

# بررسی آزمایشگاهی تاثیر حضور دو مانع بر رفتار جریان گل آلود

ماندانا ناجی ابهری<sup>۱\*</sup>، مرضیه ایرانشاهی<sup>۲</sup>، مسعود قدسیان<sup>۳</sup>

۱- استادیار، موسسه آموزش عالی اسرار مشهد

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

mandana.naji@gmail.com

تاریخ دریافت: [۹۵/۵/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۹۶/۶/۲۷]

## چکیده

جریان‌های گل آلود عامل عمده و مهم انتقال رسوبات به داخل مخازن سدها، دریاها و اقیانوس‌ها هستند. شناخت دینامیک این جریان‌ها به منظور پروسه‌های رسوبگذاری و فرسایش بسیار مهم و اساسی است. در این پژوهش آثار حضور دو مانع بر ساختار حرکت جریان گل آلود به صورت آزمایشگاهی بحث و بررسی می‌شود. پروفیل‌های سرعت و غلظت جریان در شرایط شبه‌پایا با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج صوتی Vectrino در بالادست مانع اول، فضای بین دو مانع و پایین دست مانع دوم اندازه‌گیری شده و با حالت بدون مانع مقایسه شده‌اند. مقادیر دبی در واحد عرض جریان، نرخ انتقال بار معلق، تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر دبی جریان عبوری در واحد عرض و نرخ انتقال بار معلق بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد احداث موانع در مسیر جریان سبب شکل‌گیری نواحی جدید در پروفیل‌های سرعت می‌گردد و باعث می‌شود یک حوضچه آرام-کننده در بالادست مانع اول و فضای بین دو مانع شکل گیرد و محیط مناسب برای ته‌نشینی ذرات فراهم شود. مقایسه پروفیل‌های سرعت و غلظت در حالت دو مانع و بدون مانع نشان می‌دهد احداث مانع دوم سبب شده مقادیر سرعت و غلظت در فضای بین دو مانع و پایین دست مانع دوم نسبت به حالت بدون مانع، کاهش یابد. روند تغییرات نرخ انتقال بار معلق و دبی جریان عبوری در واحد عرض با تغییرات عدد فرود چگالی ورودی در بالادست مانع اول متناسب و در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم معکوس خواهد بود. با کاهش عدد فرود چگالی جریان ورودی نقش موانع در کنترل دبی جریان عبوری در واحد عرض و نرخ انتقال بار معلق به سمت بدنه سد و سازه‌های حساس موثرتر خواهد بود. میزان تغییرات نرخ انتقال بار معلق در حالت بدون مانع نسبت به حالت دو مانع ناچیز است. در هر دو حالت، روند تغییرات نرخ انتقال بار معلق در طول کانال کاهشی بوده و تاثیر مانع اول نسبت به مانع دوم در میزان کاهش رسوبگذاری موضعی  $1/8$  بیشتر خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** جریان گل آلود، موانع، عدد فرود چگالی ورودی، دبی جریان عبوری در واحد عرض، نرخ انتقال بار معلق.

## ۱- مقدمه

[1]. جریان‌های ثقلی حاوی رسوب که در زیر یک لایه آب جریان می‌یابد، جریان گل آلود<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. جریان‌های گل آلود عامل اصلی انتقال رسوب در مخازن سدها هستند. اگر پیشروی

جریان‌های چگال<sup>۱</sup> یا جریان‌های ثقلی<sup>۲</sup>، جریان‌هایی هستند که در اثر اختلاف چگالی بین دو سیال بوجود می‌آیند

3 Turbidity currents

1 Density currents  
2 Gravity currents

جریان‌های گل آلود به سمت بدنه سد و سازه‌های حساس مانند آبگیرها و تخلیه‌کننده‌های تحتانی محدود شود، میزان کارایی و عمر مفید سد به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. جریان گل آلود از یک قسمت پیشانی<sup>1</sup> پیش‌رونده به داخل سیال پیرامونی تشکیل شده است که با یک بدنه<sup>2</sup> دنبال می‌شود [2]. موانع نصب شده در خط‌القعر مخازن می‌تواند حرکت جریان-های گل آلود به سمت بدنه سد و سازه‌های حساس را متوقف کرده و باعث ته‌نشینی ذرات رسوب شوند [3]. هنگامی که جریان چگال به یک مانع برخورد می‌کند به چندین ناحیه تقسیم می‌شود: جریان ورودی، ناحیه اطراف پرش هیدرولیکی، جریان روی مانع و جریان پایین دست مانع. هنگامی که جریان به مانع برخورد می‌کند قسمت‌های زیرین جریان<sup>3</sup> توسط مانع، بلوکه می‌شود در حالی که ممکن است قسمت‌های فوقانی جریان<sup>4</sup> روی قسمت شیب‌دار مانع جریان یابد. اما چنانچه جریان توسط مانع به صورت کامل بلوکه شود تغییر جهت داده و مقدار رسوبات ته نشین شده افزایش می‌یابد. با ته‌نشینی ذرات در بالادست مانع، شنآوری<sup>5</sup> جریان کاهش یافته و در نتیجه سرعت کاهش می‌یابد و جریان مسافت کمتری را طی می‌کند. علاوه بر این به علت ته‌نشینی ذرات در جریان‌های گل آلود احتمال لایه‌بندی جریان وجود دارد که این مساله توانایی بدنه، برای جریان یافتن بر روی مانع را کاهش می‌دهد [4]. اهمیت جریان‌های چگال در طبیعت سبب شده است تاکنون مطالعات زیادی توسط سایر پژوهشگران در زمینه شناخت سازوکار این جریان‌ها انجام شود. اولین پژوهش‌های آزمایشگاهی روی جریان‌های چگال، با بررسی پیشانی جریان آغاز شد [5-12]. پژوهشگران دیگری نیز مطالعات خود را در زمینه شناخت بدنه جریان انجام دادند [13-20]. برخی از پژوهشگران نیز تاثیر مانع بر رفتار جریان‌های ثقلی را بررسی و مطالعه کردند. Alexander و Morris ته‌نشینی جریان‌های گل آلود در مجاورت موانع گوشه‌دار را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و نشان دادند

که نزدیک مانع، موج‌های ایستاده‌ای شکل می‌گیرد و ضخامت و سرعت جریان اطراف مانع را تغییر می‌دهد و سبب ته‌نشینی سریع و موضعی رسوبات و در نتیجه تغییرات ناگهانی ضخامت رسوب در سرتاسر کف مخزن می‌شود [21]. Wood و همکاران (۱۹۹۸) برخورد جریان غلیظ حاوی خاکستر را با یک مانع و دو مانع بررسی کردند و تاثیر ارتفاع موانع موجود در جریان غلیظ را بر میزان بلوکه شدن جریان بررسی کردند [22]. نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد هنگامی که جریان غلیظ به یک مانع برخورد می‌کند بر اساس ارتفاع مانع و سرعت جریان، رژیم-های متفاوتی اتفاق می‌افتد. بررسی ته‌نشینی ذرات موجود در جریان غلیظ نشان داد که نرخ ته‌نشینی ذرات رسوب در طول مسیر کاهش می‌یابد. زمانی که ارتفاع مانع زیاد است تنها قسمتی از جریان می‌تواند از روی مانع عبور کند و باقیمانده جریان به-شکل موج به سمت منبع جریان منعکس می‌شود. Bursik و Woods (۲۰۰۰) تاثیر توپوگرافی بستر بر چگونگی ته‌نشینی جریان‌های غلیظ حاوی ذرات را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند [23]. آنها دریافتند تا زمانی که جریان بلوکه نشده یا بستر شامل تنگ‌شدگی، برآمدگی یا بازشدگی ناگهانی نباشد؛ شکل ته‌نشینی به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. در مقابل؛ اگر تغییر توپوگرافی به اندازه‌ای بزرگ باشد که جریان را به-صورت جزئی منعکس کرده و باعث ایجاد خیزاب در بالادست شود کاهش ته‌نشینی به صورت نمایی نخواهد بود. Morris و Alexander تغییر در جهت جریان‌های چگال هنگام عبور از روی یک مانع را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند [24]. بررسی‌های آنها نشان داد هنگامی که جریان چگال با مانع برخورد می‌کند لایه‌های پایینی بدنه جریان بلوکه می‌شود اما پیشانی جریان و لایه‌های بالاتر بدنه از روی مانع عبور کرده و به سمت پایین دست مانع حرکت می‌کند. Toniolo و همکاران حوضچه‌ی کوچک تشکیل شده در بالادست مانع که محل مناسبی برای ته‌نشینی رسوبات موجود در جریان‌های گل آلود هست را مطالعه کردند [25]. آنها تئوری ته‌نشینی در حوضچه-های کوچک را بررسی کردند. Oehy و Schleiss برخورد جریان‌های گل آلود به موانع نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر را به-صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند [3]. نتایج

