



دانشگاه گسترده علمی و فناوری گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی آزمایشگاهی اثر ارتفاع، شکل و محل قرارگیری موانع گابیونی در کنترل جریان غلیظ رسوبی

میرعلی حبیب‌محمدی^۱، *سیدامین اصغری‌پری^۲ و سیدمحسن سجادی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، آستادیار گروه مهندسی عمران،

دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، آستادیار گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۵

چکیده

سابقه و هدف: به فرآیندی که یک جریان رسوبی در زیر یک جریان شفاف حرکت می‌کند و رسوبات را به سمت دریاچه و اقیانوس‌ها منتقل می‌کند جریان غلیظ می‌گویند. پدیده جریان غلیظ به دلیل تغییر چگالی بین دو سیال به وجود می‌آید و از فاکتورهای مهم در زمینه انتقال رسوب در مخازن سدها می‌باشد. آگاهی از سرعت پیشانی این جریان‌ها یکی از پارامترهایی است که در مخازن سدها دارای اهمیت بسیار است. انتقال رسوبات توسط جریان غلیظ به کنار بدنه سد، علاوه بر کاهش حجم مخزن باعث تأثیر بر المان‌های کلیدی سد از جمله ورودی رسوبات به آبگیر نیروگاه می‌شود، بنابراین کنترل، استهلاک یا انحراف جریان غلیظ در افزایش عمر مفید سد نقش به‌سزایی دارد. روش‌های مختلفی جهت کنترل و استهلاک جریان غلیظ در مخازن سدها وجود دارد، که از آن جمله می‌توان استفاده از موانع نفوذناپذیر، نفوذپذیر و جت آب، جت هوا، زبری و استفاده توأم مانع و زبری را نام برد. در پژوهش حاضر به بررسی اثر ارتفاع، شکل و محل قرارگیری یک مانع گابیونی، به‌عنوان مانعی با نفوذپذیر کم، جهت کنترل جریان غلیظ رسوبی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌ها در فلومی شیب‌پذیر به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و در دو شیب ۰ و ۲/۵ درصد صورت پذیرفت. سرعت پیشانی جریان غلیظ به‌وسیله کرنومتر در حین آزمایش اندازه‌گیری و از دوربین فیلم‌برداری برای کنترل محاسبات استفاده گردید. از ۲ نمونه‌گیر سیفونی در قبل و بعد از مانع برای اندازه‌گیری غلظت جریان رسوبی استفاده شد. میزان تخلخل در مانع تقریباً ۳۵ درصد بوده و برای همه آزمایش‌ها دبی جریان مقدار ثابت ۰/۷ لیتر در ثانیه و میزان غلظت ورودی ۲۰ گرم در لیتر بوده است. دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ قبل و بعد از مانع محاسبه گردید.

یافته‌ها: یافته‌ها بیانگر آن است که بسته به شرایط اولیه جریان، جریان غلیظ پس از برخورد با مانع گابیونی از روی مانع و بخش بسیار اندک جریان در ارتفاعات بالا از داخل مانع عبور می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع مانع گابیونی و نزدیکی آن به ورودی جریان، باعث افزایش تأثیر آن در کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان غلیظ عبوری از روی مانع می‌شود و به کنترل جریان غلیظ کمک می‌کند.

* مسئول مکاتبه: asghari_amin@bkatu.ac.ir

نتیجه‌گیری: طبق آزمایش‌ها بهترین شکل برای موانع گابیونی از میان شکل‌های دیواره، پلکانی یک طرفه با پله در بالادست، پلکانی یک طرفه با پله در پایین‌دست و پلکانی دوطرفه، برای کاهش سرعت و غلظت جریان عبوری از مانع، پله دوطرفه است. در تمام حالت‌ها اندازه‌گیری شده، درصد کاهش سرعت و دبی رسوبی در شیب صفر بیش‌تر از ۲/۵ درصد بود و این روش نسبت به سایر روش‌های کنترل و کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان غلیظ مقرون به‌صرفه‌تر بوده و در زمان کوتاه‌تری ساخته و اجرا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جریان غلیظ، کنترل رسوب، مانع گابیونی، ارتفاع مانع، شکل مانع

مقدمه

جریان غلیظ^۱ یا جریان چگال جریانی است که به‌علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگالی دو سیال به‌وجود می‌آید. شتاب ثقل مؤثر بر جریان که به‌عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد به‌صورت زیر بیان می‌گردد.

$$(g' = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g C_s \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad 1)$$

که در آن، C_s غلظت حجمی متوسط رسوبات غیرچسبیده، ρ_t دانسیته سیال غلیظ، ρ_a دانسیته سیال پیرامون، ρ_s دانسیته ذرات رسوب، ρ_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 و گرد و غبار، جریان‌های رسوبی در دریاها و مصب رودخانه‌ها نمونه‌های بارزی از جریان غلیظ در طبیعت می‌باشند. جریان‌های غلیظ، جریان‌هایی همراه با رسوب می‌باشند که اغلب در اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، مخازن سدها و مصب رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد و مکانیزم مهمی در انتقال رسوب در آب‌های عمیق دارند (۸). در زمینه کنترل جریان غلیظ تاکنون روش‌ها و شیوه‌های متنوعی به‌کار گرفته شده است.

از جمله این شیوه‌ها می‌توان به 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. کاهه و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی سرعت پیشروی جریان غلیظ بر روی سطوح زبر پرداختند. در پژوهش آن‌ها اندازه سطوح زبر، دبی و غلظت جریان غلیظ نمکی و همچنین شیب بستر تغییر داده شد و اثر هر کدام بر سرعت پیشانی بررسی شده است (۳). اصغری‌پری و همکاران (۲۰۱۰) 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 به‌دست آمده از آزمایش‌ها آن‌ها نشان داد که برای توقف جریان غلیظ با مانع در جریان زیر بحرانی ارتفاع مانع باید ۲ تا ۲/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد (۱). وودز و همکاران (۱۹۹۸) 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 آزمایش‌ها، بیش‌تر به توصیف جریان در برخورد با مانع معطوف شده و تنها نتیجه کمی آن‌ها از آزمایش‌ها روند نمایی رسوب‌گذاری بوده است. آن‌ها

