

# مقایسه آزمایشگاهی اثر مانع متخلخل و مانع پلکانی متخلخل در کنترل جریان غلیظ

مجتبی کردنائیج<sup>۱</sup>، سید امین اصغری پری<sup>۱\*</sup>، سید محسن سجادی<sup>۲</sup>، محمود شفاعی بجزستان<sup>۲</sup>

۱. گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان

۲. گروه سازه‌های آبی دانشکده علوم مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۴

## چکیده

در تحقیق حاضر از مانع متخلخل به‌عنوان یک مانع نفوذپذیر جهت کنترل جریان غلیظ رسوبی استفاده شده است. برای ساخت مانع متخلخل از چینه‌های ریاضی به ابعاد  $2/1 \times 2/1 \times 2/1$  سانتی‌متر استفاده شد. آزمایشات در فلومی شیب‌پذیر به طول ۱۰ متر و در دو شیب ۰ و  $2/5$  درصد انجام شد. دبی ورودی در کلیه‌ی آزمایشات مقدار ثابت  $0/7$  لیتر در ثانیه بود. غلظت ورودی جریان غلیظ نیز برابر با  $20$  گرم بر لیتر بود و هم‌چنین غلظت جریان غلیظ در بالادست و پایین دست مانع متخلخل اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت با استفاده از نمونه‌گیر سیفونی انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مانع متخلخل از مانع متخلخل پلکانی رو به جریان عملکرد بهتری داشته است. هم‌چنین مانع پلکانی متخلخل با پلکان پشت به مسیر جریان غلیظ، از مانع متخلخل و مانع پلکانی با پلکان رو به جریان، مقدار بیشتری از دبی رسوبی را کاهش داده است.

واژگان کلیدی: جریان غلیظ، مدل فیزیکی، مانع پلکانی، مانع متخلخل

## ۱. مقدمه

جریان غلیظ جریانی با چگالی بالا ( $\rho_t$ ) است که به علت اختلاف چگالی دو سیال بر روی شتاب جاذبه به وجود می‌آید. شتاب ثقل موثر بر جریان که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$g' = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g C_s \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $C_s$  غلظت حجمی متوسط رسوبات غیر چسبنده،  $\rho_t$  دانسیته سیال غلیظ،  $\rho_a$  دانسیته سیال پیرامون،  $\rho_s$  دانسیته ذرات رسوب،  $\rho_w$  دانسیته آب می‌باشد. این پدیده در طبیعت به شکل‌های مختلف و متنوعی مشاهده می‌شود. مواردی چون سقوط بهم‌ها، سرازیر شدن گدازه‌های آتشفشان، حرکت جبهه‌های هوای گرم و سرد، تندرهای گرد و غبار، جریان‌های رسوبی در دریاها و مصب رودخانه‌ها نمونه‌هایی از جریان غلیظ در طبیعت می‌باشند (Garcia 1992) بیان نمود که اولین مشاهده ثبت شده جریان غلیظ توسط محقق بنام Forel (1885) در دریاچه جنوا در کشور سوئیس گزارش شده است. مشاهدات وی نشان داد که رسوبات رودخانه رن که به دریاچه جنوا منتهی می‌شود باعث ایجاد جریان‌ات غلیظ می‌گردد. برداشت توپوگرافی کف دریاچه در سال‌های بعد نشان داد که معبری به شکل کانال به طول ۹ کیلومتر از مصب رودخانه تا درون دریاچه به وجود آمده است. عرض این کانال ۲۰۰ متر و عمق آن ۱۵ متر بوده است. برای کنترل جریان غلیظ می‌توان به شیوه‌های متفاوتی از جمله استفاده از زبری، ترکیب مانع و زبری، استفاده از حباب هوا، استفاده از موانع (نفوذپذیر و نفوذناپذیر) و استفاده از جت آب و هم‌چنین ایجاد مخزن یا دریاچه جهت کنترل جریان غلیظ اشاره نمود. Asghari Pari و همکاران (2010) با استفاده از جریان غلیظ نمکی تغییرات ارتفاع مانع در کنترل جریان غلیظ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها هم‌چنین از ۱۰ ارتفاع متفاوت مانع بسته به شرایط جریان ورودی استفاده نمودند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که برای توقف جریان غلیظ با مانع در جریان زیربحرانی ارتفاع مانع باید ۲ تا ۲/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد. Yaghubi و همکاران (2013) به بررسی آزمایشگاهی اثر دو مانع متوالی مثلثی شکل در رفتار جریان غلیظ با شیب مختلف فلوم و ارتفاع مختلف

پرداختند و نتایج حاصل نشان داد که متوسط غلظت در بالادست مانع به‌طور محسوس بیش‌تر از پایین دست مانع می‌باشد. هم‌چنین برای اعداد فرود در محدوده‌ی زیربحرانی، متوسط غلظت پایین دست با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد و برای اعداد فرود در محدوده‌ی فوق-بحرانی، متوسط سرعت و متوسط غلظت با وجود افزایش ارتفاع مانع تقریباً ثابت باقی می‌ماند و ارتفاع موانع در این شرایط چندان موثر نیستند. Leong و همکاران (2006) آزمایشات خود را بر روی راندمان تله‌اندازی رسوبات توسط مدل فیزیکی یک حوضچه انجام دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تغییرات زمانی غلظت جریان عبوری از روی مانع بعد از این‌که جریان دائمی می‌شود، قابل ملاحظه نیست و هم‌چنین دانه‌بندی رسوبات عبوری ریزتر و غلظت نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم شده است. Woods و همکاران (1998) به بررسی برخورد جریان غلیظ ناشی از خاکسترهای آتشفشانی با مانع به‌صورت آزمایشگاهی و با استفاده از مدل تئوری پرداختند. آن‌ها در مدل آزمایشگاهی اثر یک مانع و دو مانع را بر روی جریان بررسی نمودند. نتایج آن‌ها از آزمایشات بیش‌تر به توصیف جریان در برخورد با مانع معطوف شده و تنها نتیجه کمی آن‌ها از آزمایشات روند نمایی رسوب‌گذاری در طول فلوم بوده است. آن‌ها عنوان نمودند که تنها مانعی می‌تواند بر الگوی رسوب‌گذاری تأثیر بگذارد که باعث بلوک نسبی جریان شود. هم‌چنین آن‌ها با استفاده از مدل تئوری حداقل ارتفاع مورد نیاز برای توقف کامل جریان را، که برای جریان بحرانی می‌باشد، ۲/۱ برابر عمق بحرانی محاسبه نمودند. Prinos (1999) اثر شکل مانع را با دو شکل نیم‌دایره و مثلثی با ارتفاع یکسان و برای حرکت دو بعدی بر روی فلوم افقی، بر روی جریان غلیظ مطالعه نمود. او دریافت که هندسه این دو مانع بر روی سرعت پیشانی جریان و نسبت جریان عبوری از روی مانع اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد. Nequeira و همکاران (2013) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی حرکت جریان غلیظ در سطوح زبر و صاف پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که میزان زبری بستر تأثیر بسیار مهم و موثری در میزان پیشرفت و حرکت جریان غلیظ دارد به‌طوری که در زبری‌های کم، میزان کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ کم‌تر، و در زبری‌های بالاتر میزان کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ بیش‌تر می‌باشد. Daryaee و همکاران