1 Front or head

2 Body

3 Lower part of flow

4 Upper part of flow

5 Buoyancy

گل آلود با دو مانع ارائه شده است. پروفیل های سرعت و غلظت جریان گل آلود در بالادست مانع اول، فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم با استفاده از سرعت سنج صوتی Vectrino اندازه گیری شده و با حالت بدون مانع مقایسه شده است. مقادیر دبی در واحد عرض جریان و نرخ انتقال بار معلق بر اساس پروفیل های سرعت و غلظت اندازه گیری شده، در هر دو حالت بدون مانع و دو مانع محاسبه شده اند. تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر دبی در واحد عرض جریان و نرخ انتقال بار معلق نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## ۲- معرفی امکانات آزمایشگاهی

آزمایشها در کانال مستطیلی با طول ۱۱ متر و عرض ۰,۶ متر و عمق ۱ متر و شیب کف ۰,۲۵٪ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. دو طرف کانال از جنس شیشه است که روی پایه فلزی قرار گرفته است. به منظور تولید سیال گل آلود مخزنی به ابعاد ۳ متر مکعب از جنس ورق گالوانیزه در ارتفاع ۳/۵۶ متر از زمین نصب شد. مخزن هوایی از سه قسمت تشکیل شده است؛ مخزن اصلی تولید سیال گل آلود، قسمت همزن و مخزن تنظیم هد ثابت. به منظور یکنواختی و ثابت بودن غلظت رسوبات در کل مدت زمان آزمایش در داخل مخزن هوایی، همزنی تعبیه شده است. ابتدای کانال به وسیله دریچه ای کشویی به دو قسمت تقسیم می شود. در ابتدای هر آزمایش در حالیکه دریچه کشویی بسته است، بالادست دریچه با سیال گل آلود و پایین دست آن با آب صاف پر می شود. هنگامی که تراز آب صاف در کانال اصلی به مقدار معینی می رسد (۹۰ cm)، با بازکردن ناگهانی دریچه جریان گل آلود وارد کانال اصلی شده و تدریجا در آب صاف گسترش می یابد. به منظور جلوگیری از برگشت جریان و تداخل سرعت های رفت و برگشتی، پله ای شامل بیست شیر تخلیه در انتهای کانال نصب شد. برای جلوگیری از افت تراز آب صاف در کانال، آب با دبی معین توسط شیلنگی از سطح پله زهکش، در طول آزمایش به طور پیوسته وارد مخزن می شد. در این پژوهش از کائولین به عنوان رسوبات معلق

آزمایشگاهی ایشان نشان می دهد که موانع نفوذناپذیر با ارتفاع قابل قبول یک راه مناسب برای بلوکه کردن جریان های غلیظ است. اگر ارتفاع مانع کمینه دو برابر ارتفاع جریان گل آلود باشد، وجود مانع تاثیر قابل ملاحظه ای خواهد داشت. Oshaghi و همکاران عبور جریان گل آلود از روی یک مانع مثلثی شکل را به صورت آزمایشگاهی مطالعه کرد [26]. بررسی های آنها نشان داد شکل مانع در مقابل ارتفاع آن از اهمیت کمتری برخوردار است. Tokyay و Constantinescu تاثیر تغییر نوع جریان ورودی، ارتفاع نسبی مانع و عدد رینولدز بر رفتار جریان را بررسی کردند [27]. یافته های آنها نشان داد که فاصله ای از مانع که باید در مقابل پدیده آبستنگی محافظت شود می تواند بر اساس توزیع سرعت برشی بستر شیب سازی شود. ماروسی و همکاران کنترل رسوبگذاری در مخازن سدها را با استفاده از یک مانع دوزنقه ای شکل بررسی کردند [28]. نتایج آنها نشان داد رسوبگذاری در طول کانال به صورت نمایی کاهش و با افزایش عدد فرود چگالی ورودی راندمان تله اندازی ذرات رسوب کاهش می یابد. یعقوبی و همکاران رفتار جریان گل آلود در حضور دو مانع مثلثی شکل را بررسی کردند [29]. بدین منظور آزمایش هایی به ازای ارتفاع های مختلف موانع، در عدد فرود چگالی ورودی معین بر روی کانال شیب دار صورت گرفت. بررسی های آنها نشان داد افزایش ارتفاع موانع سبب تغییر در چگونگی حرکت جریان گل آلود در بالادست موانع می شود. به گونه ای که بخش اعظم جریان به جای عبور از نزدیکی بستر از ناحیه نزدیک مرز مشترک جریان گل آلود و سیال پیرامونی آن گذر می کند. همچنین سرعت پیشانی جریان در بالادست موانع، مستقل از ارتفاع آنها می باشد. همانطور که مشاهده می شود مطالعات بر روی جریان های غیرپایستار اطراف موانع بسیار محدود بوده و اطلاعات کمی در مورد دینامیک و ساختار فیزیکی جریان های گل آلود اطراف موانع وجود دارد. توجه به مطالب ذکر شده ضرورت بررسی الگوی جریان و رسوبگذاری اطراف موانع موجود در جریان های گل آلود را کاملا بدیهی و آشکار می سازد.

در این پژوهش نتایج مطالعه آزمایشگاهی برخورد جریان

ورودی، غلظت ورودی، عدد رینولدز ورودی و عدد فرود چگالی ورودی است که عدد رینولدز ورودی و عدد فرود چگالی ورودی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$Re_0 = \frac{U_0 h_0}{\nu} \quad (1)$$

$$Fr_0 = \frac{U_0}{\sqrt{g'_0 h_0}} \quad (2)$$

در این روابط  $U_0$  سرعت متوسط جریان گل آلود ورودی به داخل سیال محیطی،  $\nu$  لزجت سینماتیکی جریان گل آلود و  $g'_0$  و  $g'_0 = g \frac{\rho_{mix} - \rho_w}{\rho_w}$  کاهش یافته است و اینگونه تعریف می‌شود  $\rho_{mix}$  چگالی مخلوط ورودی،  $\rho_w$  چگالی آب صاف، و  $g$  شتاب ثقل زمین است. در شکل (۱) نمایی از کانال استفاده شده در این پژوهش نشان داده شده است.