ارتفاع نمودند که تنها مانعی می‌تواند بر الگوی رسوب‌گذاری تأثیر بگذارد که باعث ایجاد یک موج برگشتی به بالادست مانع در جریان غلیظ شود. همچنین آن‌ها با استفاده از مدل تئوری حداقل ارتفاع مورد نیاز برای توقف کامل جریان را، که برای جریان بحرانی به دست می‌آید $2/1$ برابر عمق بحرانی محاسبه نمودند (۱۲). پرینز (۱۹۹۹) اثر شکل مانع را با دو شکل نیم‌دایره و مثلثی با ارتفاع یکسان و برای حرکت دوبعدی بر روی فلووم 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 قابل‌ملاحظه‌ای ندارد (۹). اوهی و اشلایز (۲۰۱۰) نیز تأثیر جت را بر رفتار و همچنین کنترل جریان غلیظ مورد بررسی قرار دادند و نتایج به دست آمده را با نتایج دیگر پژوهش‌گران مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که اثر جت مخالف بر کنترل جریان غلیظ بیش‌تر از جت عمودی می‌باشد (۶). اوهی و اشلایز (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای دیگر به بررسی اثر مانع نفوذپذیر و مقایسه آن با مانع نفوذناپذیر پرداختند. نتایج آزمایش‌ها 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. بنابراین نتایج نشان داد که ارتفاع صفحه حداقل ۳ برابر ارتفاع جریان غلیظ باشد تا این شرایط مهیا شود و نتیجه مطلوب حاصل شود (۷). یعقوبی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی آزمایشگاهی اثر دو مانع متوالی مثلثی شکل در رفتار جریان غلیظ با شیب مختلف فلووم و ارتفاع‌های مختلف پرداختند و نتایج حاصل نشان داد که متوسط غلظت در بالادست مانع به‌طور محسوس بیش‌تر از پایین‌دست مانع می‌باشد. همچنین برای اعداد فرود در محدوده زیربحرانی، متوسط غلظت پایین‌دست با افزایش

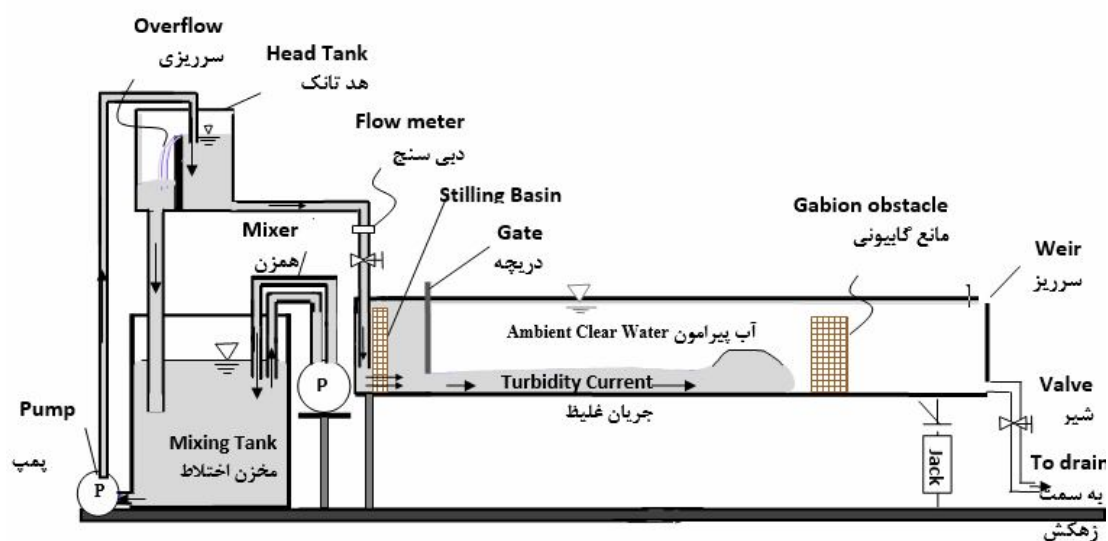
ارتفاع کاهش می‌یابد و برای اعداد فرود در محدوده فوق‌بحرانی، متوسط سرعت و متوسط غلظت با وجود افزایش ارتفاع مانع تقریباً ثابت باقی می‌ماند و ارتفاع مانع در این شرایط چندان مؤثر نیستند (۱۳). کردناییج و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی آزمایشگاهی اثر صفحه متخلخل و مانع متخلخل ساخته شده توسط چینه‌های ریاضی در کنترل جریان غلیظ پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که مانع متخلخل عملکرد بهتری در کنترل میزان دبی رسوبی جریان غلیظ نسبت به صفحه متخلخل دارد و علت این امر تشکیل جریان چرخشی در درون مانع متخلخل به هنگام عبور جریان غلیظ باشد (۵). ورجاوند و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آزمایشگاهی جریان‌های غلیظ نمکی بر روی بسترهای زیر مصنوعی پرداختند و از دو شکل زبری استوانه‌ای و مخروطی با سه ارتفاع مختلف زبری استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت جریان کاهش و ارتفاع بدنه جریان افزایش می‌یابد. همچنین ایجاد زبری باعث می‌شود که برای یک عدد ریچاردسون ثابت ضریب اختلاط افزایش یابد (۱۱). خلیلی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی در کاهش سرعت پیشانی جریان پرداختند. آن‌ها ۵ تراکم پوشش گیاهی در ۲ ارتفاع را برای غلظت‌های مختلف مورد بررسی قراردادند و نتیجه گرفتند که با افزایش تراکم، سرعت و غلظت پیشانی جریان غلیظ کاهش می‌یابد (۴). اصغری‌پری و محققیان (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر گودال‌های حفاظتی ایجاد شده در بستر به‌منظور کنترل جریان غلیظ در جریان زیربحرانی و فوق‌بحرانی پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر هم برای جریان‌های زیربحرانی و هم فوق‌بحرانی، می‌تواند میزان بسیار زیادی از جریان غلیظ را مهار کند (۲). شیخی‌نژاد و قمشی (۲۰۱۵)، تأثیر زبری‌های استوانه‌ای را بر بیشینه سرعت بدنه جریان غلیظ بررسی نمودند و آن‌ها بیان

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان و بر روی فلوم شیب‌پذیر با عرض ۳۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر انجام شد. شکل ۱ شماتیک از فلوم را نشان می‌دهد.

نمودند که زبری‌ها باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شوند (۱۰).

در مقاله حاضر به بررسی اثر مانع گابیونی و تأثیر ارتفاع، فاصله از ابتدای جریان و شکل آن برای کنترل جریان غلیظ رسوبی و توصیف جریان رسوبی پس از برخورد با مانع گابیونی در غلظت و دبی ثابت پرداخته شده است.



شکل ۱- شماتیک از فلوم و تجهیزات مورد استفاده.

Figure 1. Schematic of the flume and equipment.

ساخته می‌شدند (شکل‌های ۲ و ۳). به منظور بررسی تأثیر این نوع مانع گابیونی بر کنترل پیشانی جریان غلیظ، از همه آزمایش‌ها فیلمبرداری شده است. شروع فیلمبرداری از لحظه بالا کشیدن دریچه تا انتهای فلوم بود. هم‌زمان میزان ارتفاع و زمان رسیدن پیشانی جریان غلیظ به محل‌های مشخص، که به‌عنوان اشل در فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر بر روی فلوم قرار داشتند ثبت شدند و سپس از فیلم‌ها جهت کنترل محاسبات استفاده گردید.

