دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر جریان‌های سیلابی ناشی از شکست سد بر انتقال مصالح رسوبی بستر

خه‌بات خسروی[۱]، محمود حبیب نژاد روشن[۲]، کاکا شاهدی[۳]، امیرهوشنگ نظامیوند چگینی[۴] و کامران چپی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: Khabat.khosravi@gmail.com)
۲ و ۳- استاد و دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار گروه عمران-آب، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان
۵- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۱۴
صفحه: ۱۲۰ تا ۱۳۲

چکیده

جریان‌های متغیر سریع همچون سیلاب‌های ناگهانی ناشی از شکست سد در اثر وقوع زلزله، پدیده رگاب، بمباران، روگذری جریان و یا وجود اشتباه در طراحی و اجرای پروژه محتمل بوده و می‌تواند خسارات جانی و مالی فراوانی در پایین دست آن‌ها ایجاد نمایند. غیردائمی بودن جریان در وقایع سیلابی، دارای تاثیر زیادی بر روی ساختار میدان جریان حرکت ذرات رسوبی و همچنین پراکنش آلودگی در رودخانه می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی آزمایشگاهی تاثیر انواع شیب، ذرات رسوبی و جریان متغیر با دبی‌های متفاوت بر روی حمل رسوب در رودخانه‌ها در فلومی به طول ۱۲ متر، عرض و عمق ۰/۵ متر و با قابلیت شیب‌پذیری انجام شد. در این پژوهش دو نوع مصالح رسوبی یکنواخت با اندازه‌های ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متر در بستر فلوم فوق الذکر با شیب‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۲ و تغییرات دبی بین ۰/۰۷ تا ۰/۶۶ متر مکعب برثانیه مورد آزمایش قرار گرفت. برای شبیه‌سازی سد نیز از یک دریچه بالارونده در ۲/۲ متری ابتدای فلوم، با سه ارتفاع آب به‌ترتیب برابر با ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری در پشت دریچه، استفاده شد. نتایج نشان داد که در جریان متغیر ناشی از شکست سد برای حالتی که ارتفاع آب پشت دریچه ۴۰ سانتی‌متر باشد با ۱/۳۵ برابر شدن قطر ذره بستر، حمل رسوب ۰/۱۳ برابر و همچنین با دو برابر شدن شیب بستر (۰/۰۱ به ۰/۰۲) برای مصالح با قطر ۱۴ میلی‌متر و حالتی که آب پشت دریچه ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر باشد نرخ انتقال رسوب ناشی از آن به‌ترتیب ۳/۱، ۱/۵و ۲/۸ برابر شده است. نتایج حاکی از آن است که بیشترین نرخ حمل بار بستر و همچنین تغییرات مرفولوژی بستر مربوط به زبانه موج مثبت جریان ناشی از شکست سد بوده و با عبور زبانه موج، نرخ حمل تغییرات بار بستر به‌شدت کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بار بستر، بررسی آزمایشگاهی، جریان متغیر، شکست سد