شکل ۱. نمایی شماتیک از تجهیزات آزمایشگاهی

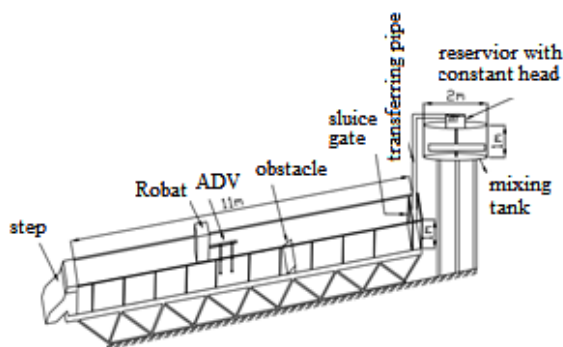


Fig. 1. Schematic view of experimental set up

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- تحلیل کیفی برخورد جریان گل آلود اطراف دو مانع

شکل (۲) نمونه‌ای از ورود جریان گل آلود به داخل مخزن و برخورد آن با موانع برای  $Fr_0 = 2.98$  را نشان می‌دهد. با شروع آزمایش جریان گل آلود وارد مخزن می‌شود. در همه آزمایش‌ها رژیم جریان ورودی فوق بحرانی بوده و با وقوع پرش هیدرولیکی در محدوده  $12.5 < \frac{X}{h_0} < 25$  به زیر بحرانی تبدیل می‌شود. شکل (۲-الف) محدوده شکل‌گیری پرش هیدرولیکی هنگام ورود جریان گل آلود به داخل مخزن را نشان می‌دهد. با پیشروی در طول کانال، جریان در موقعیت  $\frac{X}{h_0} = 100$  به اولین مانع برخورد می‌کند. با برخورد جریان به

موجود در جریان گل آلود استفاده شده است. کائولین استفاده شده دارای چگالی مخصوص  $2/65$  و قطر متوسط  $5$  میکرون است. دستگاه سرعت‌سنج صوتی Vectrino برای اندازه‌گیری سرعت و غلظت استفاده شده است. بعد از عبور پیشانی جریان گل آلود و شکل‌گیری جریان نیمه دائمی، اندازه‌گیری سرعت و غلظت جریان در مکان‌های مشخص آغاز شد. براساس ارتفاع جریان گل آلود دستگاه سرعت‌سنج در ناحیه مرز مشترک دو سیال قرار گرفت و داده‌برداری آغاز شد. فواصل نقاط برداشت شده در عمق برابر  $1$  سانتی‌متر است. آزمایش‌ها در دو حالت با مانع و بدون مانع انجام شده است. دو مانع مثلی با ارتفاع‌های نسبی ثابت  $\frac{H}{h_0} = 3.75$  در موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 100$  و  $\frac{X}{h_0} = 175$  نصب شدند ( $h_0$  ارتفاع جریان ورودی،  $H$  ارتفاع مانع و  $X$  موقعیت مکانی از محل دریچه). چگونگی عبور جریان گل آلود از روی دو مانع با استفاده از دوربین فیلمبرداری ضبط شد. اندازه‌گیری جریان در دو مقطع در بالادست مانع اول (موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 50$  و  $\frac{X}{h_0} = 75$ )، دو مقطع بین مانع اول و مانع دوم (موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 125$  و  $\frac{X}{h_0} = 150$ ) و دو مقطع در پایین‌دست مانع دوم (موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 200$  و  $\frac{X}{h_0} = 225$ ) انجام شد. جدول (۱) نشان‌دهنده شرایط آزمایشگاهی است [30].

جدول ۱. شرایط آزمایشگاهی

| Relative height of obstacle $\frac{H}{h_0}$ | $Fr_0$ | $Re_0$ | $C_0$ (gr/l) | $Q_0$ (l/min) | Experiment type  |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------------|---------------|------------------|
| -                                           | 3.85   | 4167   | 3            | 15            | Without obstacle |
| -                                           | 2.98   | 4167   | 5            | 15            | Without obstacle |
| -                                           | 2.52   | 4167   | 7            | 15            | Without obstacle |
| 3.75                                        | 3.85   | 4167   | 3            | 15            | With obstacle    |
| 3.75                                        | 2.98   | 4167   | 5            | 15            | With obstacle    |
| 3.75                                        | 2.52   | 4167   | 7            | 15            | With obstacle    |

Table 1. Experimental Conditions

در این جدول  $Q_0$ ،  $C_0$ ،  $Re_0$  و  $Fr_0$  به ترتیب نشان دهنده دبی

جریان گل آلود به دومین مانع نصب شده در کانال را نشان می دهد. مقایسه شکل های عبور جریان از روی مانع اول و دوم نشان می دهد چگونگی عبور جریان از روی هر دو مانع مشابه است اما از آنجایی که انرژی جریان هنگام برخورد به مانع دوم به مقدار قابل ملاحظه ای کمتر از انرژی جریان هنگام برخورد به مانع اول است؛ سرعت حرکت پیشانی جریان از روی مانع دوم در مقایسه با مانع اول کمتر است. در نتیجه مراحل شکل گیری گردابه در پایین دست مانع دوم در مقایسه با مانع اول آشکارتر خواهد بود. پس از عبور پیشانی جریان از روی موانع و سپری شدن مدت زمان معینی، جریان به حالت شبه پایا<sup>۲</sup> خواهد رسید. جریان ورودی ابتدا فضای بالادست مانع اول را پر کرده و از روی آن سرریز می شود. با سرریز شدن جریان از روی مانع اول فضای بین مانع اول و دوم پر شده و جریان از روی مانع دوم سرریز می شود.

شکل ۲. برخورد جریان گل آلود با دو مانع

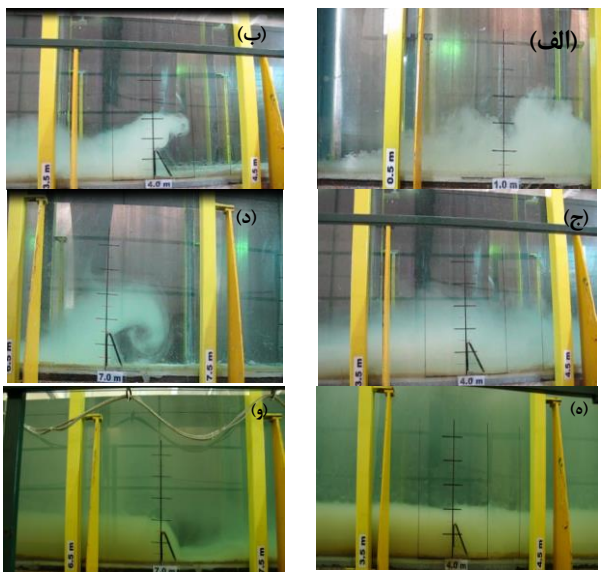


Fig. 2. The turbidity current entrance to the reservoir and hitting the two obstacles ( $Fr_0 = 2.98$ )

شکل (۲-ه) شرایط شبه پایای جریان اطراف مانع اول را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود در این شکل ارتفاع جریان گل آلود در بالادست و پایین دست مانع یکسان می باشد. شکل (۲-و) نشان می دهد جریان گل آلود فضای بالادست مانع