مکعب مستطیل‌های توخالی (به شکل چیننه) پیش‌ساخته که به‌عنوان حفاظت سواحل در موج‌شکن‌ها استفاده می‌شود، به بررسی اثر موانع متخلخل ساخته شده از این چیننه‌ها به‌صورت تک ردیف با ارتفاع مختلف و مقایسه‌ی آن با موانع متخلخل پلکانی و وضعیت قرارگیری پلکان برای کنترل جریان غلیظ رسوبی در غلظت و دبی ثابت پرداخته شده است. آزمایشات در دو شیب ۰ و ۲/۵ درصد انجام گردید. عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان از رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$Fr_{th} = \frac{U_f}{\sqrt{g'H_f \cos\theta}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $\theta$  شیب کف بستر،  $U_f$  سرعت پیشانی جریان و  $H_f$  ارتفاع پیشانی جریان می‌باشد. برای محاسبه عدد رینولدز نیز از رابطه (۳) استفاده شد.

$$Re = \frac{\rho_t U_f H_f}{\mu} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه  $\rho_t$ : جرم واحد حجم اولیه جریان غلیظ و  $\mu$ : لزوجت دینامیکی جریان غلیظ می‌باشد. به‌منظور کنترل میزان جریان غلیظ از دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ استفاده شد. دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ از رابطه (۴) تعیین گردید.

$$Q_s = U_f \times H_f \times B \times C \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه  $Q_s$ : دبی پیشانی جریان غلیظ رسوبی  $B$ : عرض فلوم و  $C$ : متوسط غلظت حجمی پیشانی جریان غلیظ حاصل از پروفیل غلظت گرفته شده با استفاده از نمونه‌گیر سیفونی می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

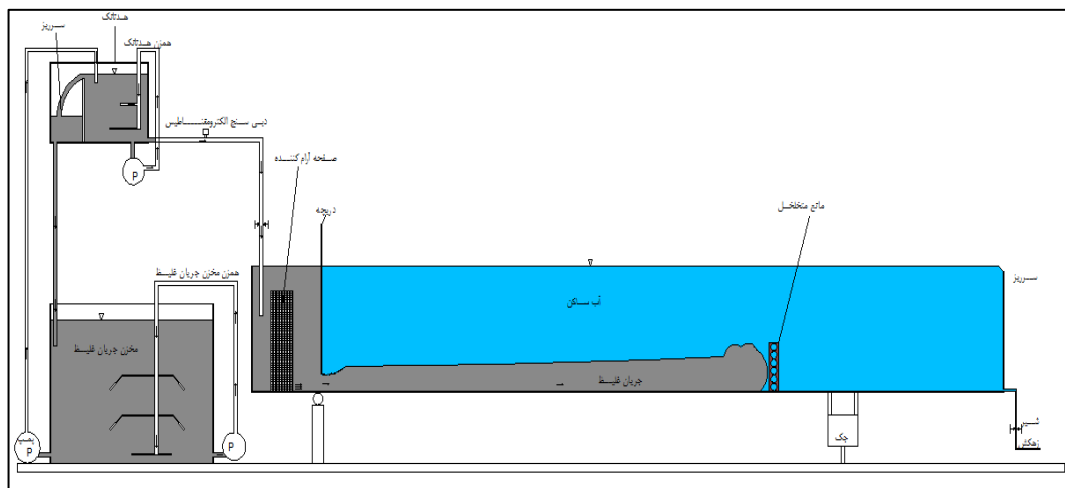
این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان و بر روی فلوم شیب‌پذیر به طول ۱۰ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر انجام شد. در این تحقیق از جریان غلیظ رسوبی استفاده شده است. از چیننه‌های ریاضی موجود در بازار برای ساخت موانع متخلخل استفاده شد. ابعاد این چیننه‌های مکعبی ۲/۱ سانتی‌متر بوده و قطر دایره درون آن‌ها، با تراشکاری به ۱۱ میلی‌متر تغییر یافت. با در کنار هم قرار دادن چیننه‌ها موانع به اشکال مورد نظر ساخته می‌شدند. جهت ثبت و اندازه‌گیری سرعت و ارتفاع پیشانی جریان غلیظ، فیلمبرداری از لحظه بالا کشیدن دریچه تا انتهای فلوم انجام شده است. هم‌زمان میزان ارتفاع (با

2015) به بررسی اثر هم‌زمان مانع و زبری در کنترل جریان غلیظ رسوبی پرداختند و نتیجه گرفتند که به‌کار بردن زبری به همراه مانع تا حد قابل توجهی بر روی کنترل دبی جریان غلیظ خواهد داشت. به‌نحوی که در حالت بدون زبری و با مانع به اندازه ارتفاع بدنه جریان تا حدود ۳۱ درصد کاهش دبی رسوبی وجود داشت و در برخی از حالت‌های کارگذاری زبری تا ۱۰۰ کنترل صورت گرفت.