مقدمه

شکست سدهای بتنی می‌تواند به‌علت پدیده‌های سرریزشدن از روی سد به‌دلیل ناتوانی ظرفیت تخلیه سرریز، تراوش، اثر زلزله، ایجاد موج ضربه‌ای در اثر ورود لغزش‌های شدید دامنه‌های سد به داخل مخزن صورت گیرد (۱۳). نمونه شکست سدهای بزرگ دنیا می‌توان به سد بالدوین هیلز در سال ۱۹۶۴ در کالیفرنیا، سد سن فرناندو در سال ۱۹۷۱ در کالیفرنیا، سد بوفالو در سال ۱۹۷۲، سد نیوتن در سال ۱۹۷۶، سد لورل ران و سد سندی ران در سال ۱۹۷۷ اشاره داشت (۱۳). امواج سهمگین آزاد شده در اثر جریان سیلاب ناگهانی ناشی از شکست سد، و در پی آن خسارات قابل توجه جانی و مالی رخ داده، این پدیده را تبدیل به موضوعی مهم و متمایز از سایر پدیده‌های هیدورلیکی برای متخصصین و مهندسین هیدرولیک کرده است. در دهه‌های اخیر تلاش‌ها در خصوص مطالعه هیدرولیک شکست سد افزایش‌یافته (۲) ولی بیشتر مطالعات و محاسبات بر بستر ثابت و بدون توجه به توانایی فرسایشی جریان ناپایدار و تکامل مرفولوژیکی مربوط به آن در بستر پایین‌دست انجام شده است. در اثر جریان غیردائمی مقدار قابل توجهی رسوبات بستر به سمت پایین دست منتقل می‌شود که باعث تغییرات شدیدی در ریخت‌شناسی رودخانه می‌شود. در حقیقت این تغییر مرفولوژیکی تاثیر مهمی در حداکثر سطح آب و زمان رسیدن جبهه مثبت موج دارد که یک مشخصه مهم برای ارزیابی ریسک به حساب می‌آید (۲۳،۱۲). اثر شکست ناگهانی سدها ممکن است تا کیلومترها در پایین سد باعث خسارات شدید گردد، مثلا می‌توان به شکست سدهای Eder و Mohen در آلمان در اثر بمباران توسط منتفقین در جنگ جهانی دوم اشاره کرد که سیلاب ناشی از شکست سد تا فاصله ۵۰ کیلومتری پایین‌دست سد گسترش یافته بود (۱۱). به‌طور کلی تحقیقات صورت گرفته در مورد شکست سد، بیشتر بر روی نحوه تشکیل جریان و حرکت پیشانی موج مثبت در روی بستر صلب توسط روش‌های تفاضل مرکزی و الگوریتم مک کورمک، روش‌های جریان بالادستی جهت‌مند، حل‌کننده‌های تقریب ریمان و یا روش مبتنی‌بر حرکت ذرات (۸،۷) تمرکز دارد. همچنین برخی از پژوهش‌های صورت‌گرفته بر روی بسترهای متحرک، بدون در نظر گرفتن تغییرات نرخ حمل بار بستر بوده (۱۸) و یا تحقیقات صورت‌گرفته بر روی نحوه تشکیل جریان و حمل رسوب بستر توسط روش‌های عددی انجام شده است (۱۷). حدادیان و همکاران (۹) تحقیقی با عنوان تاثیر شیب بستر بر جریان ناشی از شکست سد بر روی بستر فرسایش پذیر انجام دادند. ایشان با نصب ۷ دوربین در یک فلوم شش متری که فقط برای آزمایش‌های شکست سد طراحی شده بود، اقدام به تاثیر تغییر شیب بستر (صفر، ۲+ و ۲- درصد) بر شکست سد نمودند. برای انجام این آزمایش کلیه شرایط اولیه ثابت بوده و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

تنها شیب متغییر بوده است. ایشان بیان کردند که نوک زبانه موج پیش‌رونده در حالت شیب مثبت بر خلاف دو حالت دیگر تیزتر است. همچنین، حسن‌زاده و همکاران (۱۰) جریان غیردائمی ناشی از شکست سد ونیار تحت سناریوهای شکست فرضی روگذری جریان و رگاب را با مدل HEC-RAS تحلیل، و پهنه سیلاب ناشی از شکست سد را تعیین نمودند. محمدنژاد و همکاران (۱۷) با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت و حل معادلات ناویر–استوکس به شبیه‌سازی موج مثبت حاصل از شکست سد در حالت دو بعدی قائم با در نظرگرفتن مدل‌های آشفتگی مختلف، پارامترهای فیزیکی و عدد موثر بر این پدیده پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که مدل عددی مورد استفاده، توانایی شبیه‌سازی شکست سد را در دو حالت بستر خشک و تر داشته و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. لیل و همکاران (۱۵) در مورد اثر موج حاصل از شکست سد که به‌صورت جریان غیرماندگار (متغیر سریع) عمل می‌نماید را بر تغییرات ایجادشده روی یک بستر قابل حرکت از مواد شنی و مواد سبک متخلخل بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که پیشانی موج به‌طور واضحی در بستر متخلخل و دانه‌بندی سبکتر نسبت به بسترهای شنی و ثابت، کوچکتر است. گارسیا و ساویرون (۶) برای شبیه‌سازی شکست سد از روش عددی مبتنی بر کاهش مجموع تغییرات (Diminishing Variation Total) گام‌های پیشگویی و اصلاحات مک کورمک استفاده کردند. کوهن و لارون (۴) مطالعاتی را در مورد هیدرولیک جریان روی بسترهای متحرک و ارزیابی انتقال رسوب انجام و تغییرات بستر را از طریق مدل کامپیوتری تهیه کردند. ایشان یک مدل نظری بر مبنای اصل بقای جرم در آبراهه‌های کم عمق ارائه کرده و نتایج ایشان نشان داد که با شکست سد در ابتدای بستر، فرسایش و آبشستگی شدید به‌وجود آمده و همچنان که موج به سمت پایین‌دست منتقل می‌گردد از شدت آن کاسته می‌شود، که شرایط فوق موجب شسته‌شدگی شدید در اطراف سد می‌گردد. کالفی و ولیانی (۳) نیز به بررسی اثر جریان‌های ناگهانی ناشی از شکست سد بر بسترهای متحرک خشک و تر پرداختند و یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی چگونگی تغییرات بستر پس از رهاشدن آب ناشی از شکست سد که به‌صورت یک موج قوی می‌باشد ارائه نمودند. عبدرزاک و همکاران (۱) به بررسی مدل‌سازی عددی یک بعدی تاثیر جریان ناشی از شکست سد بر بستر متحرک پرداختند. مدل یک بعدی ایشان توسط معادلات سنت ونانت برای موج آب، معادله بقای جرم رسوب و معادله تاخیر مکانی برای انتقال رسوب غیرتعادلی به کار گرفته شد. در نهایت نتایج مدل ایشان با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که پارامتر ضریب اصطکاک، مهم‌ترین پارامتر برای ارزیابی فرآیندهای انتقال رسوب در طی شکست سد می‌باشد. لاروکه و همکاران (۱۴) به بررسی آزمایشگاهی و عددی جریان‌های ناشی از شکست سد پرداختند و بیان نمودند که مدل‌سازی آشفتگی، پروفیل سرعت را در مخزن بالادست متاثر نمی‌کند، اما تاثیر مهمی بر پیش‌بینی سرعت پایین‌دست دارد. از دیگر نتایج ایشان این بود که بزرگی سرعت در یک موقعیت و منطقه خاص با زمان تغییر می‌کند. ژنگ و همکاران (۲۵) یک مدل یک بعدی ضمنی را برای حل مسئله شکست سد در یک بستر خشک و تر توسعه داده و نشان دادند نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی موجود تطابق رضایت بخشی دارد. کیان و همکاران (۱۸) در دانشگاه وهان در چین، به بررسی مجموعه داده‌های آزمایشگاهی جدیدی برای شبیه‌سازی سیلاب‌های ناگهانی ناشی از شکست سد بر روی بستر متحرک با قطرهای مختلف مصالح در حالت یکنواخت و مخلوط و همچنین ارتفاع‌های متفاوت آب بالادست و پایین‌دست سد، پرداختند. آنها بیان کردند که سطح رسوبات بستر، یک روند درشت‌شدن را در آبشستگی و مناطق نهشته‌شدن رسوبات، نشان می‌دهد.