مانع، ارتفاع جریان به صورت موضعی تا تاج مانع افزایش می یابد. سپس جریان از تاج مانع به سمت سطح مشترک دو سیال منحرف می شود اما نیروی گرانش کاهش یافته جریان را به سمت پایین منحرف کرده و گردابه ای ساعتگرد در قسمت شیبدار مانع تشکیل می شود و جریان به حرکت خود ادامه داده تا دوباره به کف کانال برخورد کند. جریان گل آلود هنگام برخورد به اولین مانع به دو بخش تقسیم می شود؛ بخشی از جریان از روی مانع عبور کرده و به سمت پایین دست اولین مانع حرکت می کند و بخشی از آن به شکل پرش هیدرولیکی متحرک<sup>۱</sup> به سمت بالادست اولین مانع منعکس می گردد. تولید آشفتگی و شکل گیری پرش هیدرولیکی متحرک از جمله تأثیرات برخورد جریان با مانع است (Schleiss و Oehy ۲۰۰۷). هنگام برخورد به مانع اول بخشی از انرژی جریان مستهلک می شود. شکل های (۲-ب و ۲-ج) برخورد جریان گل آلود به اولین مانع نصب شده در موقعیت  $\frac{x}{h_0} = 100$  را نشان می دهد. با وجود استهلاک بخشی از انرژی هنگام برخورد به اولین مانع، جریان همچنان توانایی غلبه بر نیروهای مقاوم را داشته و به حرکت خود در پایین دست مانع اول ادامه می دهد تا زمانی که به دومین مانع که در موقعیت  $\frac{x}{h_0} = 175$  نصب شده است؛ برخورد نماید. با برخورد جریان گل آلود به دومین مانع، ارتفاع جریان بطور موضعی افزایش می یابد. سپس جریان از ناحیه تاج مانع به سمت سطح مشترک دو سیال منحرف می شود اما نیروی گرانش کاهش یافته جریان را به سمت پایین منحرف کرده و گردابه ای ساعتگرد در قسمت شیبدار مانع تشکیل می شود و جریان به حرکت خود ادامه داده تا دوباره به کف کانال برخورد کند. هنگام برخورد جریان گل آلود به دومین مانع نیز بخشی از جریان به سمت پایین دست مانع و بخشی دیگر به شکل پرش هیدرولیکی متحرک به سمت بالادست مانع دوم منحرف می شود. اما پرش هیدرولیکی متحرک شکل گرفته در بالادست مانع دوم در مقایسه با پرش هیدرولیکی متحرک شکل گرفته در بالادست مانع اول از وضوح کمتری برخوردار بوده و تشخیص موقعیت آن به سختی امکان پذیر است. شکل (۲-د) برخورد

جدیدی در پروفیل سرعت شکل گرفته است. سرعت ماکزیمم و مقادیر سرعت در ناحیه دیواره و جت در حالت دو مانع کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت بدون مانع داشته است؛ زیرا در حالت دو مانع در فاصله بین مانع اول و مانع دوم، ارتفاع جریان افزایش یافته و حوضچه دیگری در فضای بین مانع ایجاد می‌شود. شکل‌گیری حوضچه جدید در فضای بین دو مانع دوباره سبب آرام شدن جریان و در نتیجه کاهش سرعت خواهد شد. علاوه بر این مشاهده می‌شود در حالت دو مانع مقادیر سرعت در ترازهای بالاتر از ناحیه جت، منفی است زیرا بخشی از جریان ورودی پس از برخورد به مانع دوم به سمت بالادست مانع دوم منعکس می‌شود.

شکل ۳. مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع و بدون

مانع: الف)  $\frac{X}{h_0} = 50$  ب)  $\frac{X}{h_0} = 75$  ج)  $\frac{X}{h_0} = 125$  د)  $\frac{X}{h_0} = 150$  ز)  $\frac{X}{h_0} = 200$  و ز)  $\frac{X}{h_0} = 225$

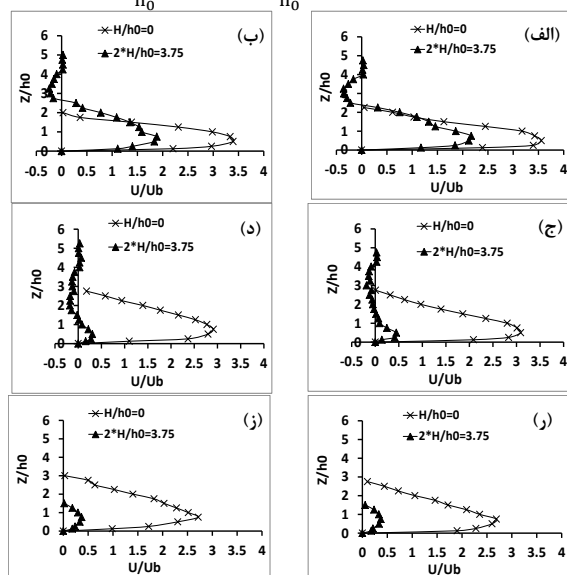


Fig. 3. The comparison of velocity profiles of the turbidity current in without obstacle case by tow obstacle condition.

در موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 200$  و  $\frac{X}{h_0} = 225$  و در واقع در پایین دست مانع دوم (شکل ۳- ر و ز)، سرعت ماکزیمم و مقادیر سرعت در ناحیه دیواره و جت در حالت دو مانع کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت بدون مانع داشته است؛ زیرا با احداث موانع در کانال ذرات رسوب در حوضچه‌های تشکیل شده در بالادست مانع اول و فضای بین دو مانع به دام می‌افتند. بنابراین نیروی گرانش کاهش یافته که جزء نیروهای رانش

دوم را پر کرده و از روی مانع دوم سرریز می‌شود و در شرایط شبه پایا، در پایین دست مانع دوم پیرش هیدرولیکی در محدوده  $173 < \frac{X}{h_0} < 187$  شکل گرفته است.

### ۳-۲- پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود

شکل (۳) مقایسه پروفیل‌های سرعت جریان در حالت بدون مانع و با دو مانع را نشان می‌دهد. در این شکل، محور قائم نسبت به ارتفاع جریان ورودی ( $h_0$ ) و محور افقی نسبت به سرعت شناوری ( $U_b$ ) بی بعد شده‌اند. سرعت شناوری به صورت  $U_b = \sqrt{g_0 h_0}$  تعریف می‌شود. در ابتدا پروفیل‌های سرعت در بالادست مانع اول و در موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 50$  و  $\frac{X}{h_0} = 75$  بررسی می‌شوند. شکل (۳- الف و ب) نشان می‌دهد نصب مانع اول در کانال موجب شکل‌گیری نواحی جدید در پروفیل سرعت شده است. این نواحی عبارتند از: ۱) ناحیه دیواره: در این ناحیه گرادیان سرعت مثبت است. ۲) ناحیه جت: در این ناحیه گرادیان سرعت منفی است. مانند حالت بدون مانع این دو ناحیه توسط سرعت ماکزیمم از یکدیگر جدا می‌شوند. ۳) ناحیه جریان برگشتی: در این ناحیه مقادیر سرعت منفی است زیرا در حالت شبه پایا نیز بخشی از جریان ورودی پس از برخورد به مانع به سمت بالادست مانع منعکس شده و سبب شکل‌گیری جریانی بر خلاف جهت جریان ورودی می‌شود. ۴) ناحیه‌ای در سطح مشترک دو سیال: مقادیر سرعت در این ناحیه بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر سرعت در این ناحیه مثبت است. سرعت ماکزیمم و مقادیر سرعت در ناحیه دیواره در حالت دو مانع کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت بدون مانع داشته است. زیرا با احداث موانع در کانال، ارتفاع جریان در موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 50$  و  $\frac{X}{h_0} = 75$  نسبت به حالت بدون مانع افزایش یافته و حوضچه گل آلودی در بالادست مانع اول تشکیل می‌شود. شکل‌گیری حوضچه باعث آرام شدن جریان و در نتیجه کاهش سرعت خواهد شد. اما چگونگی تغییرات سرعت در ناحیه جت متفاوت است. در ادامه پروفیل‌های سرعت در موقعیت‌های  $\frac{X}{h_0} = 125$  و  $\frac{X}{h_0} = 150$  بررسی می‌شود (شکل ۳- ج و د). در فضای بین دو مانع مشابه بالادست مانع اول، نواحی

علاوه بر این شکل (۴) نشان می‌دهد در کلیه مقاطع اندازه-گیری شده مقادیر دبی جریان عبوری در واحد عرض در حالت دو مانع کمتر از مقادیر مشابه در حالت بدون مانع است که این اختلاف در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد.