در این پژوهش از جریان غلیظ رسوبی استفاده شد. از توری فلزی و میلگرد و سنگدانه برای ساخت مانع گابیونی استفاده شد. میلگردها به قطر $\Phi 6$ و ابعاد هر مکعب گابیونی $30 \times 50 \times 50$ سانتی‌متر بوده که میلگردها به‌وسیله جوش به یکدیگر متصل شده بودند و قطر بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین اندازه سوراخ‌های توری فلزی به ترتیب $1/2$ و $0/5$ و اندازه سنگدانه‌ها در محدوده بین $3/4$ و $0/8$ سانتی‌متر بودند که متوسط اندازه ذرات حدود $2/2$ سانتی‌متر و میزان تخلخل^۱ ۳۵ درصد بوده است. با در کنار و روی هم قرار دادن مکعب‌های گابیونی، موانع به شکل پله‌ای دوطرفه

1- Porosity



شکل ۲- موانع گابیونی قرار داده شده در فلوم آزمایشگاهی.

Figure 2. Gabion obstacles placed in a laboratory flume.



شکل ۳- بدنه مانع گابیونی بدون سنگدانه.

Figure 3. Gabion barrier body without aggregate.

رسوبی استفاده شد که به صورت ناگهانی باز می‌شد و ارتفاع بازشدگی به میزان $4/5$ سانتی‌متر و در همه آزمایش‌ها ثابت بود. برای اندازه‌گیری پروفیل غلظت پیشانی جریان غلیظ در قبل و بعد از موانع گابیونی، از روش نمونه‌گیری سیفونی در عمق جریان غلیظ به‌طور همزمان استفاده گردید و 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 $2/5$ متر بعد از مانع قرار گرفتند. هر مقطع نمونه‌گیری در 7 نقطه به فاصله 3 سانتی‌متر از هم از کف فلوم اندازه‌گیری شده است. میزان غلظت نمونه‌ها پس از آزمایش با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج قرائت می‌شدند و با توجه به نمودار تبدیل کدورت

ارتفاع 5 ، 10 و 15 سانتی‌متر برای موانع گابیونی انتخاب شد. موانع در فاصله $4/5$ متری یا $6/5$ متری از ورودی فلوم قرار داده شده است. غلظت جریان 20 گرم در لیتر بود و اندازه متوسط رسوبات (D_{50}) 84 میکرومتر بودند. برای انجام آزمایش‌ها پودر سنگ در مخزن آب شفاف که با پمپ اختلاط در حال چرخش بود، اضافه شد و سپس با یک پمپ انتقال به هد تانک منتقل گشت. در مخزن هد تانک نیز برای به حداقل رساندن نشست رسوبات از پمپ اختلاط استفاده شد. جریان رسوبی با استفاده از یک شیر و دبی‌سنج الکترومغناطیسی با دبی ثابت $0/7$ لیتر در ثانیه به فلوم منتقل می‌شد. در قسمت ورودی فلوم نیز از یک دریچه برای جداسازی آب شفاف و جریان

پژوهش شامل دبی رسوبی نسبی $(\frac{cq}{cU_f h_f})$ ، عدد فرود چگال پیشانی جریان (Fr_d) ، ارتفاع نسبی مانع $(\frac{h_m}{h_f})$ ، فاکتور شکل مانع (N) ، شیب (S) و فاصله نسبی مانع $(\frac{L}{L_f})$ می‌باشند. لازم به ذکر است که هدف این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای بیان شده بر میزان کاهش دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ بوده است. بنابراین دبی رسوبی پیشانی جریان از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$Q_s = U \times h \times B \times C \quad (5)$$

که در آن، Q_s دبی پیشانی جریان غلیظ رسوبی، B عرض فلوم و C متوسط غلظت حجمی پیشانی جریان است. برای محاسبه میزان کاهش دبی رسوبی (درصد کاهش دبی رسوبی) در بعد از مانع نسبت به قبل از مانع و بررسی میزان تأثیر ارتفاع و شکل موانع در کنترل جریان غلیظ از رابطه ۶ استفاده گردید.

$$\%R = \frac{\text{دبی رسوبی بعد از مانع} - \text{دبی رسوبی قبل از مانع}}{\text{دبی رسوبی قبل از مانع}} \times 100 \quad (6)$$

در پژوهش حاضر ۱۳ آزمایش برای بررسی اثر ارتفاع، فاصله و شکل مانع گابیونی انجام شده است که در جدول ۲ مشخصات آزمایش‌ها مشاهده می‌گردد.

برای انجام آزمایش‌ها در ابتدا سرعت پیشانی جریان در حالت بدون مانع مورد بررسی قرار گرفت و میزان کاهش سرعت در طول فلوم و دبی جریان غلیظ رسوبی در حالت بدون مانع ثبت گردید. سپس یک مانع گابیونی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۰/۳) با میزان تخلخل ۳۵ درصد مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش‌های بعد ارتفاع مانع به وسیله سه مانع گابیونی به صورت پلکان دوطرفه به ۱۰ سانتی‌متر که معادل ارتفاع نسبی ۰/۸ می‌باشد افزایش داده شد. در دو آزمایش آخر برای تأثیر ارتفاع، با استفاده از

به غلظت که برای شرایط مختلف آزمایش‌ها این پژوهش، تهیه شده بود، نتایج غلظت بر حسب گرم بر لیتر محاسبه گردید. دما در همه آزمایش‌ها برای مخزن جریان غلیظ و همچنین آب ساکن درون فلوم اندازه‌گیری شد. اختلاف دمای ماکزیمم ۱ درجه سانتی‌گراد بوده است. آزمایش‌ها در دو شیب ۰ و ۲/۵ درصد انجام شده است و جهت محاسبه عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان از رابطه ۲ استفاده شد.

$$Fr_d = \frac{U_f}{\sqrt{g h_f \cos \theta}} \quad (2)$$

که در آن، θ زاویه کف بستر با افق، U_f سرعت پیشانی جریان و h_f ارتفاع پیشانی جریان می‌باشد. به منظور انجام آنالیز ابعادی متغیرهای حاکم در جدول ۱ قرار داده شده است. به کمک روش باکینگهام و در نظر گرفتن ρ و h_f و U_f به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست آمدند.

$$\begin{aligned} f(\pi_1 = \frac{g' h_f}{U_f^2}, \pi_2 = \frac{h_m}{h_f}, \pi_3 = \frac{H}{h_f}, \\ \pi_4 = \frac{q}{U_f h_f}, \pi_5 = \frac{\mu}{\rho U_f h_f}, \pi_6 = S, \\ \pi_7 = \frac{L}{h_f}, \pi_8 = \frac{L_f}{h_f}, \pi_9 = N) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