با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته، در بیشتر آن‌ها به بررسی جریان تشکیل‌شده و همچنین تغییر و تحولات بستر پرداخته شده است و اطلاعات در مورد حمل بار رسوبات بستر، خصوصا به‌صورت مدل‌سازی فیزیکی بسیار کم و پراکنده می‌باشد. هدف از این تحقیق مقایسه بین تاثیر جریان‌های متغیر ناشی از شکست سد بر روی حمل رسوبات بستر در شیب‌های مختلف و با بستر دارای مصالح با قطرهای متفاوت و همچنین با چندین ارتفاع متفاوت آب در پشت دریچه بوده است که در تحقیقات مشابه، به بررسی همزمان این پارامترها بر حمل رسوب پرداخته نشده است.

مواد و روش‌ها

۱- تنظیمات فلوم

این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده فنی دانشگاه گیلان، در فلومی به طول ۱۲ متر، عرض و عمق ۰/۵ متر انجام گرفت. جداره‌های فلوم به‌منظور مشاهده جریان از جنس شیشه شفاف انتخاب شد. فلوم قابلیت شیب‌پذیری داشته و در این تحقیق دو شیب ۰/۰۱ و ۰/۰۲ در نظر گرفته شد. مصالح انتخابی در این تحقیق با اندازه‌های ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متر بوده که به‌صورت ۴ تا ۵ لایه در بستر ریخته شده و در هر آزمایش سطح بستر مسطح گردید. طول بستر فرسایش‌پذیر ۵ متر در نظر گرفته شد. بسترهای ثابت ابتدا و انتهای فلوم، (۲ متر ابتدایی و همچنین ۳/۵ متر انتهای فلوم) توسط چسپاندن مصالح مورد نظر بر روی موزاییک و چوب (با ارتفاع و طول مناسب) به‌منظور عدم تاثیر برگشت آب بر روی حمل رسوب تهیه شدند. ارتفاع‌های آب توسط سه عدد، سنسور التراسونیک ثبت‌کننده سطح آب ضبط گردید.

