. که در آن q دبی عبوری از مانع، q_0 دبی عبوری در حالت بدون مانع، q_s دبی رسوبی عبوری از مانع و q_{s0} دبی رسوبی عبوری در حالت بدون مانع در فاصله ۵/۸ متری از دریچه می‌باشد. نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است.

با شناخت از الگوی رسوبگذاری در شرایط بدون مانع، برای کلیه شرایط جریان آزمایش‌های مرحله اول (آزمایشات شماره ۱ تا ۵) مجدداً آزمایشات با مانع به ارتفاع ۳۲ سانتی متری انجام گردید و غلظت‌ها نیز در فواصل ۱/۸، ۱/۱ و ۳/۸ متری (قبل از مانع) و ۵/۷۷ متری (پس از مانع) اندازه گیری گردید. برای برآورد میزان اثر مانع، نیاز به دانستن غلظت در مقطع ۵/۷۷ متری بدون وجود مانع با شرایط این آزمایش بود که با الگو گیری از نتایج آزمایشات بدون مانع، معادله نمایی از ۳ نقطه ابتدایی برازش داده شد و با استفاده معادله بدست آمده، غلظت بدون اثر مانع در موقعیت چهارم تخمین زده شد. نتایج در ادامه ۳ نقطه اول در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان طور که در شکل



شکل (۱۰) اثر مانع بر غلظت جریان عبوری از روی مانع

جدول (۳) درصد دبی و دبی رسوبی عبوری از مانع

آزمایش.	شیب. (%).	دبی. (L/s).	Fr_d	H_m	$n(\%)$. q_s/q_{s0}	$n'(\%)$. q/q_0
۶	۰	۱/۴	۰/۸۵	۲/۶۵	۰	۰
۷	۰	۲	۰/۹۷	۲/۵	۰/۲	۵/۸
۸	۱/۹۳	۱/۴	۱/۰۱	۳	۱/۱	۱۸/۶
۹	۳/۸۶	۱/۴	۱/۰۸	۲/۸	۶/۵	۳۱/۱
۱۰	۳/۸۶	۲	۱/۱۴	۲/۷	۳۸/۶	۸۴/۱

عبوری به دلیل اثر مانع در تله اندازی رسوبات قابل ملاحظه است به طوری که نسبت دبی رسوبی عبوری در شیب ۱/۹۳، تنها ۱/۱٪ و در شیب ۳/۸۶، ۶/۵٪ بوده است. با افزایش دبی میزان تله اندازی مانع کمتر شده است. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که میزان دبی عبوری از روی مانع با نتایج حاصل از جریان نمکی (اصغری ۱۳۸۸) مطابقت خوبی دارد و تنها در

نتایج نشان می‌دهد که مانع باعث توقف کامل جریان زیر بحرانی با دبی ۱/۴ در شیب صفر شده است، ولی با همان شرایط ورودی اما در شیب ۱/۹۳، ۱۸/۶٪ از دبی جریان و در شیب ۳/۸۶، ۳۱/۱٪ از دبی جریان از روی مانع عبور کرده است که نشان دهنده این موضوع است که با افزایش شیب اثر کنترلی مانع بر دبی کم می‌شود. در همین شرایط میزان دبی رسوبی

مشخص کرد لیکن جهت تعیین ارتفاع بهینه اقتصادی نیاز به مدل ریاضی تحلیل سیلاب و رسوب با محدوده ارتفاعی ارائه شده و هزینه احداث بند می‌باشد.

۵- سرعت پیشانی جریان عبوری از روی مانع در شیب صفر، ۳۰ تا ۵۰ درصد (بسته به دبی عبوری از مانع) و برای شیب ۳/۸۶ درصد، ۱۹ درصد نسبت به سرعت پیشانی جریان پیش از مانع کاهش یافته است. این موضوع نشان دهنده آن است که حتی در صورت عبور جریان از مانع، به دلیل کاهش غلظت، جریان ممکن است مستهلک گردد.

سیاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی سازمان آب و برق خوزستان و همچنین معاونت پژوهشی دانشگاه و دانشکده علوم مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز برای در اختیار گذاشتن امکانات و شرایط لازم در این تحقیق تشکر می‌نمایند.

اثر کاهش g' در جریان رسوبی در مقایسه با جریان نمکی دبی عبوری کمی افزایش یافته است. در صورتی که اگر مقادیر شرایط جریان درست قبل از مانع و با g' کاهش یافته ملاک قرار گیرد، شرایط جریان مشابه با جریان نمکی خواهد بود.