با ترکیب پارامترهای بدون بعد و تلاش در ایجاد پارامترهای بدون بعد شناخته شده، می‌توان داشت:

$$\begin{aligned} \frac{cq}{cU_f h_f} = g \left(\frac{1}{\sqrt{\pi_1}} = Fr_d, \pi_2 = \frac{h_m}{h_f}, \right. \\ \left. \pi_3 = \frac{h_f}{H}, \pi_4 = N, \frac{1}{\pi_5} = R_e, \pi_6 = S, \right. \\ \left. \frac{\pi_7}{\pi_8} = \frac{L}{L_f} \right) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

در پژوهش حاضر ارتفاع سیال پیرامون ثابت بوده و عدد رینولدز پیشانی جریان بین ۳۹۶۰ و ۵۰۴۰ بوده است. بنابراین پارامترهای مؤثر مورد بررسی در این

شش مکعب گابیونی ارتفاع مانع به ۱۵ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۲۵) ایجاد گردید.

در آزمایش‌های سری بعد به اثر محل قرارگیری مانع و تأثیر آن در میزان کاهش سرعت و دبی رسوبی پرداخته شد. برای این منظور از موانعی با ارتفاع نسبی ۱/۲۵ (ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) که بالاترین میزان کاهش را در آزمایش‌های قبل داشتند استفاده گردید. مانع را با توجه به آزمایش‌های قبل برای دور شدن از منبع جریان غلیظ و نزدیک‌تر شدن به محل سد اصلی، در نقطه ۶/۵ متری از ابتدای فلوم قرار داده و آزمایش‌ها در شیب‌های صفر و ۲/۵ درجه انجام گردید.

در مرحله آخر آزمایش‌ها، جهت بررسی اثر شکل مانع در میزان کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان از ۴ شکل متفاوت از چینش موانع گابیونی برای مقایسه استفاده گردید. شکل‌ها عبارتند از مانع پله‌ای ۲ طرفه (مشابه آزمایش‌ها قبل)، موانع پله‌ای یک‌طرفه که در یک آزمایش پله‌ها رو به بالادست جریان و در آزمایش دیگر رو به پایین‌دست جریان قرار دارند و مانع دیوار. همگی این آزمایش‌ها با موانعی با ارتفاع نسبی ۱/۲۵ (ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) و با تخلخل ثابت ۳۵ درصد انجام شده است.

جدول ۱- متغیرهای حاکم برای انجام آنالیز ابعادی.

Table 1. Governing variables for dimensional analysis.

نام متغیر (variable name)	متغیر (Variable)	بعد (Dimension)
ارتفاع پیشانی جریان (forehead height)	h_f	L
ارتفاع مانع (obstacle height)	h_m	L
ارتفاع سیال پیرامون (nearby fluid height)	H	L
سرعت پیشانی (forehead speed)	U_f	LT^{-1}
شیب (slope)	S	1
ثقل کاهش یافته (reduced gravity)	g'	LT^{-2}
چگالی سیال پیرامون (nearby Density)	ρ	ML^{-3}
فاصله از دریچه (distance from gate)	L	L
طول فلوم (flume length)	L_f	L
لزجت دینامیکی (dynamic viscosity)	μ	$ML^{-1}T^{-1}$
دبی واحد عرض (discharge per width)	q	L^2T^{-1}
فاکتور شکل (shape factor)	N	1

جدول ۲- مشخصات آزمایش‌ها انجام شده.

Table 2. Test Specification.

شیب (%) (slope) (%)	شکل مانع (shape of obstacle)	ارتفاع مانع (سانتی‌متر) (height of obstacle) (cm)	محل قرارگیری مانع (متر) (location of obstacle) (m)	شماره آزمایش (experiment number)
۰	بدون مانع (without obstacle)	۰	-	۱
۲/۵	بدون مانع (without obstacle)	۰	-	۲
۰	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۵	۴/۵	۳
۲/۵	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۵	۴/۵	۴
۰	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۰	۴/۵	۵
۲/۵	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۰	۴/۵	۶
۰	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۵	۴/۵	۷
۲/۵	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۵	۴/۵	۸
۰	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۵	۶/۵	۹
۲/۵	پله ۲ طرفه (two-way stair step)	۱۵	۶/۵	۱۰
۰	پله رو به پایین دست (stair stepping one way in downstream)	۱۵	۴/۵	۱۱
۰	پله رو به بالادست (stair stepping one way in upstream)	۱۵	۴/۵	۱۲
۰	دیوار (walls)	۱۵	۴/۵	۱۳

نتایج و بحث

در برخورد جریان غلیظ با مانع گابیونی با ارتفاع نسبی ۰/۳ و ۰/۸، جریان غلیظ فقط از روی مانع عبور کرده و در مانع با ارتفاع نسبی ۱/۲۵ (ارتفاع مانع ۱۵ سانتی‌متر) جریان غلیظ از روی مانع و مقدار کمی نیز در ارتفاع بین ۱۱ تا ۱۵ سانتی‌متری بالایی مانع که ضخامت مانع در آنجا کم است از داخل آن عبور می‌کند.

در جدول ۳ محدوده حداقل و حداکثر عدد فرود چگال همه آزمایش‌ها برای پیشانی جریان غلیظ محاسبه و ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام این آزمایش‌ها عدد فرود چگال پیشانی در حالت زیربحرانی قرار دارد.

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

برخورد جریان غلیظ با مانع گابیونی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر را در شیب صفر نشان می‌دهد.

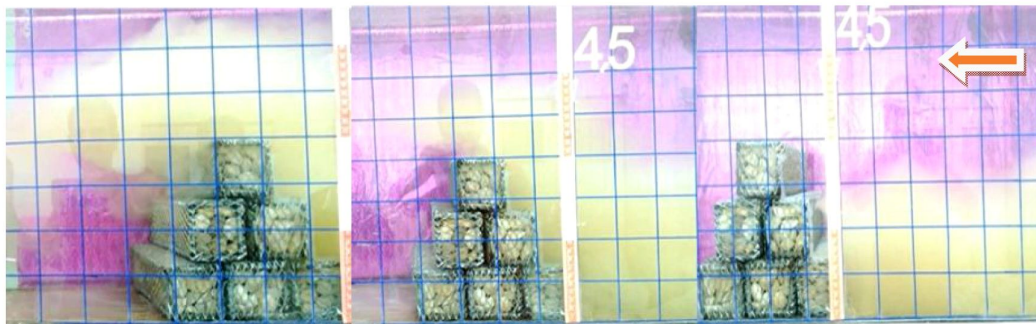
شکل ۵، پروفیل‌های عمقی غلظت بعد از مانع را برای موانع با ارتفاع مختلف نشان می‌دهد و شکل ۶، میزان تأثیر موانع گابیونی با ارتفاع مختلف را به صورت درصد کاهش دبی برای دو شیب صفر و ۲/۵ درصد نشان داده است.