۲- خصوصیات مصالح رسوبی بستر

در پژوهش حاضر از دو مصالح یکنواخت طبیعی (به‌خوبی گردشده) ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متری استفاده گردید و خصوصیات فیزیکی آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

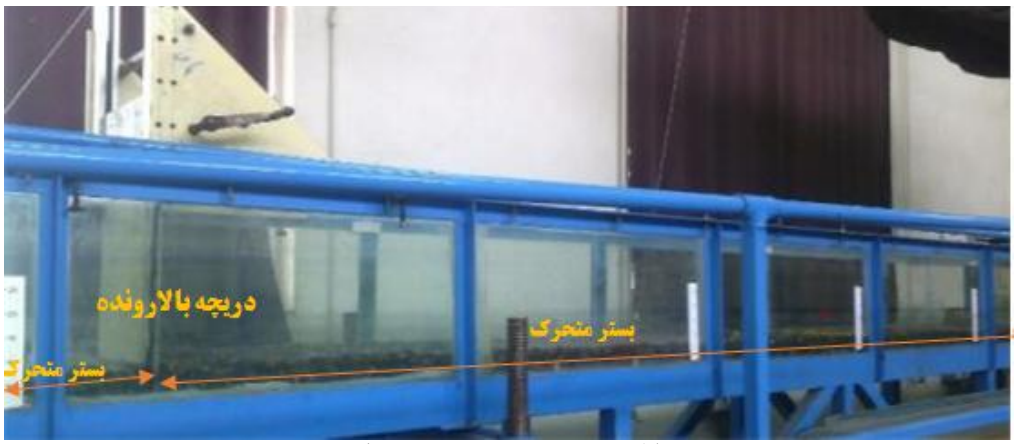
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی رسوبات بستر مورد استفاده در تحقیق حاضر
Table 1. Physical properties of bed sediment in this research

نوع مصالح	متوسط اندازه ذرات به میلیمتر	چگالی (Kg/M^3)	تخلخل	شکل ذره
شن	۱۰/۳۵	۲۳۷۵	٪۴۰	گردشده
شن	۱۴	۲۹۰۰	٪۴۵	گردشده

۳- جریان متغیر ناشی از شکست سد

یکی از بارزترین نوع جریان‌های غیردائمی متغیر، جریان‌های ناشی از شکست سدها می‌باشد، که شناخت مشخصات این نوع جریان‌ها در پایاب سدها برای تخمین و کنترل خسارت‌های منتج از آن‌ها ضرورت دارد. برای مدل‌سازی فیزیکی شکست ناگهانی سد، یک دریچه از جنس PVC که به‌صورت عمودی توسط دستگیره، از پایین به بالا باز می‌شود در ۲/۲ متری از ابتدای فلوم قرار داده شد. مصالح شنی با قطر متوسط ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متری (به‌طور جداگانه و در آزمایش‌های متفاوت) در طول ۵ متر داخل فلوم ریخته شد، به‌طوری که ۰/۳ متر در بالادست دریچه و ۴/۷ متر هم در پایین‌دست دریچه قرار داده شد (شکل ۱) و در انتهای بستر نیز تله مناسب برای جمع‌آوری رسوبات حمل‌شده قرار داده شد (آزمایش‌ها در بستر تر با ارتفاع آب ۲ سانتی‌متر، که معادل آب پایین‌دست سد سفید رود می‌باشد، اجرا شد).

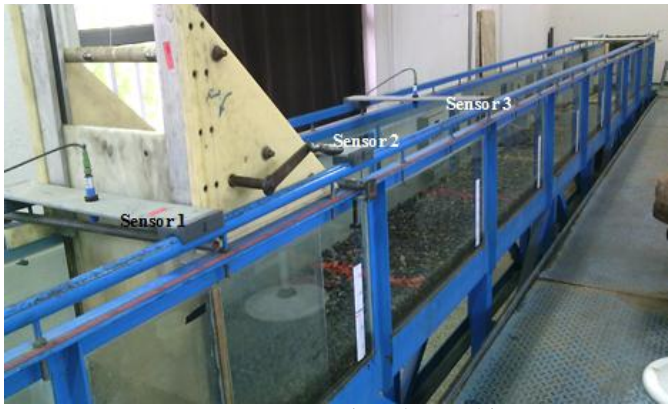


شکل ۱- موقعیت دریچه و بستر متحرک
Figure 1. Location of gate and mobile bed

زمان بازشدن کامل دریچه از روی فیلم‌های ثبت‌شده استخراج شد که برابر ۰/۴۵ ثانیه، سرعت پیشانی موج مثبت از روی سنسورهای التراسونیک (بین ۱/۶ تا ۲/۸ متر بر ثانیه) و سرعت متوسط در طول بستر از روی فیلم‌های ثبت‌شده استخراج گردید که بین ۱/۳ تا ۲/۳۵ متر بر ثانیه متغیر بوده است. به‌طور کلی سه دوربین در فواصل و مکان‌های مناسب نصب گردید، اولی در محل دریچه، دومی از نمای روبه‌رو به دریچه (در امتداد فلوم) در طول ۴ متری از دریچه و سومین دوربین هم دقیقا در موقعیت تله‌ها قرار داده شد. از روی دوربین اولی سرعت بازشدن دریچه، از روی دوربین دومی سرعت موج و از روی دوربین سومی نحوه و سرعت پرشدن تله‌ها با زمان مشخص گردید. سه عدد سنسور التراسونیک ارتفاع‌سنج نیز یکی در پشت دریچه برای کنترل ارتفاع آب پشت دریچه، دومی با ۰/۷ متر فاصله بعد از دریچه و سومی نیز ۱ متر پایین‌تر از سنسور دومی قرار داده شد (شکل ۲). برای به‌دست‌آوردن سرعت موج، تغییرات ثبت‌شده اوج موج در هنگام عبور از سنسورها ملاک قرار داده شد.