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی اثر مانع در کنترل جریان غلیظ رسوبی در شرایط مختلف دبی و شیب پرداخته شد و نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- با افزایش عدد فرود جریان ورودی اثر ارتفاع مانع در کنترل جریان کاهش می‌یابد.
- ۲- با افزایش دبی و شیب اثر مانع در کنترل جریان رسوبی کاهش می‌یابد.
- ۳- برای دبی‌های یکسان با کاهش غلظت، ارتفاع بدنه جریان افزایش یافته و اثر مانع در کنترل دبی جریان غلیظ عبوری کاهش می‌یابد. اما به علت پایین آمدن غلظت، به طور کلی میزان رسوب عبوری کم می‌شود.
- ۴- با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان محدوده کنترل جریان در جریان‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی برای شرایط مختلف

منابع

۱. اصغری پری، سید امین، ۱۳۸۸، رساله دکترا، بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب گذاری مخزن در جریان غلیظ، دانشکده علوم مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
2. Alexander, J., and Morris, S., 1994, Observations on experimental, nonchannelized, high-concentration turbidity currents and variations in deposits around obstacles, *Journal of Sediment Research*, Vol. A64, No. 4, pp. 899-909.
3. Altinakar, M.S., 1988, Weakly depositing turbidity current on a small slope, Thesis No 738, Sciences Techniques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland.
4. Baines, P. G. 1995, Topographic effects in stratified flows, Cambridge University Press.
5. Birman, V.K., Meiburg, E., and Kneller, B., 2009, The shape of submarine levees: exponential or power law?, *Journal of Fluid Mech.*, Vol. 619, pp. 367-376.
6. Britter R.E., and Linden P., 1980, The motion of the front of a gravity current traveling down an incline, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 99, No.3, pp. 531-543
7. Bursik, M.I., and Woods, A., 2000, The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 70, No. 1, pp. 53-63.
8. Graf W.H., and Altinakar, M.S., 1998, *Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry*, John Wiley and Sons, Ltd, England.
9. Greenspan, H. P., and Young, R. E., 1978, Flow over a containment dyke, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 87, No.1, pp. 179-192.
10. Hagiabi, A. H., 2004, Bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents, PhD Thesis, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.
11. Kneller, B. C., Edwards, d., MCCaffrey, W. d., and Moore, R., 1991, Oblique reflection of turbidity currents, *Journal of Geology*, Vol. 19, PP. 250 -252.
12. Kubo, Y., 2004, Experimental and numerical study of topographic effects on deposition fro tow-dimensional, particle-driven density currents, *Journal of Sedimentary Geology*, Vol. 164, pp. 311-326.
13. Lamb, M.P., Hickson, T., Marr, J.G., Sheets, B., Paola, C., and Parker, G., 2004, Surging versus continuous turbidity currents: flow dynamics and deposits in an experimental intraslope basin, *Journal of Sediment Research*, Vol. 74, pp. 148-155.
14. Lamb, M.P., Toniolo, H., and Parker, G., 2006, Trapping of sustained turbidity currents by intraslope minibasins, *Journal of Sedimentology*, Vol. 53, pp. 147-160.
15. Lane-Serff, G. F., Beal, L. M., and Hadfield, T. D., 1995, Gravity current flow over obstacles, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 292, pp. 39-53.
16. Long, R. R. 1954. Some aspects of the flow of stratified fluids. II. Experiments with a two-fluid system. *Tellus* 6, 97-115.

17. Long, R. R., 1970, Blocking effects in flow over obstacles, *Tellus*, Vol. 22, pp. 471-480.
18. Oehy, Ch., 2002, Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents, Communication No. 15 of the Laboratory of Hydraulic Structures LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland
19. Prinos, P., 1999, Two-dimensional density currents over obstacles, Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria.
20. Rottman, J. W., Simpson, J. E., Hunt, J. C. R., and Britter, R. E., 1985, Unsteady gravity current flows over obstacle: Some observations and analysis related to phase II trials, *Journal of Hazard Material*, No. 11, pp. 325–340.
21. Simpson, J.E., 1997, Gravity currents: in the environmental and laboratory, Cambridge University Press.
22. Turner, J. S., 1973, Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press London, U.K., pp. 178-181.
23. Toniolo, H., Parker, G., Voller, V., and Beaubouef, R., 2006, Depositional turbidity current in diapiric minibasins on the continental slope: experiments numerical simulation and upscaling, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 76, No. 5, pp. 798 - 818.
24. Toniolo, H., Parker, G., and Voller, V., 2007, Role of ponded turbidity currents in reservoir trap efficiency, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 133, No. 6, pp. 579-595.
25. Woods, A. W., Bursik, M.I., and Kurbatov, A.V., 1998, The interaction of ash flows with ridges, *Bull Volcanol*, Vol. 60, pp. 38–51.