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 می‌شود. در برخورد جریان غلیظ با مانع بسته به ارتفاع مانع، بخشی از جریان از روی مانع عبور کرده و بخشی از جریان به صورت یک موج برگشتی به سمت بالادست منتقل می‌گردد. شکل ۴،

جدول ۳- محدوده عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی.

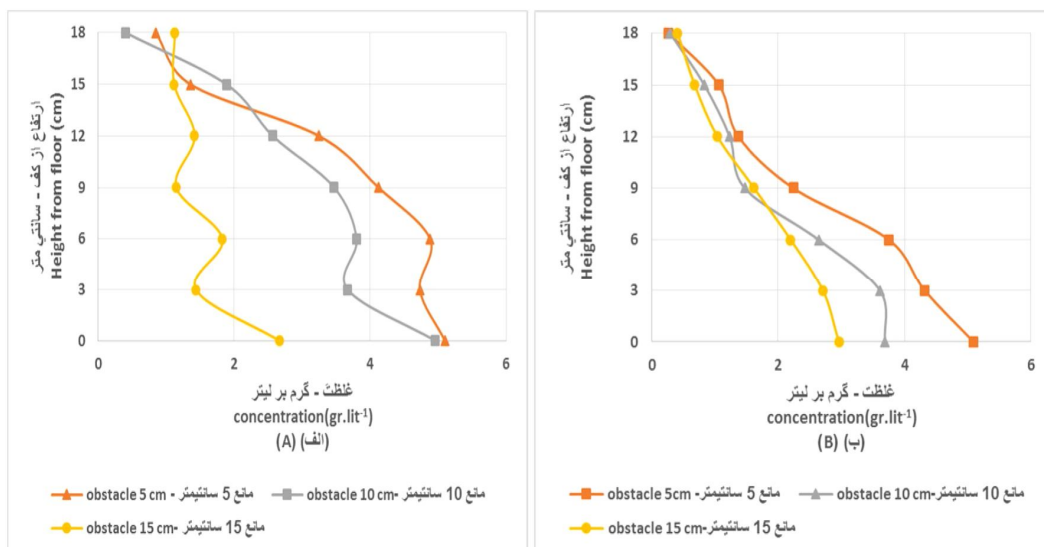
Table 3. Froude number density range forehead.

حداکثر (maximum)	حداقل (minimum)
۰/۴۱۲	۰/۲۲۱



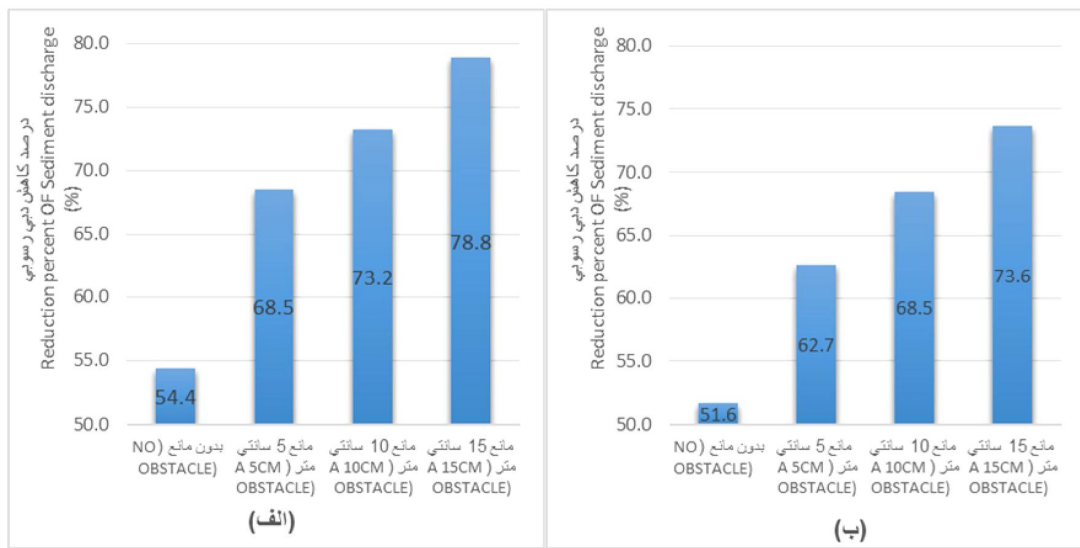
شکل ۴- برخورد جریان غلیظ رسوبی به مانع گابیونی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در شیب صفر.

Figure 4. Clash of the concentrated sediment to 15 cm height gabion obstacle in zero slope.



شکل ۵- پروفیل عمقی غلظت رسوبی بعد از یک مانع گابیونی الف) شیب صفر و ب) شیب ۲/۵ درصد.

Figure 5. Sediment concentration depth profile after a gabion obstacle A) Zero slope and B) The slope of 2.5%.

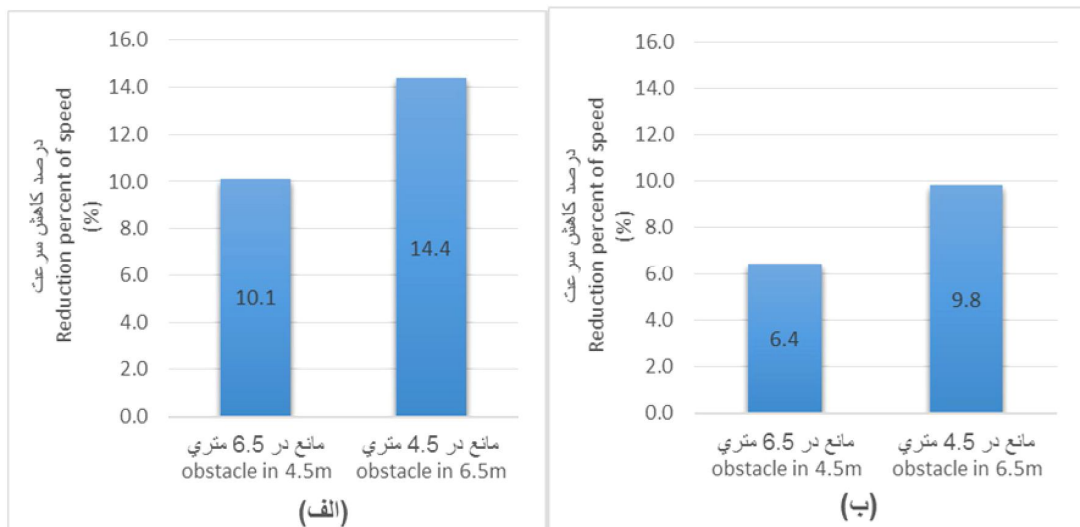


شکل ۶- درصد کاهش دبی رسوبی نسبت به ارتفاع مانع (الف) شیب صفر و (ب) شیب ۲/۵ درصد.