AsghariPari و Mohagheghiyani (2015) به بررسی عددی ایجاد گودال‌های کنترلی به شکل‌های مستطیل، نیم‌دایره و مثلثی در بستر مخزن برای کنترل جریان غلیظ در ورودی مخزن سد پرداختند و نتیجه گرفتند که گودال‌های کنترلی تا حد زیادی توانایی کنترل جریان غلیظ هم در حالت زیربحرانی و فوق‌بحرانی را دارند. این محققان به بررسی اثر استفاده از مانع صفحه‌ای و ستونی مورب در کنترل جریان غلیظ با استفاده از نرم افزار ANSYS-CFX پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که موانع ستونی زیکزاک و صفحه‌ای ۹۰ درجه بیش‌ترین کارایی را دارند. Ohey و Schleiss (2007) در مطالعه‌ای به بررسی اثر مانع نفوذپذیر و مقایسه آن با مانع نفوذناپذیر با استفاده از مدل فیزیکی و مقایسه نتایج با مدل ریاضی CFX پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تأثیر ایجاد مانع نفوذناپذیر در جریان زیربحرانی بسیار بیش‌تر از جریان فوق‌بحرانی می‌باشد. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد که برای عملکرد بهتر صفحات مشبک، باید ارتفاع مانع حداقل ۳ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد. هم‌چنین نتایج آزمایشات و نتایج شبیه‌سازی نشان داد که جریان غلیظ پس از برخورد به مانع نفوذپذیر به سمت سطح آب حرکت می‌کند در نتیجه باید ارتفاع صفحه به‌گونه‌ای انتخاب شود تا جریان غلیظ از روی آن عبور نکند. لذا نتایج نشان داد که ارتفاع صفحه حداقل ۳ برابر ارتفاع جریان غلیظ باشد تا این شرایط مهیا شود و نتیجه مطلوب حاصل شود. Ohey و Schleiss (2010) نیز تأثیر جت آب را بر روی رفتار و هم‌چنین کنترل جریان غلیظ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر جت مخالف با زاویه ۴۵ درجه نسبت به کف بر کنترل جریان غلیظ بیش‌تر از جت عمودی می‌باشد. با توجه به این‌که احداث صفحات مشبک با ارتفاع زیاد در عرض دره در مخزن سد از لحاظ اجرایی بسیار مشکل خواهد بود لذا در مقاله حاضر با الگوگیری از

عنوان رسوبات به میزان محاسبه شده در مخزن آب شفاف که با پمپ اختلاط در حال گردش بود، اضافه شده و سپس با یک پمپ انتقال به هدتانک منتقل گشت. در مخزن هد تانک نیز جهت جلوگیری از نشست رسوبات از پمپ اختلاط استفاده شد. جریان رسوبی از هد تانک با استفاده از یک شیر و دی-سنج الکترومغناطیسی، دبی ثابت  $0.7$  لیتر در ثانیه را به فلوم منتقل می‌کرد. در قسمت ورودی فلوم نیز از یک دریچه برای جداسازی آب شفاف و جریان رسوبی استفاده شد که به صورت ناگهانی باز می‌شد و ارتفاع بازشدگی به میزان  $4/5$  سانتی‌متر با توجه به مطالعات قبلی Ohey و Schleiss (2007) در نظر گرفته شده است. دما در کلیه آزمایشات برای مخزن جریان غلیظ و هم‌چنین آب ساکن درون فلوم اندازه‌گیری شد. اختلاف دمای ماکزیمم  $0.8$  درجه‌ی سانتی‌گراد بوده است. در درون مخزن جریان غلیظ اندازه متوسط رسوبات ( $D_{50}$ )  $86$  میکرومتر بودند. در تحقیق

اشل) و زمان رسیدن پیشانی جریان (با کرنومتر) به محل‌های مشخص، که به فاصله  $0.5$  متر از یکدیگر و از ورودی فلوم تا انتهای آن قرار داشتند ثبت شده و سپس با تصاویر فیلمبرداری، محاسبات کنترل شدند. ارتفاع‌های  $15$ ،  $24$  و  $30$  سانتی‌متر برای مانع متخلخل و برای مانع پلکانی متخلخل  $15$  و  $24$  سانتی‌متر در هر دو جهت روبه جریان و پشت به مسیر جریان غلیظ انتخاب شدند. موانع در فاصله  $4/5$  متری از ورودی فلوم قرار گرفتند. این فاصله به منظور رعایت فاصله مورد نظر برای تشکیل پیشانی جریان و توسعه یافتگی جریان در نظر گرفته شد. غلظت جریان در مخزن جریان غلیظ،  $20$  گرم بر لیتر بود. برای اندازه‌گیری غلظت، از سیفون‌هایی که شامل سرنگ با حجم مشخص  $50$  سی‌سی بودند استفاده گردید. نمونه‌گیر سیفونی در فاصله  $0.5$  متر قبل از مانع و  $1$  و  $2$  متر بعد از مانع قرار گرفتند. در هر نمونه‌گیر  $10$  عدد نمونه‌گیر به فاصله  $2$  سانتی‌متر از کف قرار داشتند. نمونه‌ها پس از



حاضر  $16$  آزمایش در غلظت ثابت  $20$  گرم بر لیتر و دبی ثابت  $0.7$  لیتر بر ثانیه انجام شد. در شکل (۱) شماتیکی از فلوم نشان داده شده است. شکل ۱. شکل شماتیک از فلوم و تجهیزات مورد استفاده.