به‌طور کلی مراتب انجام آزمایش‌ها مبتنی بر مراحل زیر بوده است: ۱- مصالح شنی با قطر متوسط ۱۰/۳۵ یا ۱۴ میلیمتری در بالا و پایین‌دست دریچه ریخته شد، ۲- ارتفاع‌های آب در بالادست دریچه برابر ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتیمتری تنظیم شدند (شکل ۳). ۳-وسایل ثبت و ضبط داده‌ها توسط ویدیوها و دستگاه التراسونیک در موقعیت‌های مکانی مناسب نصب و تنظیم گردید. ۴- دریچه به‌صورت دستی و با سرعت زیاد و تقریبا یکنواخت باز گردید. ۵- وسایل ثبت و ضبط داده‌ها جهت جمع‌آوری داده‌های تغییرات تراز سطح آب و انتقال رسوب، همزمان با بازشدن دریچه شروع شد (شکل ۴). ۶- ادامه جریان تا حدود ۲ دقیقه انجام گردید. ۷- اطلاعات و داده‌های ثبت و ضبط‌شده جهت آنالیز و دستیابی به اهداف تحقیق از جمله تغییرات مرفولوژی بستر استفاده گردید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

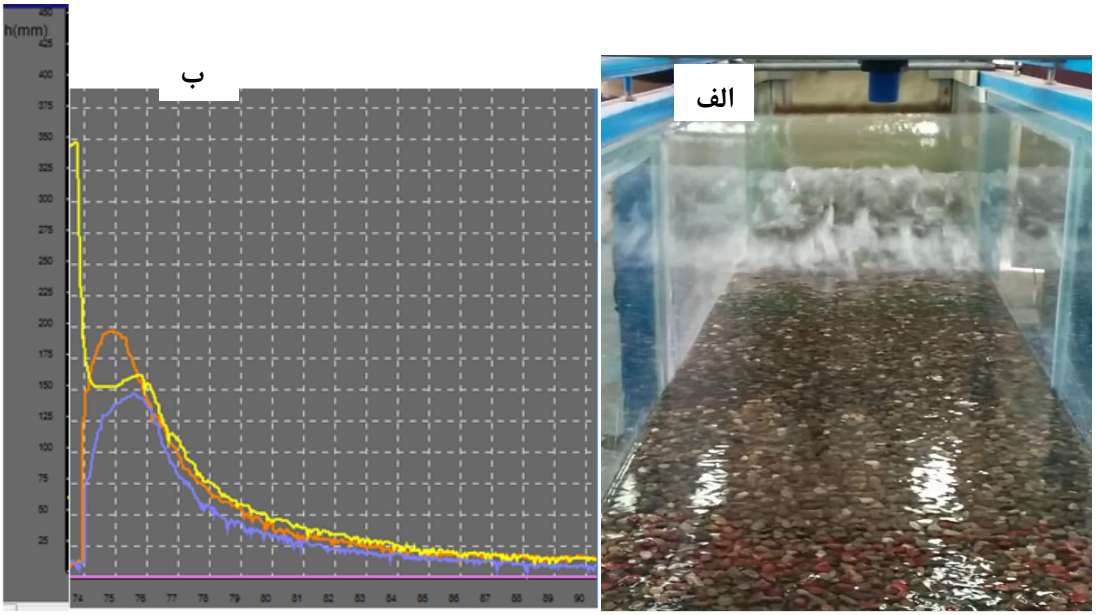


شکل ۲- مدل فیزیکی و موقعیت سنسورها
Figure 2. Physical model and location of sensors



شکل ۳- ارتفاع آب ۴۰ سانتی‌متری پشت دریچه
Figure 3. The 40 cm water level behind the gate

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]



شکل ۴- نمونه‌ای از تصاویر ثبت‌شده: الف) توسط دوربین ب) سنسورهای التراسونیک
Figure 4. Recorded some figures by: Digital Camera (a), Ultrasonic Sensors (b)