Figure 6. Percent reduction in sediment load than the obstacle height A) Zero slope and B) The slope of 2.5%.

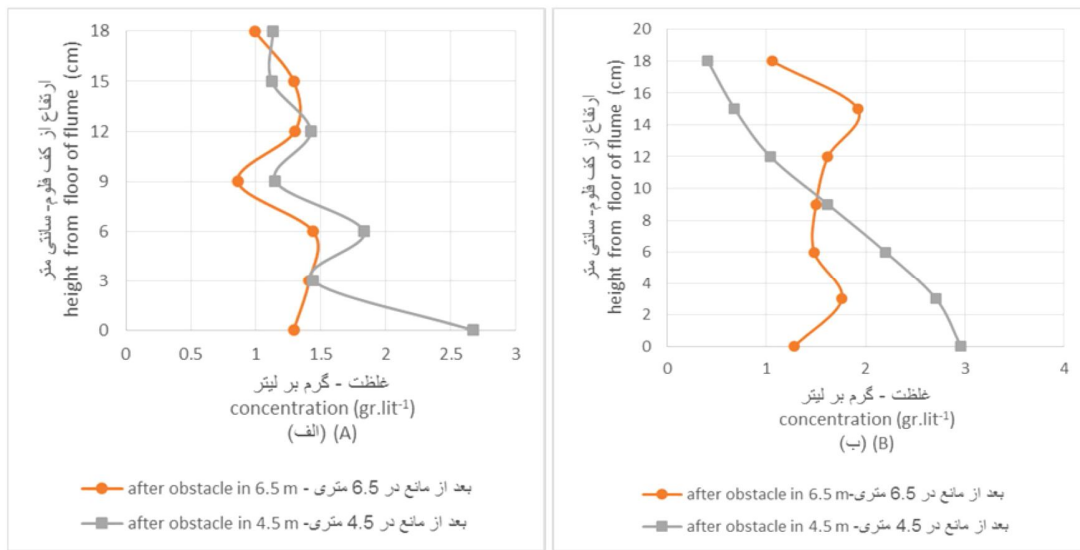
کاهش سرعت برای دو شیب صفر و ۲/۵ درصد در شکل ۷، پروفیل غلظت در شکل ۸ و درصد کاهش دبی رسوبی در شکل ۹ نشان داده شده است.

در سری بعد هدف بررسی تأثیر فاصله مانع از ابتدای فلوم (که در واقعیت تأثیر فاصله مانع از نقطه استغراق جریان غلیظ یا ورودی جریان غلیظ به مخزن)، در کنترل جریان غلیظ بوده است. نتایج



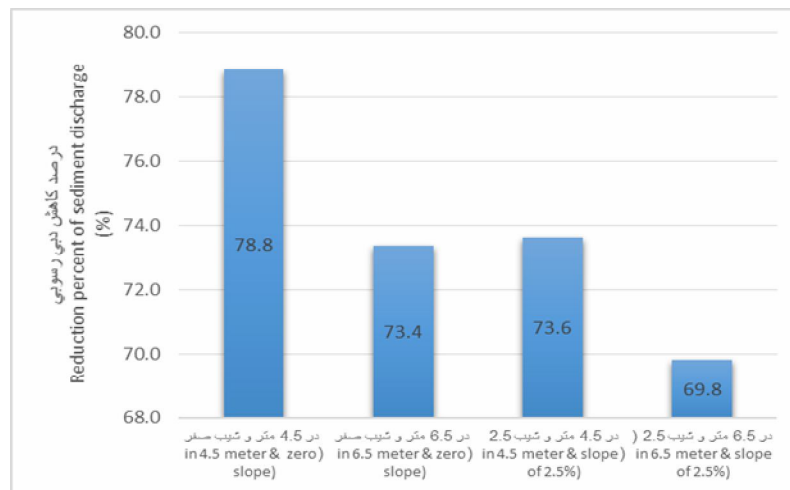
شکل ۷- درصد کاهش سرعت نسبت به حالت بدون مانع (الف) شیب صفر و (ب) شیب ۲/۵ درصد.

Figure 7. Percent speed reduction compared to non-stop obstacle A) Zero slope and B) The slope of 2.5%.



شکل ۸- پروفیل عمقی غلظت رسوبی در مکان‌های ۴/۵ و ۶/۵ متری الف) شیب صفر و ب) شیب ۲/۵ درصد.

Figure 8. Sediment Concentration depth profile in 4.5 & 6.5 m of flume A) Zero slope and B) The slope of 2.5%.



شکل ۹- مقایسه درصد کاهش دبی رسوبی موانع در مکان‌های ۴/۵ و ۶/۵ متری.

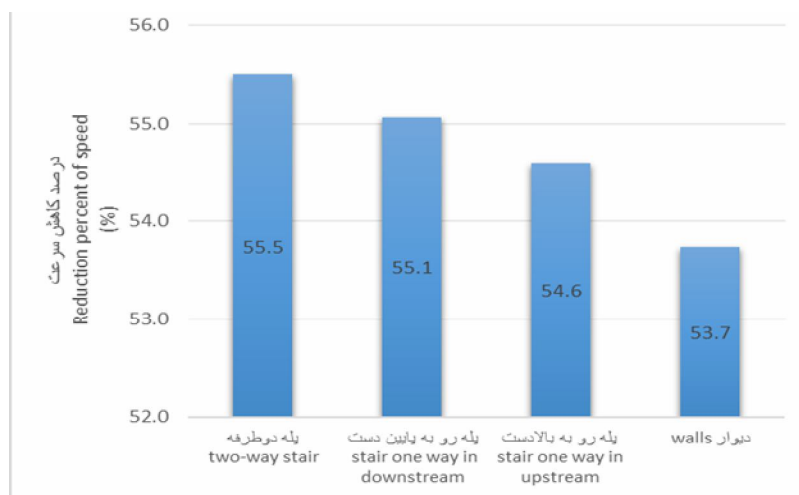
Figure 9. Compare the percent sediment obstacle in 4.5 & 6.5 meters in places.