آزمایش با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج قرائت می‌شدند و با توجه به نمودار تبدیل کدورت به غلظت که از قبل تهیه شده بود، نتایج غلظت ثبت گردید. پودر سنگ به-

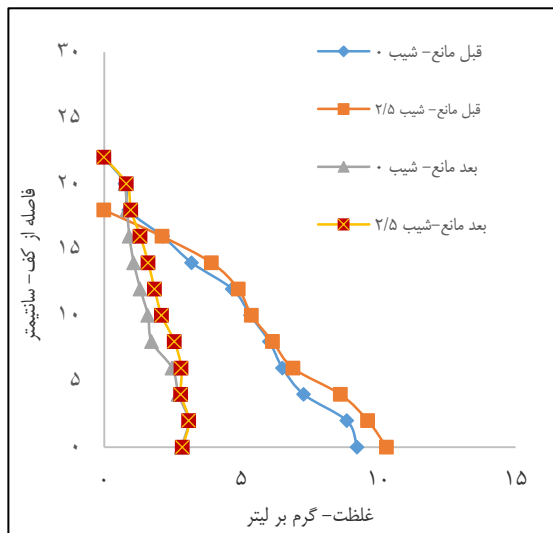
دنیسومتریکی پیشانی جریان به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر با توجه به تحقیقات قبلی که نشان‌دهنده شرایط ورودی جریان است، در آزمایشات به‌عنوان پارامتر بی‌بعد مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور انجام آنالیز ابعادی متغیرهای حاکم در جدول (۱) قرار دارد.

جدول ۱. متغیرهای حاکم برای انجام آنالیز ابعادی.

نام متغیر	متغیر	بعد
ارتفاع پیشانی	$h$	$L$

با استفاده از روش باکینگهام و با توجه به این‌که متغیرها دارای سه بعد اصلی  $M$ ،  $L$ ،  $T$  هستند،  $\rho$  و  $h$  و  $V$  به‌عنوان متغیرهای تکراری انتخاب و پارامترهای بدون بعد به‌دست آمده در این آزمایش شامل شیب، عدد رینولدز، عدد فرود دنسومتریکی پیشانی جریان و  $\frac{\text{ارتفاع مانع}}{\text{ارتفاع هد}}$  می‌باشند. محدوده‌ی عدد رینولدز در تمامی آزمایشات تحقیق حاضر بالاتر از  $2000$  بوده است. در ادامه نیز عدد فرود

۵۰ درصد از ذرات توانستند تا محل اندازه‌گیری غلظت قبل از مانع در فاصله ۴ متری از ورودی فلوم برسند. بخشی از ذرات رسوب در مخازن جریان غلیظ و هدتانک و بخشی در فاصله ورودی فلوم تا قبل از مانع ته‌نشین شده‌اند. بخشی دیگر نیز توسط مانع متخلخل پلکانی ته‌نشین شده است. باقی‌مانده رسوبات در واقع ذرات ریزی هستند که در محدوده‌ی لای قرار می‌گیرند و پروفیل‌های غلظت بعد از مانع در هر دو حالت بدون شیب و شیب‌دار نشان می‌دهند که به حالت قائم نزدیک شده‌اند و این یکنواختی در پروفیل غلظت نشان از برابر بودن قطر ذرات عبوری در این مقطع می‌باشند. برای به دام انداختن این بخش از رسوبات باید جریان غلیظ عبوری را کاملاً متوقف نمود که این امر نیازمند مانعی با ارتفاع ۲ الی ۲/۵ برابر ارتفاع بدنه جریان می‌باشد. ایجاد مانع با ارتفاع زیاد به لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد. متوسط غلظت اندازه‌گیری شده بعد از مانع نسبت به موقعیت قبل از مانع در حدود ۷۵ درصد برای هر دو حالت شیب‌دار و بدون شیب کاهش داشته است و تنها مقداری کم‌تر از ۲۵ درصد از متوسط غلظت برای مانع متخلخل پلکانی با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۱۴ بدون شیب و ۱/۵ در حالت شیب‌دار) که در



شکل (۲) نشان داده شده، عبور کرده است.

شکل ۲. پروفیل غلظت قبل و بعد مانع برای مانع پلکانی متخلخل با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر در شیب ۰ و ۲/۵ درصد

جریان غلیظ عبوری بعد از مانع متخلخل، بسته به شیب، شکل قرارگیری مانع متخلخل و ارتفاع مانع سه نوع رفتار نشان می‌دهد.

L	$h_m$	ارتفاع مانع
$LT^{-1}$	V	سرعت پیشانی
1	S	شیب
$LT^{-2}$	$g'$	ثقل کاهش یافته
$ML^{-3}$	$\rho$	چگالی
$ML^{-1}T^{-1}$	$\mu$	لزجت دینامیکی

### ۳. نتایج و بحث

به‌منظور کاهش ارتفاع مانع مشبک توصیه شده توسط Schleiss و Ohey (2007) و کاهش مشکلات اجرایی، از موانع متخلخل (چینه) با ارتفاع کم‌تر از ۳ برابر ارتفاع بدنه جریان، استفاده شده است. کاهش ارتفاع برای مانع متخلخل، شرایطی را به‌وجود می‌آورد که جریان بتواند علاوه بر عبور از بدنه مانع، از روی مانع نیز عبور کند. با توجه به این‌که هدف تحقیق حاضر بر روی دبی جریان رسوبی حاصل از پیشانی جریان غلیظ بوده است و غلظت جریان عبوری از روی مانع به‌دلیل تداخل با آب ساکن پیرامون چه در زمان بالا رفتن از مانع و چه در زمان عبور از روی مانع، کاهش می‌یابد، لذا با توجه به این شرایط، مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده غلظت برای پیشانی جریان در این حالت نسبت به حالت‌های دیگر کم‌تر بوده و از این رو میزان اختلاف کاهش دبی رسوبی برای این حالت افزایش می‌یابد. برای محاسبه میزان دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ با توجه به رابطه (۴)، از متوسط غلظت استفاده شده است. غلظت پیشانی با استفاده از نمونه‌گیری‌های سیفونی در زمان انجام آزمایش برداشت شده‌اند. با توجه به نمودار (۱) مشاهده شده که پروفیل غلظت قبل از مانع در نقاط یکسان برای شیب ۲/۵ درصد نسبت به پروفیل غلظت در شیب صفر دارای مقادیر بیشتری بوده است. این بیشتر بودن، نشان از حمل مقدار بیشتری از ذرات رسوب در بستر شیب‌دار نسبت به حالت بدون شیب دارد. پروفیل‌های غلظت بعد از مانع نیز دارای شرایط مشابه می‌باشند، به‌طوری که متوسط مقادیر پروفیل غلظت بعد از مانع در شیب ۲/۵ درصد نسبت به شیب صفر بیشتر است. هم‌چنین ملاحظه می‌گردد که بیش‌ترین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده مربوط به بستر با شیب ۲/۵ درصد بوده و این مقدار برابر با ۱۰/۳ گرم بر لیتر است. مقدار ورودی به درون مخزن ۲۰ گرم بر لیتر بوده است که حتی با وجود سیستم‌های سیرکولاسیون تعبیه شده در مخزن جریان غلیظ و مخزن هد تانک، فقط