شکل ۴. مقایسه دبی جریان گل‌آلود عبوری در واحد عرض در حالت بدون مانع و دو مانع: الف) ( $Fr_0 = 3.85$ ، ب) ( $Fr_0 = 2.98$  و ج)

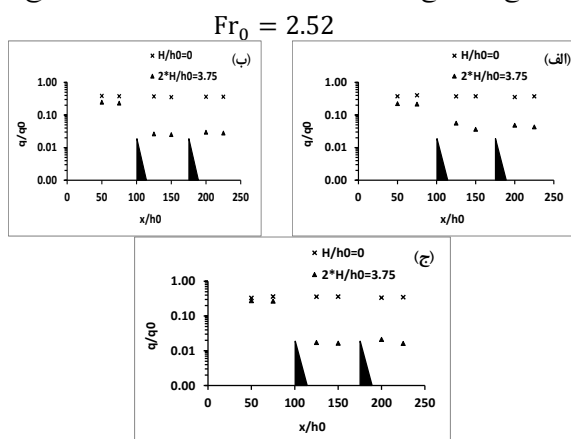


Fig. 4. The comparison of the turbidity current discharge per unit width in without obstacle case by tow obstacle condition.

تأثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر دبی جریان عبوری در واحد عرض در شکل (۵) نشان داده شده است. برای وضوح بیشتر تأثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر دبی جریان عبوری، مقادیر مربوطه در بالادست مانع اول بر اساس محور قائم سمت چپ و در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم بر اساس محور قائم سمت راست سنجیده می‌شوند. چنانچه در شکل مشهود است در بالادست مانع اول با افزایش عدد فرود چگالی ورودی دبی جریان گل‌آلود در واحد عرض کاهش می‌یابد زیرا با افزایش عدد فرود چگالی ورودی، دانسیته جریان و در نتیجه سرعت جریان در طول مسیر کاهش می‌یابد. زیرا در جریان گل‌آلود عامل اصلی رانش جریان اختلاف دانسیته دو سیال است. اما در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم روند تغییرات دبی جریان عبوری در واحد عرض معکوس است به گونه‌ای که با افزایش عدد فرود چگالی ورودی ذرات رسوب کمتری در حوضچه‌های تشکیل شده در بالادست مانع اول و در فاصله بین دو مانع به دام افتاده و ذرات

جریان است؛ به مقدار قابل ملاحظه‌ای کم شده و در نتیجه سرعت جریان کاهش می‌یابد. علاوه بر این شکل‌گیری دو پرش هیدرولیکی در پایین دست موانع، نیروهای رانش جریان را به مقدار قابل ملاحظه‌ای مستهلک کرده است.

### ۳-۳- دبی جریان عبوری و تأثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر آن

یکی از اهداف مهم احداث موانع در مخازن سدها جلوگیری از رسیدن جریان گل‌آلود به بدنه سد و سازه‌های حساس مانند تخلیه‌کننده‌های تحتانی و آبگیرها است. دبی جریان گل‌آلود در طول کانال شاخص مناسبی به منظور بررسی میزان گذردهی این جریان است. بنابراین در این قسمت دبی جریان عبوری در طول کانال در حالت بدون مانع و بعد از احداث دو مانع مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. دبی جریان گل‌آلود عبوری در واحد عرض  $q$  بصورت زیر تعریف می‌شود [31]:

$$q = \int_0^{ht} u(z) dz \quad (3)$$

در این رابطه  $u(z)$  سرعت جریان گل‌آلود در ارتفاع  $z$  از بستر و  $ht$  ارتفاع جریان گل‌آلود است. در شکل (۴) دبی جریان عبوری در واحد عرض بر اساس پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده محاسبه شده و در حالت دو مانع و بدون مانع با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این شکل دبی جریان عبوری در واحد عرض نسبت به مقدار مشابه آن در ورودی  $q_0$  بی بعد شده است.

شکل (۴) نشان می‌دهد که تغییرات دبی جریان گل‌آلود در واحد عرض در حالت بدون مانع ناچیز و قابل چشمپوشی کردن است. زیرا بر اساس شکل (۳) تغییرات سرعت و ارتفاع جریان در مقاطع اندازه‌گیری شده ناچیز است. اما در حالت دو مانع دبی جریان عبوری در واحد عرض در پایین دست مانع اول و دوم نسبت به بالادست مانع اول بطور میانگین تا ۹۰ درصد نسبت به حالت بدون مانع کاهش پیدا کرده است. زیرا احداث دو مانع سبب شده است سرعت جریان عبوری در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.

بالادست مانع اول در مقایسه با حالت بدون مانع افزایش می‌یابد. در فاصله بین دو مانع شکل‌های (۶-ج و د) نشان می‌دهد ارتفاع پروفیل‌های غلظت جریان در موقعیت‌های  $\frac{x}{h_0} = 125$  و  $\frac{x}{h_0} = 150$  در حالت دو مانع نسبت به حالت بدون مانع افزایش یافته است اما تغییرات مقادیر غلظت در این مقاطع تابع ارتفاع از بستر است.

رسوب بیشتری همراه جریان به سمت پایین دست حرکت می‌کنند. در نتیجه با افزایش عدد فرود چگالی ورودی سرعت جریان و در نتیجه دبی جریان عبوری در واحد عرض در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم افزایش می‌یابد. بنابراین احداث مانع در کنترل و محدود کردن جریان‌هایی با اعداد فرود کمتر موثرتر خواهد بود.

شکل ۵. تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر دبی جریان عبوری در

واحد عرض

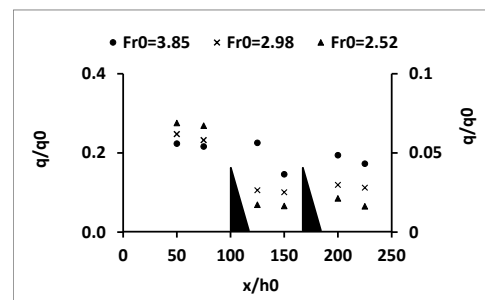


Fig. 5. The effect of the inlet Froude number variation on the turbidity current discharge per unit width.

### ۳-۴- پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل آلود

عامل اصلی انتقال رسوبات به داخل اقیانوس‌ها، دریاها و مخازن سدها جریان‌های گل آلود است. بنابراین شناخت پروفیل‌های غلظت رسوبات معلق برای شناخت پروسه‌های انتقال رسوبات اعم از فرسایش و رسوبگذاری توسط جریان‌های گل آلود لازم و ضروری است. شکل (۶) پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع و بدون مانع را مقایسه می‌کند. در ابتدا پروفیل‌های غلظت در بالادست مانع اول در موقعیت‌های  $\frac{x}{h_0} = 50$  و  $\frac{x}{h_0} = 75$  مقایسه می‌شوند.