ایجاد شده در فاصله ۶/۵ متری شده است. در شکل ۸ تأثیر کاهش سرعت در افزایش رسوبگذاری که باعث کاهش پروفیل غلظت در فاصله ۴/۵ متری نسبت به فاصله ۶/۵ متری شده، مشاهده می‌گردد. در سری آخر آزمایش‌ها به بررسی تأثیر شکل مانع بر میزان کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان غلیظ در شیب صفر پرداخته شده است. شکل مانع در آزمایش‌ها قبلی پلکانی دوطرفه بوده و در این سری، سه شکل دیگر مانع به صورت دیوار (دو طرف قائم)، پله یک‌طرفه

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد، در صورتی‌که مانع در نزدیکی ورودی احداث گردد تأثیر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد، علت این موضوع این است که ایجاد مانع در فاصله کم‌تر از ورودی جریان غلیظ به فلوم، باعث کاهش سرعت جریان در ابتدا فلوم شده (شکل ۷) و از این‌رو کاهش سرعت جریان در طول فلوم (در فاصله ۴/۵ تا ۶/۵ متری) باعث افزایش رسوبگذاری (شکل ۸) و در نتیجه تأثیر بیشتر مانع ایجاد شده در فاصله ۴/۵ نسبت به مانع

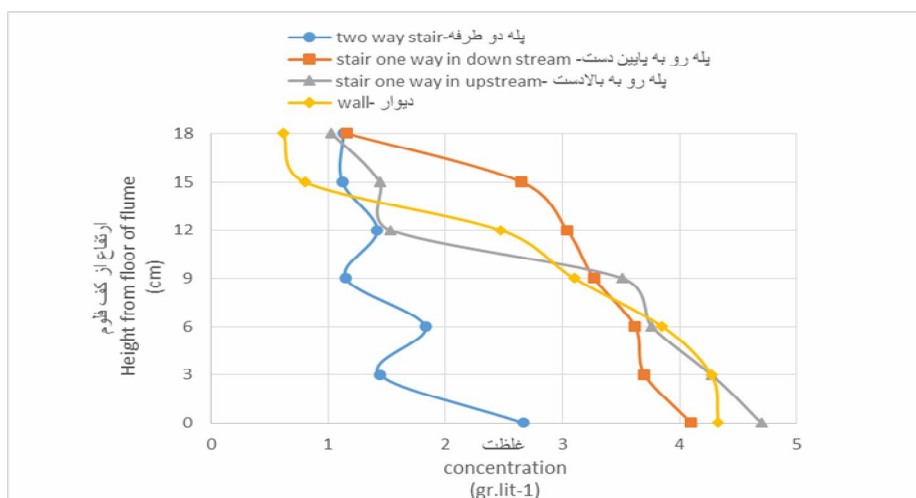
ممتوم بیش‌تر جریان برخوردی به مانع در حالت پلکان بالادست جریان و امکان عبور بیش‌تر جریان در این حالت می‌باشد همچنین به دلیل افزایش ضخامت مانع گابیونی در حالت پلکانی نسبت به حالت دیوار، تأثیر همه مانع پلکانی (که ضخامت بیش‌تری داشته‌اند)، از حالت دیواره بیش‌تر است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تأثیر ضخامت مانع از زاویه برخورد جریان (در محدوده متغیرهای این پژوهش) به مانع بیش‌تر بوده است. هر چند به طور کلی تأثیر شکل و ضخامت مانع در کنترل جریان قابل ملاحظه نبوده است.

به سمت بالادست و پله یک‌طرفه به سمت پایین‌دست نیز بررسی گردید. همه مانع در مکان ۴/۵ متری از ابتدای فلوم و دارای ارتفاع نسبی ۱/۲۵ (ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) بوده‌اند. همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰ و ۱۲ نشان داده شده تأثیر مانع در کاهش سرعت و دبی رسوبی برای مانع گابیونی به شکل دیوار از بقیه حالت‌ها کم‌تر بوده است. همچنین تأثیر مانع گابیونی پلکانی با پله به سمت پایین‌دست از پله به سمت بالادست بیش‌تر بوده است که این موضوع به علت شیب مانع (پلکان بالادست) در بالادست و در نتیجه



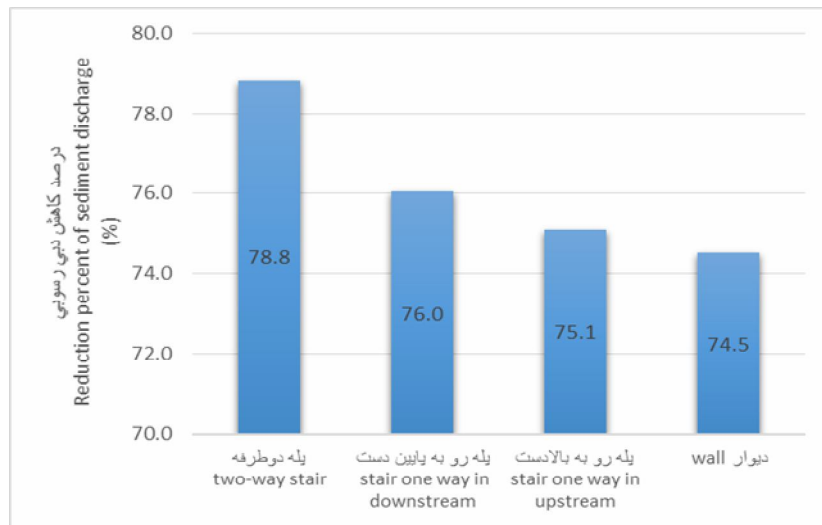
شکل ۱۰- درصد کاهش سرعت اشکال مختلف مانع.

Figure 10. Percent the speed of different types of obstacles.



شکل ۱۱- پروفیل عمقی غلظت رسوبی مانع با اشکال مختلف در شیب صفر.

Figure 11. Sediment concentration depth profile of obstacles with various forms of zero slope.



شکل ۱۲- درصد کاهش دبی رسوبی موانع با اشکال مختلف.

Figure 12. Percent reduction of sediment in Obstacles with different forms.

ته‌نشینی بیش‌تر رسوبات، تأثیر بیش‌تری در کاهش سرعت و دبی رسوبی دارد.

۳. بر اساس آزمایش‌ها انجام شده، شکل مانع پله دوطرفه بیش‌ترین تأثیر را نسبت به سایر موانع در کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان غلیظ دارد و بعد از آن در عمل بر اثر کمبود فضا یا مواد اولیه برای قرار دادن و ساخت مانع، شکل مانع پله یک‌طرفه که پله‌های آن به سمت پایین دست جریان است بهترین گزینه می‌باشد، زیرا تأثیری تقریباً همانند پله دوطرفه دارد.

۴. در تمام حالات اندازه‌گیری شده، درصد کاهش سرعت و دبی رسوبی در شیب صفر بیش‌تر از $2/5$ درصد است.