نوع اول: در این حالت پیشانی جریان غلیظ عبوری از روی مانع متخلخل جلوتر از جریان غلیظ عبوری از داخل مانع متخلخل می‌باشد (شکل ۳). با پیشروی جریان بعد از مانع متخلخل تشخیص پیشانی جریان عبوری از درون مانع که کمی عقب‌تر قرار دارد سخت می‌باشد.

قبل و بعد از مانع از رابطه (۴) استفاده شده است و با مقایسه آن‌ها و استفاده از رابطه (۵) می‌توان کارایی موانع متخلخل در هر آزمایش را محاسبه نمود.

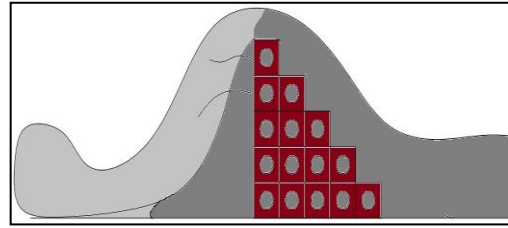
$$\text{رابطه (۵)} \quad R\% = \frac{\text{دبی بعد از مانع} - \text{دبی قبل از مانع}}{\text{دبی قبل از مانع}} \times 100$$

که در آن R درصد کارایی می‌باشد. در جدول (۲) محدوده‌ی عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان غلیظ نشان داده شده است.

جدول ۲. محدوده‌ی عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان.

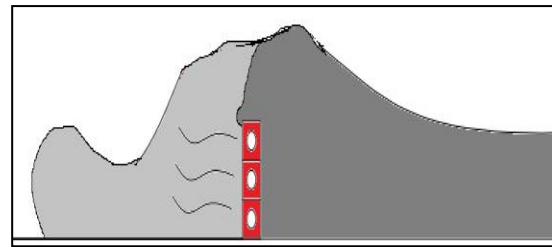
حد اکثر $Fr_{dh}$	حداقل $Fr_{dh}$
۰/۳۳۲	۰/۲۱۹

لازم به ذکر است که در جریان غلیظ، ارتفاع پیشانی جریان غلیظ نسبت به بدنه بیش‌تر بوده، از طرفی سرعت بدنه جریان از پیشانی بیش‌تر است و این شرایط باعث یکپارچگی و اتصال بدنه به پیشانی می‌شود و هم‌چنین پیشانی از بدنه جریان غلیظ تغذیه می‌شود. بنا به دو دلیل ذکر شده همواره مقدار عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان غلیظ، از بدنه کم‌تر می‌باشد. نتایج برای کلیه‌ی آزمایشات تحقیق حاضر در جدول (۳) ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع نسبی، میزان کاهش درصد دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ، افزایش می‌یابد و این نتیجه برای حالت بدون شیب و شیب‌دار برای هر یک از حالات مانع متخلخل و مانع پلکانی رو و پشت به جریان حاکم می‌باشد. جریان به-صورت هم‌زمان در دو جهت عمودی و افقی در راستای جریان وارد تخلخل‌ها که از لحاظ حجمی به شکل کره است، می‌شود.



شکل ۳. جریان عبوری از نوع اول - پیشانی جریان عبوری از روی مانع پلکانی (روبه جریان) جلوتر از جریان عبوری داخل آن.

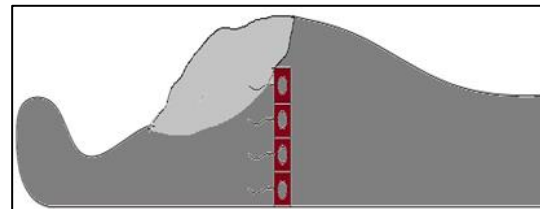
نوع دوم: پیشانی جریان عبوری از داخل مانع متخلخل از پیشانی جریان عبوری از روی مانع متخلخل جلوتر می-



باشد.

شکل ۴. جریان عبوری در حالت دوم - پیشانی جریان عبوری از داخل مانع متخلخل جلوتر از جریان روی مانع متخلخل.

نوع سوم: در این حالت جریان عبوری از روی مانع متخلخل و داخل آن پس از عبور از مانع متخلخل با فاصله کم به یکدیگر می‌پیوندند و با تشکیل یک پیشانی واحد به



مسیر ادامه می‌دهند.

شکل ۵. هم‌زمانی تداخل پیشانی جریان عبوری از درون مانع و عبوری از روی مانع.

هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر موانع متخلخل و موانع متخلخل پلکانی در کاهش دبی پیشانی جریان غلیظ عبوری می‌باشد. با توجه به سه حالت بیان شده، مقادیر غلظت پیشانی جریان از دو پیشانی که در حالت اول و دوم جلوتر در حرکت بوده‌اند، اندازه‌گیری شدند. از این‌رو نتایج به‌دست آمده در دو حالت اول و دوم قابل مقایسه با حالت سوم که با پیشانی واحد پس از مانع متخلخل در حرکت بود، نمی‌باشند. لذا جهت همسانی و امکان مقایسه، فقط جریان‌های عبوری پس از مانع که از نوع سوم می‌باشند با یکدیگر مقایسه شده‌اند. جهت محاسبه دبی جریان غلیظ

جدول ۳. نتایج حاصل از بررسی دبی رسوبی جریان غلیظ.