شکل‌های (۶-الف و ب) نشان می‌دهد با نصب اولین مانع در موقعیت  $\frac{x}{h_0} = 100$  مقادیر و ارتفاع پروفیل‌های غلظت در حالت دو مانع به مقدار قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مقادیر پروفیل‌های غلظت در حالت بدون مانع است؛ زیرا احداث مانع اول در کانال سبب می‌شود در بالادست مانع ارتفاع جریان افزایش و سرعت جریان به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. به عبارت دیگر شکل‌گیری یک حوضچه گل آلود در بالادست مانع اول سبب شده است بخش عمده ذرات ورودی در این حوضچه به دام افتند. در نتیجه تراکم و غلظت ذرات در

شکل (۶) مقایسه پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع و

بدون مانع: الف)  $\frac{x}{h_0} = 50$ ، ب)  $\frac{x}{h_0} = 75$ ، ج)  $\frac{x}{h_0} = 125$ ، د)  $\frac{x}{h_0} = 150$

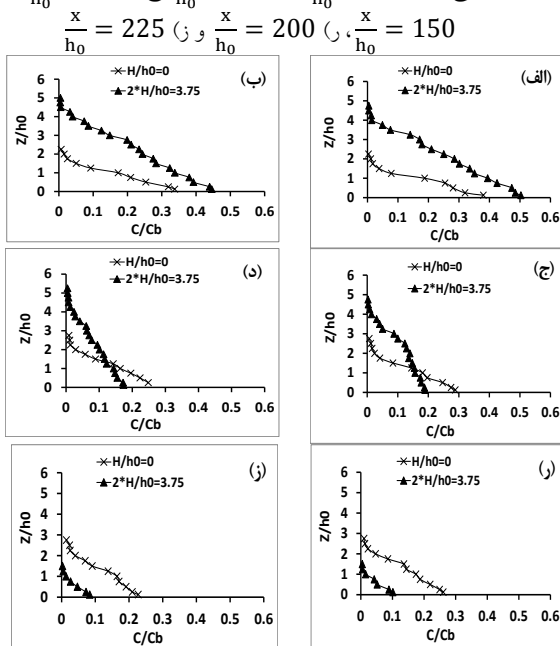


Fig. 6. The comparison of concentration profiles of the turbidity current in without obstacle case by tow obstacle condition.

پروفیل‌های غلظت در حالت دو مانع با پروفیل‌های غلظت در حالت بدون مانع با یکدیگر تلاقی می‌کنند. در فاصله بین بستر تا نقطه تلاقی مقادیر پروفیل‌های غلظت در حالت بدون مانع بیشتر از مقادیر مشابه در حالت دو مانع است. اما در فاصله نقطه تلاقی تا سطح مشترک دو سیال روند تغییرات معکوس خواهد بود بگونه‌ای که مقادیر پروفیل‌های غلظت در حالت دو مانع بیشتر از مقادیر مشابه در حالت بدون مانع است. این مساله نشان می‌دهد که در فاصله بین دو مانع به علت شکل‌گیری حوضچه آرامش توزیع غلظت جریان نسبت به حالت بدون مانع از یکنواختی بیشتری برخوردار است. شکل-

معلق در جریان‌های گل‌آلود یک روش صریح ارایه کردند. بر اساس پروفیل غلظت در جریان‌های گل‌آلود لایه چگال در راستای قائم به سه ناحیه تقسیم می‌شود: (۱) ناحیه‌ای در بالای لایه برشی که اختلاف چگالی جریان گل‌آلود و سیال محیطی به سمت صفر میل می‌کند. (۲) ناحیه بار معلق: در این ناحیه ذرات در جریان بصورت معلق می‌باشند. (۳) ناحیه بار بستر که در آن ذرات بر روی بستر ته‌نشین شده‌اند. این سه ناحیه در شکل (۷) نشان داده شده است.

در این شکل ارتفاع، سرعت و غلظت جریان به ترتیب توسط ارتفاع متوسط، سرعت متوسط و غلظت متوسط جریان بی‌بعد شده‌اند. چنانچه بار معلق ته‌نشین شود ذرات روی هم انباشته شده و در نتیجه دانسیته (غلظت) نزدیک کف بطور ناگهانی افزایش می‌یابد. بنابراین مرز نواحی بار بستر و بار معلق بر اساس پروفیل‌های غلظت مشخص می‌شوند. ناحیه‌ای نزدیک بستر که یک شکست در پروفیل‌های غلظت رخ داده و مقادیر غلظت بطور نسبی افزایش می‌یابد، به عنوان مرز پایینی ناحیه بار معلق در نظر گرفته شده است.

شکل ۷. تقسیم‌بندی نواحی مختلف جریان: الف) بر اساس پروفیل غلظت

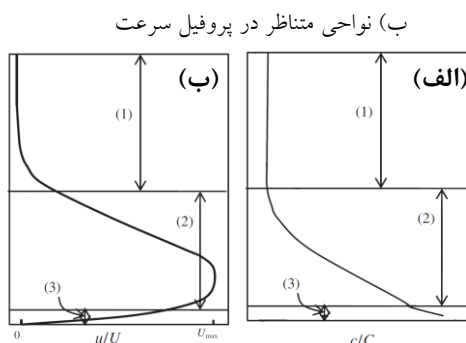


Fig. 7. The definition of different regions in the flow: a) according to concentration profile, b) corresponding regions at velocity profile.

در شکل (۸) نرخ انتقال بار معلق در حالت دو مانع و بدون مانع با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این شکل نرخ انتقال بار معلق جریان گل‌آلود نسبت به بیشینه نرخ انتقال رسوبات جریان ورودی ( $q_{s0max}$ ) بی‌بعد شده است. شکل (۸) نشان می‌دهد میزان تغییرات نرخ انتقال بار معلق در حالت بدون مانع نسبت به حالت دو مانع ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است. در

های (۶- ر و ز) نشان می‌دهد در پایین‌دست مانع دوم، در موقعیت‌های  $\frac{x}{h_0} = 200$  و  $\frac{x}{h_0} = 225$  پروفیل‌های غلظت جریان در حالت دو مانع نسبت به حالت بدون مانع کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. زیرا احداث مانع دوم در کانال سبب شکل‌گیری حوضچه دیگری در فضای بین دو مانع شده است. بنابراین بخش دیگری از ذرات جریان که از روی مانع اول عبور کرده‌اند در حوضچه دوم به دام می‌افتند. بررسی پروفیل‌های غلظت در طول کانال نشان می‌دهد در هر دو حالت دو مانع و بدون مانع مقادیر غلظت ضمن حرکت جریان در طول کانال، کاهش یافته است؛ اما میزان کاهش پروفیل‌های غلظت در حالت دو مانع به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از میزان کاهش مقادیر مشابه در حالت بدون مانع است. این مساله نشان می‌دهد احداث دو مانع در کانال سبب شده بخش عمده ذرات در حوضچه‌های تشکیل شده در بالادست مانع اول و دوم به دام افتند. بنابراین در شرایط واقعی احداث موانع متعدد در مخزن سد می‌تواند یک راهکار موثر در رقیق‌سازی جریان گل‌آلود باشد.

### ۳-۵- نرخ انتقال بار معلق و تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر آن

مطالعه نرخ انتقال بار معلق یک پارامتر مهم در شناخت ماهیت فرساینده یا رسوبگذار جریان‌های گل‌آلود است. چنانچه روند تغییرات نرخ انتقال بار معلق در طول کانال افزایشی باشد جریان ماهیت فرساینده داشته و چنانچه این تغییرات در طول کانال کاهنده باشد جریان ماهیت رسوبگذار خواهد داشت. بدین منظور در ادامه تاثیر وجود مانع بر نرخ انتقال بار معلق بررسی می‌شود. نرخ انتقال بار معلق  $q_s$  به صورت زیر تعریف می‌شود [32]:

$$q_s = \int_{l_b}^{h_t} c(z) u(z) dz \quad (4)$$

در این رابطه  $c(z)$  غلظت جریان گل‌آلود در ارتفاع  $z$  از بستر و  $l_b$  مرز پایینی ناحیه بار معلق است. به منظور محاسبه نرخ انتقال بار معلق لازم است تا مرزهای بالا و پایین ناحیه بار معلق تعیین شود. خواصی و همکاران برای تعیین ناحیه بار

فرود چگالی، سرعت و غلظت جریان و به تبع آن نرخ انتقال بار معلق در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم افزایش می یابد. بنابراین احداث موانع در کنترل رسوبگذاری جریان-هایی با اعداد فرود چگالی کمتر موثرتر خواهد بود.