٤- نحوه جمع‌آوری و تئوری آنالیز ذرات رسوبی

برای جمع‌آوری رسوب حمل‌شده در اثر جریان‌های سیلابی ناشی از شکست سد از یک تا چهار تله رسوب‌گذار، بعد از بستر متحرک استفاده گردید. تله‌های مورد استفاده دارای ابعادی به طول هم عرض فلوم (۰/۵ متر) و عرض هرکدام از آنها تقریبا ۲۰ سانتی‌متر بوده است. تله‌ها به‌صورت سری (پشت سرهم) قرار داده شدند. از مزیت‌های مهم تله‌های پشت سر هم برآورد نرخ انتقال بار رسوب بستر در طول آزمایش می‌باشد. به این ترتیب که بعد از پرشدن تله اول و اندازه‌گیری زمان مربوطه و تکرار مراتب فوق برای تله‌های دیگر، میزان انتقال رسوب برآورد گردید. زمان پرشدن هر تله به‌صورت جداگانه محاسبه گردید، و همچنین مصالح رسوبی منتقل‌شده به هر تله جداگانه جمع‌آوری‌شده و پس از خشک‌شدن، توزین گردیدند. برای محاسبه شدت انتقال رسوبات بستر از رابطه (۱) استفاده شد (۱۸).

$$I = \frac{m}{NT} \qquad (۱)$$

که در آن I شدت انتقال رسوب، m تعداد ذرات جابجا شده در طول فاصله زمانی T در سطحی به مساحت A با تعداد ذرات رسوبی موجود در آن سطح از بستر متحرک (N) می‌باشد. به‌عبارت دیگر شدت انتقال رسوب کسری یا نسبتی از همه ذرات در سطح بستر می‌باشد که در هر ثانیه جابجا می‌شود. برای محاسبه تعداد ذرات در بستر متحرک یا N از رابطه (۲) استفاده گردید:

$$N = \frac{Ad(1-a)}{\frac{\Pi d^3}{6}} \qquad (۲)$$

که در آن d قطر مصالح و a تخلخل بستر می‌باشد.

نرخ انتقال بار بستر بر حسب کیلوگرم بر متر بر ثانیه توسط رابطه (۳) محاسبه گردید (۲۰):

$$q_s = \frac{G}{T*b} \qquad (۳)$$

که در آن G وزن خشک رسوبات جمع‌آوری‌شده، T زمان نمونه برداری و b عرض فلوم می‌باشد.

برای محاسبه بار بستر بی بعد اینشتین نیز از رابطه (۴) استفاده شد (۷):

$$V = C\sqrt{R_H(S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}} \qquad (۴)$$

که در آن ρ_s چگالی مصالح بستر، g شتاب ثقل، $S=\rho_s/\rho$ و ρ چگالی آب می‌باشد.

٥- مبانی هیدرولیکی جریان ناشی از شکست سد

معادلات حاکم بر مساله شکست سد را معادلات پیوستگی و دینامیکی در جریان‌های متغیر غیردائمی تشکیل می‌دهند که می‌توان تحت عنوان معادلات سن ونانت ارائه نمود (۱۷). این معادلات به صورت روابط ۵ تا ۸ ارائه شده است.

با در نظر گرفتن Q=A*V که در آن Q دبی جریان، V سرعت متوسط جریان و A مساحت تر شده به‌عنوان متغیرهای وابسته و x فاصله و t زمان را به‌عنوان متغیرهای مستقل می‌باشند می‌توان رابطه (۵) را نوشت (۱۷):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \qquad (۵)$$

با مفروض‌داشتن توزیع فشار هیدرواستاتیکی، توزیع یکنواخت سرعت در مقطع و با صرف نظرکردن از مولفه قائم شتاب ذرات سیال، معادله اندازه حرکت به شرح رابطه (۶) می‌باشد:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} = S_0 - S_f \qquad (۶)$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

که در آن S_0 شیب بستر و S_f شیب خط انرژی می‌باشند. در نهایت سرعت و دبی در یک جریان غیردائمی به‌صورت روابط (۷ و ۸) قابل تعریف است (۱۵):

$$V = C\sqrt{R_H(S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}} \quad (۷)$$

که در آن C ضریب شزی، $\frac{\partial h}{\partial x}$ شیب سطح آزاد جریان آب، $\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}$ شیب سرعت ناشی از تغییرات سرعت نسبت به مسیر جریان x، $\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}$ شیب سرعت ناشی از تغییر سرعت نسبت به زمان t می‌باشد.

$$Q = A^*V = A^*C\sqrt{R_H(S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}} \quad (۸)$$

نتایج و بحث

در این تحقیق داده‌های مربوط به مشخصات جریان شامل سرعت سطحی و عمق جریان توسط سطح سنج التراسونیک و رسوب به‌وسیله تله‌گذاری و تصویربرداری جمع‌آوری گردید، که تاثیر شکست سد بر روی حمل رسوب را آشکار می‌نماید. در این تحقیق مصالح مورد استفاده با قطر متوسط ۱۰/۳۵ میلی‌متری با شیب ۰/۰۱ و ارتفاع‌های آب ۱۲ و ۴۰ سانتی‌متر و مصالح ۱۴ میلی‌متری، تحت شیب‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۲ و با ارتفاع‌های ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری آب پشت دریچه انجام گردید که نتایج آزمایش‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