شماره آزمایش	نوع مانع متخلخل	ارتفاع مانع (cm)	شیب (%)	نوع جریان	ارتفاع نسبی (ارتفاع مانع / ارتفاع هد)	عدد فرود دنسومتریکی	پیشانی جریان غلیظ	متوسط غلظت قبل مانع (گرم بر لیتر)	متوسط غلظت بعد مانع (گرم بر لیتر)	دبی رسوبی قبل مانع ( $m^3/s$ )	دبی رسوبی بعد مانع ( $m^3/s$ )	R (درصد کاهش دبی رسوبی)
۱	بدون مانع	۰	۰	۳	---	۰/۲۱۹	۵/۴۲	۳/۶	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۰۹	۴۳/۵۲	
۲	بدون مانع	۰	۲/۵	۳	---	۰/۳۳۲	۵/۴۶	۲/۹۴	۰/۰۲۲۲	۰/۰۱۴۵	۳۴/۶۸	
۳	یک ردیف مانع متخلخل	۱۵	۰	۳	۰/۷۵	۰/۲۵۸	۵/۲۳	۲/۱۵	۰/۰۲۱۵	۰/۰۰۵۹	۷۲/۵۶	
۴	یک ردیف مانع متخلخل	۱۵	۲/۵	۳	۰/۹۴	۰/۲۹۶	۵/۵۵	۲/۵۵	۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۶۶	۶۵/۹۸	
۵	یک ردیف مانع متخلخل	۲۴	۰	۳	۱/۱۴	۰/۲۲۲	۵/۷۸	۱/۹۱	۰/۰۲۳۲	۰/۰۰۴۹	۷۸/۸۸	
۶	یک ردیف مانع متخلخل	۲۴	۲/۵	۲	۱/۵	۰/۲۹۶	۵/۵۵	۱/۹۶	۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۴۷	۷۵/۷۷	
۷	یک ردیف مانع متخلخل	۳۰	۰	۳	۱/۴۳	۰/۲۳۴	۵/۷۳	۱/۲۹	۰/۰۲۴۲	۰/۰۰۲۲	۹۰/۹۱	
۸	یک ردیف مانع متخلخل	۳۰	۲/۵	۳	۱/۸۷	۰/۲۹۲	۵/۹۲	۱/۸۹	۰/۰۲۱۰	۰/۰۰۶۳	۷۰/۱۹	
۹	پلکان رو به جریان	۱۵	۰	۳	۰/۷۳	۰/۲۴۶	۵/۴۷	۳/۱۳	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۰۱	۵۵/۹	
۱۰	پلکان رو به جریان	۱۵	۲/۵	۱	۰/۹۴	۰/۲۶۸	۵/۸۳	۱/۷۵	۰/۰۲۰۳	۰/۰۰۵۵	۷۲/۹۱	
۱۱	پلکان رو به جریان	۲۴	۰	۳	۱/۲	۰/۲۴۴	۵/۹۱	۳/۱۱	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۷۰	۷۱/۴۳	
۱۲	پلکان رو به جریان	۲۴	۲/۵	۳	۱/۴۱	۰/۲۹۸	۵/۸۳	۳/۰۵	۰/۰۲۳۰	۰/۰۰۷۶	۶۶/۹۶	
۱۳	پلکان پشت به جریان	۱۵	۰	۳	۰/۷۵	۰/۲۶۹	۵/۱۲	۲/۷۵	۰/۰۲۱۸	۰/۰۰۲۱	۸۱/۶۵	
۱۴	پلکان پشت به جریان	۱۵	۲/۵	۳	۰/۹۱	۰/۲۹۳	۵/۸۴	۳/۸۰	۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۹۳	۵۷/۱۴	
۱۵	پلکان پشت به جریان	۲۴	۰	۳	۱/۱۷	۰/۲۸۱	۵/۷۴	۲/۹۲	۰/۰۲۳۴	۰/۰۰۳۶	۸۴/۶۲	
۱۶	پلکان پشت به جریان	۲۴	۲/۵	۳	۱/۴۵	۰/۲۹۶	۶/۵۳	۲/۱۰	۰/۰۲۵۹	۰/۰۰۵۳	۷۹/۵۴	