شکل ۹. تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر نرخ انتقال بار معلق

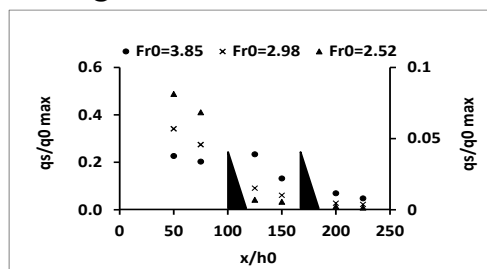


Fig. 9. The effect of the inlet Froude number variation on the suspended sediment transport rate.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله آثار حضور دو مانع بر ساختار حرکت جریان گل آلود مورد بحث و بررسی قرار گرفت. پروفیل های سرعت و غلظت در حالت دو مانع و بدون مانع مقایسه شدند. از بین پارامترهای هیدرولیکی، تاثیر عدد فرود چگالی ورودی بر ساختار حرکت جریان های گل آلود بررسی شد. نتایج پژوهش ها نشان داد که احداث دو مانع در کانال باعث ایجاد تغییرات چشمگیری در پروفیل های سرعت و غلظت جریان گل آلود شده است. احداث مانع اول باعث می شود یک حوضچه آرام کننده جریان در بالادست مانع اول شکل گیرد. احداث مانع دوم باعث می شود حوضچه آرام کننده دیگری در فاصله بین دو مانع شکل گیرد. شرایط هیدرولیکی جریان در این حوضچه ها به گونه ای است که بخش عمده ذرات ورودی در این حوضچه ها به دام افتاده و محیط مناسب برای ته نشینی ذرات فراهم می گردد. مقادیر سرعت در طول کانال در حالت دو مانع در مقایسه با حالت بدون مانع به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. مقایسه پروفیل های سرعت در حالت دو مانع نشان می دهد احداث مانع دوم سبب شده مقادیر سرعت در فضای بین دو مانع و پایین دست مانع دوم نسبت به حالت بدون مانع، کاهش یابد. با کاهش عدد فرود چگالی ورودی، دبی جریان عبوری در واحد عرض در بالادست مانع اول افزایش اما در

حالت دو مانع نیز روند تغییرات نرخ انتقال بار معلق در طول کانال کاهشی بوده و وجود موانع سبب شده است تا نرخ انتقال بار معلق بصورت موضعی در پایین دست مانع اول تا ۹۰٪ و در پایین دست مانع دوم تا ۵۰٪ کاهش داشته باشد. این مساله نشان می دهد که وجود موانع سبب شده است تا ماهیت رسوبگذاری جریان به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یابد. علاوه بر این نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که تاثیر مانع اول نسبت به مانع دوم در میزان کاهش رسوبگذاری موضعی ۱/۸ بیشتر خواهد بود. بنابراین با افزایش تعداد حوضچه های آرام کننده جریان نقش تاثیرگذار موانع در میزان کاهش رسوبگذاری موضعی کاهش می یابد.

شکل ۸. مقایسه نرخ انتقال بار معلق در حالت بدون مانع و دو مانع:

الف)  $Fr_0 = 3.85$ ، ب)  $Fr_0 = 2.98$  و ج)  $Fr_0 = 2.52$

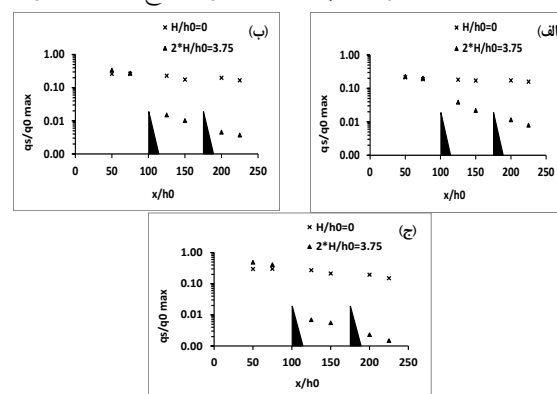


Fig. 8. The comparison of suspended sediment transport rate in without obstacle case by tow obstacle condition.

در شکل (۹) تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر نرخ انتقال بار معلق نشان داده شده است. شکل (۹) نشان می دهد با افزایش عدد فرود چگالی ورودی در بالادست مانع اول نرخ انتقال بار معلق کاهش می یابد. زیرا با افزایش عدد فرود چگالی ورودی سرعت جریان و همچنین مقادیر غلظت جریان کاهش می یابد. اما در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم با افزایش عدد فرود چگالی ورودی نرخ تغییرات انتقال بار معلق افزایش پیدا می کند. زیرا با افزایش عدد فرود چگالی ورودی ذرات رسوب کمتری در حوضچه تشکیل شده در بالادست مانع به دام افتاده و بیشتر ذرات رسوب همراه جریان به سمت پایین دست حرکت می کنند در نتیجه با افزایش عدد

- [12] Zhu, J. B., Lee, C. B., Chen, G. Q. and Lee, J.H.W, 2006, PIV observation of instantaneous velocity structure of lock release gravity currents in the slumping phase, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **11**, 262-270.
- [13] Kuenen, P. H, and Migliorini, C. I, 1950, Turbidity currents as a course of graded bedding, *J. Geol.*, **58**, 91-127
- [14] Ellison, T.H., and Turner, J.S, 1959, Turbulent entrainment in stratified flows, *J. Fluid Mech.*, **6**, 423-488.
- [15] Middleton, G. V., 1970, Experimental studies related to problems of Flysch sedimentation, *In Flysch sedimentology in North America*, ed, J. Lajoie, Geol. Assoc. Can. Spec. Pap. **7**, 253- 272.
- [16] Alavian, V., 1986, Behavior of density currents on an incline, *J. Hydr. Eng.*, ASCE, **112**(1), 27-42.
- [17] Garcia, M. H., 1994, Depositional turbidity currents laden with poorly sorted sediment, *J. Hydr. Eng.*, ASCE, **120**(11), 1240-1263.
- [18] Hosseini, S.A., Shamsai, A., Ataie-Ashtiani, B. 2006, Synchronous measurements of the velocity and concentration in low density turbidity currents using an Acoustic Doppler Velocimeter, *Flow Measurement and Instrumentation*, **17**, 59-68.
- [19] Firoozabadi, B; Afshin, H. and Bagherpour, A. 2009, Experimental Investigation of Turbulence Specifications of Turbidity Currents, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, **3**(1), 63-73.
- [20] Nourmohammadi, Z., Afshin, H., and Firoozabadi, B., 2011, Experimental observation of the flow structure of turbidity currents, *Journal of Hydraulic Research*, **49**(2), 168- 177.
- [20] Alexander, J., and Morris, S.A., 1994, Observation on experimental non-channelized turbidities: thickness variation around obstacles, *Journal of sedimentary petrology*, **64**, 899-909.
- [21] Alexander, J., and Morris, S.A., 1994, Observation on experimental non-channelized turbidities: thickness variation around obstacles, *Journal of sedimentary petrology*, **64**, 899-909.
- [22] Wood, A. W., Bursik, M. I., Kurboatov, A. V. 1998, The interaction of ash flows with ridges, *Bulletin of Volcanology*, Springer-Verlag, **60**, 38-51.
- [23] Bursik, M.I., and Woods, A.W., 2000, The effects of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents. *Journal of Sedimentary Research*, **70**, 53-63.
- [24] Morris, S. A. and Alexander, J. 2003, Changes in flow direction at a point caused by obstacles during passage of a density current, *Journal of Sedimentary Research*, **73**(4), 621-629.
- [25] Toniolo, H., Lamb, M., and Parker, G., 2006, Depositional turbidity currents in diapiric minibasins on the continental slope: formulation and theory, *Journal of Sedimentary Research*, **76**, 783-797.
- [26] Oshaghi, M. R., Afshin, H., and Firoozabadi, B. 2013, Experimental investigation of the effect of obstacles on the behaviour of turbidity currents,

فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم کاهش می یابد. کاهش مقادیر پروفیل های غلظت در طول کانال در حالت دو مانع به مقدار قابل ملاحظه ای بیشتر از کاهش مقادیر مشابه در حالت بدون مانع است. با کاهش عدد فرود چگالی ورودی، نرخ انتقال بار معلق در بالادست مانع اول افزایش می یابد اما مقادیر مشابه در فاصله بین دو مانع و پایین دست مانع دوم کاهش یافته و در نتیجه راندمان تله اندازی ذرات افزایش می یابد. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که تاثیر مانع اول نسبت به مانع دوم در میزان کاهش رسوبگذاری موضعی ۱/۸ بیشتر خواهد بود. بنابراین با افزایش تعداد حوضچه های آرام کننده جریان نقش تاثیرگذار موانع در میزان کاهش رسوبگذاری موضعی کاهش می یابد.

## References

## ۵- مراجع

- [1] Simpson, J. E. 1997, Gravity currents: In the environment and the laboratory. New York:Cambridge University Press.
- [2] Batuca, D. G. and Jordaan, J. M. 2000, Silting and Desilting of Reservoirs, *CRC Press*.
- [3] Oehy, C., and Schleiss, A., 2007, Control of turbidity currents in reservoir by solid and permible obstacles, *J. Hydr. Eng.*, ASCE, **133** (6), 637-648.
- [4] Kneller, B.C., and McCaffrey, W. 1999, Depositional effects of flow nonuniformity and stratification within turbidity currents approaching a bounding slope: deflection, reflection, and facies variation, *Journal of Sedimentary Research*, **69**, 980-991
- [5] Middleton, G. V. 1966, Experiments on density and turbidity currents: I. motion of the head, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **3**, 523-546.
- [6] Allen, J. R.L. 1971, Mixing at turbidity current heads and its geologic implications, *J. Sediment. Petrol.*, **41**, 97-113.
- [7] Simpson, J.E. and Britter, R.E. 1979, The dynamics of the head of gravity current advancing over a horizontal surface, *J. Fluid Mech.*, **94**, 477-495.
- [8] Britter, R. E. and Linden, P. F. 1980, The motion of the front of a gravity current traveling down an incline", *J. Fluid Mech.*, **99**, 531-543.
- [9] Altinakar, M. S., Graf, W. H. and Hopfinger, E. J. 1990, Weakly depositing turbidity current on a small slope, *Journal of Hydraulic Research*, **28**(1), 55-80.
- [10] Altinakar, M., and Graf, 1996, Flow structure in turbidity currents, *Journal of hydraulic Research*, **35** (5), 713-718.
- [11] Garcia, M. H., and Parsons, J. D., 1996, Mixing at the front of gravity currents, *Dyn. Atmos. Oceans*, **24**, 197-205.

- [28] Maroosi, M. Ghomeshi, M. Bashavard, H. 2010, control of sedimentation in reservoirs by obstacles, *8th International river engineering conference*, Ahwaz, (In Persian)
- [29] Yaghoubi, S. Afshin, H. Firoozabadi, B. and Abazari, J. 2014, Experimental investigation of obstacle height on 2D behavior of turbidity currents, *22nd Annual Conference of Mechanical Engineering*, Ahwaz, (In Persian)
- [30] Abhari, N. M. 2013, Experimental investigation of obstacle on sedimentary density current motion, *PhD thesis, Tarbiat Modares University* (In Persian)
- [31] Daugherty, R. L. and Franzini, J. B. 1965, Fluid Mechanics with Engineering Applications, 6th ed., New York: McGraw-Hill, Chapter 10, 276-326.
- [32] Bose, S. K., and Dey, S., 2009, Suspended load in flows on erodible bed, *J. Sedi. Res.*, **24**(3), 315–324.
- Canadian J. Civil Eng.*, **40**(4), 343-352.
- [27] Tokyay, T., and Constantinescu, G., 2015, The effects of a submerged non-erodible triangular obstacle on bottom propagating gravity currents, *Physics of fluids*, **27**(5).

# Experimental Investigating on the Effects of Two Obstacles on Behaviour of Turbidity Current

M. Naji Abhari<sup>1\*</sup>, M. Iranshahi<sup>2</sup>, M. Ghodsian<sup>3</sup>

1-Assistant Professor, Asrar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran

2-Master of Hydraulic Engineering, Tarbiat Modares, University, Tehran, Iran

3-Professor, Water Engineering Research Institute, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

\*mandana.naji@gmail.com

## Abstract:

Turbidity currents account for transporting sediments into reservoirs, seas, and oceans. Its main driving mechanism is the density difference between the sediment-laden and the ambient fluids. This phenomenon may lead to a blockage of the bottom outlet, affecting the operation of hydropower systems and reducing the reservoir storage capacity. Therefore, if the movement of the turbidity current toward a dam is restricted then the sediment settles down prior reaching the dam at early stages of progressing into dam reservoir, the reservoir storage capacity is preserved for a longer period. The use of obstacles not only controls the deposition of fine grains at critical locations like in front of intakes and bottom outlets but also improves the reservoir operation from the environmental perspective. So, understanding dynamics of these currents for sedimentation and erosion is very important. In this paper, the effects of two obstacles on the behaviour of turbidity currents investigated experimentally. An eleven meters long rectangular channel (11 m×0.6 m×1.0 m) with the bottom slope of 0.25% was used to run the experiments and a 3 m<sup>3</sup> tank along with a constant head tank were served as the turbid water supplier. Two triangular obstacles were installed at predefined locations from the sluiceway. Then the experiments were carried out and the results compared with those from without obstacle condition. Velocity and concentration profiles at the upstream of first obstacle and between the first and second obstacles are measured by Vectrino at quasi-steady conditions and compared to those of without obstacle conditions showing a significant decrease of velocity in the presence of the two obstacles specially between the two obstacles and also at the downstream of the second obstacle. Fluid volume discharge per unit width and suspended sediment transport rate are calculated based on measured velocity and concentration. Also, the effects of inlet Froude number on the fluid volume discharge per unit width and suspended sediment transport rate was investigated. The results show that presence of obstacles introduces new regions to velocity profiles and two ponds of turbidity currents are formed at the upstream of the first obstacle and between the two obstacles. The hydraulic conditions at these ponds make a suitable condition for the suspended particles to be trapped and hence the sedimentation. Variation of the suspended sediment transport rate and the fluid volume discharge per unit width depend on obstacle location. These parameters at the upstream of the first obstacle are directly in proportion to the inlet Froude number while at the downstream the second obstacle and between the obstacles are inversely proportional. By decreasing the inlet Froude number, the volume discharge per unit width increases at the upstream of the first obstacle whereas, the amount decreases between the obstacles. Also, as the inlet Froude number decreases, the suspended sediment transport rate increases at the the upstream of the first obstacle but the value decreases between the obstacles and downstream of the second obstacle resulting the increase of the trap efficiency. The obstacles become more effective in controlling the turbidity currents when the inlet Froude number decreases. The first obstacle is 1.8 times more effective on reduction of local sedimentation rate than the second obstacle.

**Keywords:** Turbidity current, Obstacles, Inlet Froude number, Fluid volume discharge per unit width, Suspended sediment transport rate.