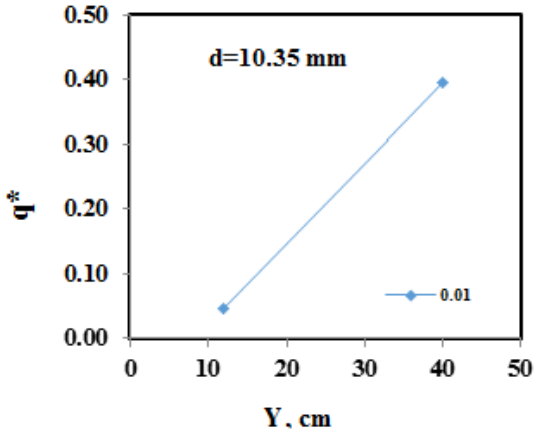
جدول ۲- مقایسه نرخ‌های حمل رسوب ناشی از شکست سد

Table 2. Comparison between sediment transport rate resulting from dam-break

ردیف	قطر مصالح (میلی‌متر)	شیب	آب پشت دریچه (سانتی‌متر)	مدت نمونه گیری (ثانیه)	وزن خشک ذرات جمع آوری شده (گرم)	نرخ انتقال رسوب (کیلوگرم بر ثانیه در متر)	تعداد ذرات متحرک (تعداد)	تعداد ذرات در بستر متحرک	بار بستر انشتین	سرعت متوسط (متر بر ثانیه)
۱				۲	۳۶۱۵	۳/۶۱۵	۲۰۶۵	۱۸۸۷۸	۰/۳۹۵	
۲			۳۵	۲۰	۴۳۰۷	۰/۴۵۳	۲۴۶۱	۲۱۵۷۴	۰/۰۴۹۵	۲/۳۵
۳	۱۰	۰/۰۱		۲۶	۱۰۹۰	۰/۰۸۳	۶۲۲	۱۶۱۸۱	۰/۰۰۹۱	
۴			۱۲	۱۲	۲۴۷۸	۰/۴۱۳	۱۵۱۶	۱۳۴۸۴	۰/۰۴۵۱	۱/۳
۵				۱۲۸	۳۴۴۰	۰/۰۴۰۹	۱۹۶۵	۲۱۵۷۴	۰/۰۰۴۴	
۶			۳۵	۹	۵۰۶۰/۶	۱/۱۲	۱۰۱۲	۸۱۷۴	۰/۰۴۴۷	۲
۷				۶۸	۲۶۶/۴	۰/۰۰۷۸	۵۳	۸۱۷۴	۰/۰۰۰۳۸	
۸			۲۰	۱۰	۲۹۲۳	۰/۹	۵۸۴	۵۴۴۹	۰/۰۳۱۵	۱/۶۶
۹		۰/۰۱		۶۸	۱۵۴	۰/۰۰۴۵	۳۱	۵۴۴۹	۰/۰۰۰۲۱	
۱۰			۱۲	۱۱	۲۳۵۶	۰/۴۱	۴۷۱	۵۴۴۹	۰/۰۱۴۳	۱/۲۵
۱۱				۶۹	۱۲۴	۰/۰۰۳۵	۲۵	۵۴۴۹	۰/۰۰۰۱۷۴	
۱۲				۳	۶۳۱۵	۴/۲	۱۲۶۳	۱۳۶۲۳	۰/۱۵۳	
۱۳				۲۰	۵۵۷۶	۰/۵۵۷	۱۱۱۵	۱۳۶۲۳	۰/۰۲۷	
۱۵			۳۵	۲۷	۶۲۸۵	۰/۴۶۵	۱۲۵۷	۱۳۶۲۳	۰/۰۲۲۶	۲/۳
۱۵				۳۵	۵۸۲۴	۰/۳۳۲	۱۱۱۶	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۶۱	
۱۶	۱۵			۲۲	۳۶۳۵	۰/۳۳۰	۷۲۷	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۶	
۱۷				۸	۶۵۶۵	۱/۶۲	۱۳۱۳	۱۳۶۲۳	۰/۰۵۸	
۱۸				۳۱	۵۸۳۶	۰/۳۷	۱۱۶۷	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۸	
۱۹		۰/۰۲	۲۰	۳۸	۶۲۲۰	۰/۳۲	۱۲۴۴	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۵۹	۱/۷۵
۲۰				۳۴	۶۰۴۰	۰/۳۵	۱۲۰۸	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۷	
۲۱				۴۶	۴۸۱۲	۰/۲	۹۶۲	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۰	
۲۲				۱۱	۶۴۶۵	۰/۹۹۴	۱۲۹۳	۱۳۶۲۳	۰/۰۴۸	
۲۳				۳۷	۶۱۰۰	۱/۱۶	۱۲۲۰	۱۳۶۲۳	۰/۰۲۱	
۲۴			۱۲	۱۸	۶۲۹۵	۰/۶۹۹	۱۲۵۹	۱۳۶۲۳	۰/۰۳۳۹	۱/۳۳
۲۵				۱۹	۵۴۸۵	۰/۵۷۷	۱۰۹۰	۱۳۶۲۳	۰/۰۲۸	
۲۶				۲۲	۳۴۵۰	۰/۳۱۳	۶۹۰	۱۳۶۲۳	۰/۰۱۵	