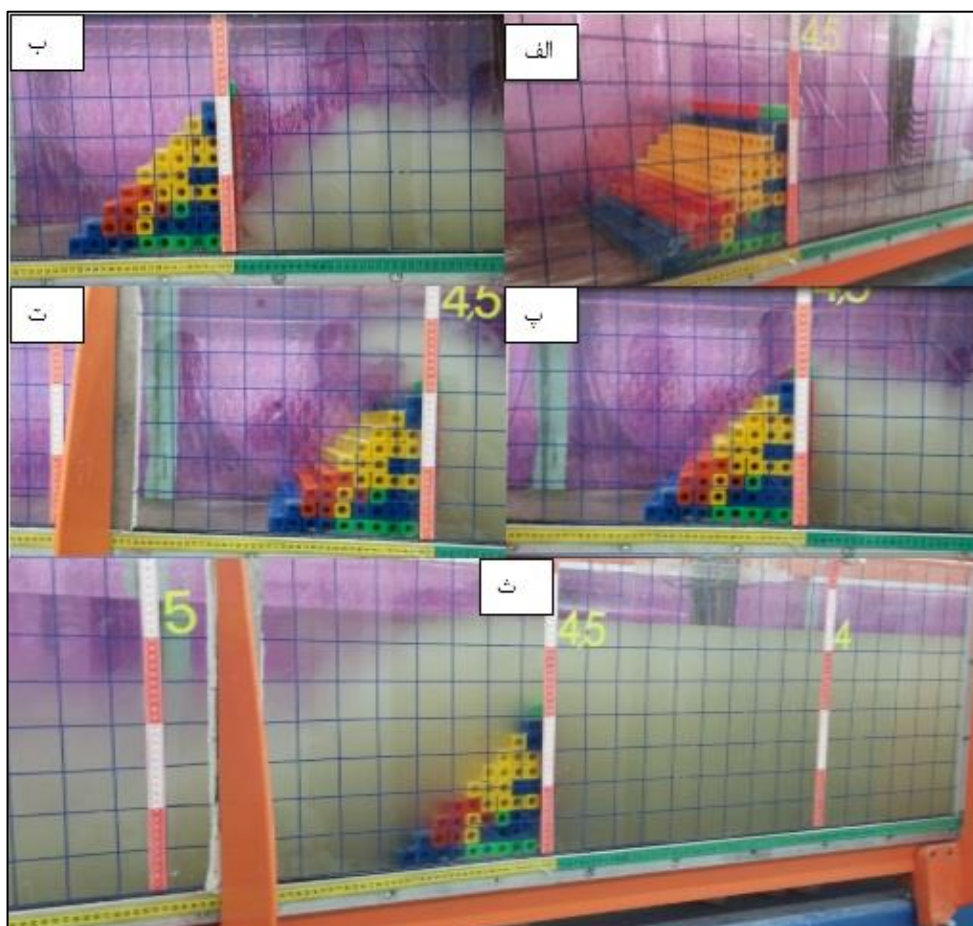
ورود هم‌زمان جریان در دو جهت به داخل کره باعث ایجاد حرکت چرخشی جریان در درون تخلخل و برخورد خطوط جریان با یکدیگر شده که این عمل باعث مستهلک شدن بخشی از انرژی جریان می‌شود. در جدول (۳) نتایج مربوط به آزمایشات نمایش داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، با افزایش ارتفاع مانع متخلخل میزان کنترل دبی رسوبی جریان غلیظ افزایش یافته و با افزایش شیب کاهش می‌یابد. همچنین مانع متخلخل از مانع پلکانی رو به جریان با ارتفاع برابر، مقدار بیشتری از دبی رسوبی را کاهش داده و عملکرد بهتری داشته است. در حالت پلکان رو به جریان، سیال مومنتوم بیشتری جهت عبور از روی مانع نسبت به حالت مانع متخلخل با زاویه قائم دارد. لذا به این دلیل میزان کم‌تری از دبی رسوبی کاهش می‌یابد. در مقایسه مانع پلکانی پشت به جریان با مانع متخلخل، مانع پلکانی پشت به جریان عملکرد بهتری

داشته است. شرایط از لحاظ زاویه برخورد یکسان بوده و هر دو به صورت قائم می‌باشند. این عملکرد به‌علت بیش‌تر بودن تعداد ردیف‌های مانع، در حالت پلکانی پشت به جریان نسبت به مانع متخلخل یک ردیف می‌باشد. با بیش‌تر شدن تعداد مکعب‌های در کنار یکدیگر، انرژی بیش‌تر نسبت به حالت تک ردیف مستهلک می‌شود. لذا تأثیر زاویه برخورد جریان با مانع از تأثیر ضخامت مانع (تعداد ردیف چینه‌ها) بیش‌تر بوده است. در شیب صفر، مانع پلکانی پشت به جریان با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۰/۷۵) به‌میزان ۹/۰۹ درصد از مانع متخلخل با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۰/۷۵) و به‌میزان ۲/۷۷ درصد از مانع متخلخل با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۱۴) عملکرد بهتری در کنترل جریان غلیظ داشته است. در مقایسه با مانع پلکانی روبه جریان در این شرایط به‌میزان ۲۶/۴۶ درصد مانع پلکانی پشت به جریان



جریان با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۴۵) مقدار ۰/۲۹۶ و برای مانع متخلخل تک ردیف با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۸۷) مقدار ۰/۲۹۲ می‌باشد که تقریباً برابر می‌باشند. در این حالت با برابر بودن عدد فرود دنسیومتریک پیشانی جریان، مانع متخلخل پلکانی پشت به جریان به میزان ۷۹/۵۴٪ و مانع متخلخل با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ۷۰/۱۹٪ دبی رسوبی را کاهش دادند. اختلاف در این حالت برابر با ۹/۳۵٪ می‌باشد. لذا با نتایج حاصل مانع متخلخل پلکانی پشت به جریان به لحاظ کاهش دبی رسوبی در بسترهای بدون شیب و شیب‌دار از مانع متخلخل با ارتفاع بیشتر، عملکرد بهتری داشته است. کاهش ارتفاع مانع باعث اقتصادی‌تر شدن طرح می‌گردد. در شکل (۶) حرکت جریان غلیظ و برخورد آن با مانع پلکانی پشت به جریان نشان داده شده است.

عملکرد بهتری داشته است. از طرفی استفاده از مانع متخلخل پلکانی پشت به جریان، به لحاظ پایداری سازه‌ای از حالت‌های دیگر پایدارتر بوده و با توجه به عملکرد بهتر، باعث کاهش ارتفاع نسبت به مانع متخلخل می‌شود. به‌طور مثال میزان کاهش دبی رسوبی جریان غلیظ برای مانع متخلخل پلکانی پشت به جریان با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر در شیب صفر (ارتفاع نسبی ۱/۱۷) برابر با ۸۴/۶۲٪ بوده و این مقدار برای مانع متخلخل با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۴۳) برابر با ۹۰/۹۱٪ بوده است. اختلاف دو حالت ۶/۲۹٪ می‌باشد که این عملکرد به‌علت کم‌تر بودن مقدار عدد فرود دنسیومتریک مانع متخلخل با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۴۳) نسبت به مانع پلکانی متخلخل پشت به جریان با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۱۷) می‌باشد. در شیب ۲/۵ درصد عدد فرود دنسیومتریک پیشانی برای مانع متخلخل پلکانی پشت به



شکل ۶. حرکت جریان غلیظ در برخورد با مانع پلکانی متخلخل پشت به جریان با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۴۵) در شیب ۲/۵.