۵. استفاده از موانع گابیونی نسبت به سایر روش‌های کنترل و کاهش سرعت و دبی رسوبی جریان غلیظ مقرون به‌صرفه‌تر بوده و در زمان کوتاه‌تری ساخته و اجرا می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر استفاده از موانع گابیونی در کنترل جریان غلیظ پرداخته شده و اثر ارتفاع، شکل و فاصله مانع از نقطه استغراق جریان غلیظ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مانع گابیونی عملکرد به‌نسبت خوبی در کاهش میزان جریان غلیظ و همچنین استهلاک سرعت حرکت آن تا رسیدن به مخزن سد دارد. ایجاد مانع گابیونی به‌دلیل سهولت اجرا می‌تواند به‌عنوان یک روش اجرایی در مخارن سدها جهت استهلاک جریان غلیظ به‌کار رود. نتایج این پژوهش نشان داد که:

۱. هرچه ارتفاع مانع گابیونی نسبت به ارتفاع جریان غلیظ بیش‌تر باشد (ارتفاع نسبی)، میزان کاهش درصد سرعت و دبی رسوبی در جریان غلیظ بیش‌تر خواهد شد به‌طوری‌که مانع با ارتفاع نسبی $1/25$ در شیب صفر می‌تواند باعث کاهش $78/8$ درصدی در دبی رسوبی پیشانی جریان گردد.

۲. هرچه مانع گابیونی به ابتدای حرکت جریان غلیظ رسوبی (نقطه استغراق یا ابتدای مخزن) نزدیک‌تر باشد به‌علت کاهش زودتر سرعت جریان و امکان

منابع

1. Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M., Ghomshi, M., and Shafaie Bajestan, M. 2010. Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges. *J. Food Agric. Environ.* 8: 2. 930-935.
2. Asghari Pari, S.A., and Mohagheghian, S.M. 2015. Numerical Investigation the effective protective holes in bed on controlling gravity current. *J. Water Resour. Manage.* 7: 23. 1-12. (In Persian)
3. Kaheh, M., Ghomshi, M., and Mousavi, S.H. 2013. Experimental evaluation of density current travel speed on rough surfaces. *J. Irrig. Sci. Engin. (J. Agric.)*. 35: 1. 101-109. (In Persian)
4. Khalili, A., Khazimenejad, H., Akbarpour, A., and Varjavand, P. 2015. Experimental Investigation of the Effect of vegetation density on turbidity current. *J. Irrig. Drain. Iran.* 9: 1. 83-95. (In Persian)
5. Kordnaeij, M., Asghari Pari, S.A., Sajjadi, S.M., and Shafaie Bajestan, M. 2015. Experimental investigation the effect of porous plate and porous obstacle on controlling turbidity current. The first national Congress on Iran's Irrigation and Drainage. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
6. Ohey, C.D., Cesar, G.D., and Schleiss, A.J. 2010. Effect of inclined jet screen on turbidity current. *J. Hydr. Res. IAHR.* 48: 1. 81-90.
7. 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.
8. Parker, G., Fukushima, Y., and Pantin, H.M. 1986. Self-accelerating turbidity currents. *J. Fluid Mech.* 171: 145-181.
9. Prinos, P. 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria.
10. Sheikhi Nejad, B., and Ghomshi, M. 2015. Investigate of Effect of Cylinder Roughness on Maximum Velocity of Density Current Body. *J. Irrig. Sci. Engin.* 37: 4. 97-107. (In Persian)
11. Varjavand, P., Hossein Zadeh Dalir, A., Ghomshi, M., and Farsadizadeh, D. 2013. Experimental Investigation of artificial roughness effect on the volatility of the instantaneous speed in turbidity current. *J. Soil Water.* 27: 4. 839-849. (In Persian)
12. Woods, A.W., Bursik, M.I., and Kurbatov, A.V. 1998. The interaction of ash flows with ridges, *Bull Volcano.* 160: 38-51.
13. Yaghubi, S., Abbaszadeh, Sh., Golchoubian, P., Afshin, H., and Firoozabadi, B. 2013. Experimental Investigation of the Effect of Two Consecutive Obstacles on Turbidity Current. *J. Selcuk Univ. Natur. Appl. Sci.* Pp: 615-627.



Experimental Investigation of the effects of Gabion Obstacle's Height, Shape and distance of obstacle from entrance to Control the Turbidity Current

M.A. Habib Mohammadi¹, *S.A. Asghari Pari² and S.M. Sajjadi³

¹M.Sc. Student, Dept. of Civil Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology,

²Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology,

³Assistant Prof., Dept. of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 09/23/2015; Accepted: 04/24/2016

Abstract

Background and Objectives: The process by which a heavy flow of sediments move under a clear flow and transfers the sediment to the lake and the oceans is said turbidity current. For heavy flow between the fluid density changes occur and is one of the most important factors in sediment transport and erosion in the reservoir. Turbulence of flows is known to be responsible for suspension of particles in the turbidity currents and volumetric concentration of sediments in such currents is less than 10%. The occurrence of the turbidity currents in dam reservoirs transfers sediments to near body of dams posing substantial threats to water release facilities like intakes and bottom outlet. The control of such currents has always been a problem in dam operation. The location of sediment accumulation is another factor affecting the operational lifetime of a dam greatly. There are different methods to control or divert turbidity current in the reservoir, such as construction of permeable and solid obstacles, jet screen and bubble screen and using obstacle with roughness. In the present study we investigated the effect of height and shape of obstacle and the distance of obstacle from entrance of flow by using the gabion obstacle as an obstacle with low permeability to control the turbidity current.

Materials and Methods: In this research using flume with variable bed slope in 10 m long, 30 cm width and 45 cm height and in two slope of 0 and 2.5 percent. The head velocity of turbidity current during the test was measured with chronometer. The video camera was used to control the computation. 2 sampler flushing before and after the barrier was used to measure the concentration of turbidity current. The porosity of obstacle was approximately 35 percent. Input rate constant in all tests was 0.7 liters per second and the feed concentration of 20 grams per liter. Sediment discharge of turbidity current's head before and after Gabion obstacle was calculated.

Results: The results showed that depending on the initial conditions of flow, some of turbidity current after the collision with the barrier Gabion passed over it and at high altitudes very little flow passed through the barrier. The results showed the height of Gabion obstacle and its proximity to the current input, increase its impact in reducing speed and sediment flow.

Conclusion: According to the investigation the best form of Gabion obstacle between gabion walls, stair stepping one way in upstream, stair stepping one way in downstream and two-way stair stepped to decrease velocity and discharge passing over obstacle is two-way stair step. In all cases, the reduce of measured speed and sediment on the slope of zero percent is greater than 2.5 percent and this method compared to other methods to control and reduce the rate of sediment density current and the more cost effective within a shorter period were made and carried Recommended.

Keywords: Turbidity current, Sediment control, Gabion obstacle, Obstacle height, Obstacle shape

* Corresponding Author; Email: asghari_amin@bkatu.ac.ir