Journal of Irrigation and Drainage. 9(2): 357-366.

Asghari Pari, S.A. and Mohagheghian, S.M. 2015. Numerical Investigation of the Effect of Creation of Protective Pit Bottoms on Controlling Turbidity Current. Iranian Journal Management System. 7(23): 1-12.

Daryae, M., Kashfipour, S.M. and Ghomeshi, M. 2015. Study of Obstacle and Roughness Impacts on Controlling Sedimentary Density Current, journal of Water and Soil Science. 24(4): 1-9.

Garcia, M.H. 1992. Turbidity currents. Encyclopaedia of Earth System Science, ASCE 4:399-408.

Leong. K. K., Mok, K. M. and H. Yeh. 2006. Fluctuation of the front propagation speed of developed gravity current. Journal of Hydrodynamics 18(3): 351-355

Nogueira, H.I.S., Adduce, C., Alves, E., and Franca, M.J. 2013. Analysis of lock-exchange gravity currents over smooth and rough beds. Journal of Hydraulic Research 51(4): 417-431

Ohey, C.D. and Schleiss, A.J. 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. Hydraulic Engineering, ASCE 133(6): 637-648.

Ohey, C.D., Cesar, G.D. and Schleiss, A.J. 2010. Effect of inclined jet screen on turbidity current. Journal of Hydraulic Research, IAHR 48(1): 81-90.

Prinos, P. 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria.

Woods, A.W., Bursik, M.I., and Kurbatov, A.V. 1998. The interaction of ash flows with ridges, Bull Volcano 160:38-51.

yaghubi, s., Abbaszadeh, sh., Golchoubian, P., Afshin, H. and Firoozabadi, B. 2013. Experimental Investigation of the Effect of Two Consecutive Obstacles on Turbidity Current, journal of selcuk university natural and applied science.

در تحقیق حاضر به بررسی و مقایسه اثر استفاده از موانع متخلخل و موانع متخلخل پلکانی جهت کنترل جریان غلیظ پرداخته شد. استفاده از موانع متخلخل دارای مزایایی از جمله پیش‌ساخته بودن موانع و راحتی نصب و اجرای این سازه قبل از ساخت سد می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مانع متخلخل پلکانی پشت به جریان مقداری بیش‌تری از دبی رسوبی جریان غلیظ را نسبت به شرایط پلکانی رو به جریان و مانع متخلخل تک ردیف هم ارتفاع کنترل نموده به‌طوری که این مقدار از کاهش دبی رسوبی، با ارتفاع بیش‌تر مانع متخلخل برابری می‌کند. با افزایش ارتفاع نسبی میزان کاهش دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ در حالت بدون شیب و شیب‌دار برای هر یک از حالت‌های مانع متخلخل و مانع پلکانی رو و پشت به جریان، افزایش می‌یابد و اثر ارتفاع نسبی در کاهش دبی رسوبی برای حالت بدون شیب از حالت شیب‌دار بیش‌تر می‌باشد. مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از بررسی عددی مانع کامل در ارتفاع مشابه ۲۴ سانتی‌متر، حاصل از تحقیق AsghariPari و Mohagheghian (2015) نشان می‌دهد که مانع متخلخل کارآیی مشابه مانع کامل داشته است.

#### منابع

Asghari Pari, S.A. 2010. Investigation of the Effect of Height Obstacle on Sedimentation of Reservoir in Turbidity Current. Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M., Ghomeshi, M. and Shafai Bajestan, M. 2010. Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges, Journal of food agriculture & Environment 8(2):930-935.

Asghari Pari, S.A. and Mohagheghian, S.M. 2015. Numerical Investigation Effect in Using Plate and Tilt Columnar Barrier in Controlling Turbidity Current. Iranian

# Laboratory Investigation the effect of porous obstacle and stepped porous obstacle on control of turbidity current

Kordnaeij, M<sup>1</sup>. Asghari Pari, S.A\*<sup>1</sup>. Sajjadi, S.M<sup>3</sup>. Shafai Bajestan, M<sup>2</sup>

1- Engineering Faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

2- Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

## Abstract:

In this study a porous obstacle was used to evaluate the performance of permeable obstacles for control of turbidity current. For building porous obstacles, hollow plastic cubes with dimensions of 2.1 (cm) ×2.1 (cm) ×2.1 (cm) have been attached together. The experiments have been performed in a flume with the length of 10 cm, width of 30 cm, and heights of 45 cm for two different slopes of 0, and 2.5 %. Discharge and concentration of inflow have been fixed at 0.7 liters per second and 20 grams per liter during all experiments. The concentration of the turbidity current at upstream and downstream of the vertical screen and the porous obstacle has been measured using suction probes. The results showed that the porous obstacle with downstream steps is more capable of controlling the turbidity current compared to the porous obstacle with upstream steps.

Keywords: Turbidity current, physical model, stepped obstacle, porous obstacle

Figure 1. The Schematic Shape of the Flume and the Equipment Used

Figure 2. Pre and post Obstacle Concentration Profiles for Porous Steep Obstacle with a Height of 24 cm on Slope of 0 and 2.5%.

Figure 3. The Flow of the Porous Obstacle in the First state - The Forehead of the Flow through a Porous Steep Obstacle (Front) ahead of the flow in it

Figure 4. The Flow of the Porous Obstacle in the Second state - The Forehead Extend through the Porous Obstacle Ahead of the Flow through the Porous Obstacle

Figure 5. The Interference between the Head of Flow from Over the Obstacle and Passing through the Obstacle

Figure 6. The Flow of Turbidity Current and Interaction with Back of Porous Steep Obstacle in 2/5% Slope (Height 24 cm, Relative Height 1/45)

Table 1. List of the Governing Variables for Dimensional Analysis

Table 2. List of Densiometric Flow Rate of Turbidity Current Head

Table 3. List of Result of Turbidity Current Discharge

---

\*Corresponding author E-mail: asghari\_amin@bkatu.ac.ir