در شکل ۵ عمق آب پشت دریچه در برابر بار بستر اینشتین، برای مصالح با قطر ۱۰/۳۵ میلی‌متر با شیب ۰/۰۱ و با ۲ ارتفاع متفاوت آب پشت دریچه ۱۲ و ۴۰ سانتی‌متر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ مشخص است که، در شیب ۰/۰۱، با ۳/۳۳ برابرکردن (۴۰ نسبت به ۱۲ سانتی‌متر) ارتفاع آب پشت دریچه، نرخ بار بستر اینشتین ۸/۷۵ برابرشده است که با نتایج کیان و همکاران (۱۸) دارای هم‌خوانی می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]



شکل ۵- بار بستر اینشتین به‌عنوان تابعی از ارتفاع آب پشت دریچه
Figure 5. Ernestine bed load parameter as a function of water level behind the gate

برای حالت اول که عمق آب پشت دریچه ۱۲ سانتی‌متر بوده است، نرخ انتقال رسوب در مدت ۱۲ ثانیه اول برای جبهه موج مثبت ناشی از شکست سد، معادل ۰/۴۱۳کیلوگرم بر ثانیه بر متر و با ادامه‌یافتن جریان نرخ انتقال رسوب برابر با ۰/۰۴۰۹ کیلوگرم بر ثانیه بر متر شده است (جدول ۲). تغییرات مورفولوژی بستر در این حالت فقط محدود به ۰/۵ متر ابتدای دریچه بوده و در بقیه طول بستر تغییر خاصی مشاهده نشد.

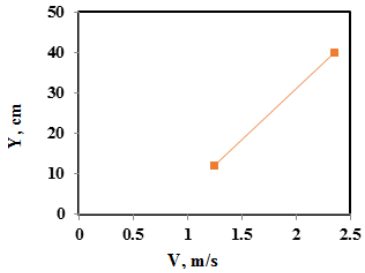
نتایج نشان داد در حالت دوم که ارتفاع آب پشت دریچه ۴۰ سانتی‌متر بوده است، برای جبهه موج مثبت ناشی از شکست سد، مقدار نرخ انتقال رسوب در ۲ ثانیه اول برابر با ۳/۶ کیلوگرم بر ثانیه بر متر بوده و با ادامه‌یافتن جریان به‌مدت زمان‌های ۲۰ و ۲۶ ثانیه، مقادیر نرخ انتقال رسوب به‌ترتیب برابر با ۰/۴۵ و ۰/۰۸ کیلوگرم بر متر بر ثانیه شده است (جدول ۲)، که دلالت بر کاهش نرخ انتقال رسوب با زمان دارد. نرخ حمل رسوب ناشی از پیشانی موج به‌ترتیب، ۸ برابر و ۴۵ برابر زمان‌های بعدی سپری‌شده می‌باشد، پس عمده انرژی و حمل رسوب، مربوط به پیشانی موج می‌باشد. سرعت پیشانی موج مثبت در محل دریچه برای حالتی که آب پشت دریچه ۴۰ سانتی‌متر بوده است، ۲/۸ متر در ثانیه و سرعت متوسط موج در طول ۵ متر بستر مورد مطالعه برابر با ۲/۳۵ متر بر ثانیه می‌باشد. مرفولوژی بستر در مدل فیزیکی نشان داد که برای حالتی که آب پشت دریچه ۴۰ سانتی‌متر باشد، در محل شکست سد، تخریب و آبشستگی بسیار شدید است، به‌طوری که تا ۲/۸ متر بعد از دریچه باعث شسته‌شدن شدید بستر گردید. مرفولوژی بستر نیز در این حالت دچار تغییرات شدیدی گردید، به‌طوری‌که ۴ گودال در بستر ایجاد شد و بعد از هر گودال، یک برآمدگی نیز در اثر شدت حمل رسوبات کنده‌شده از داخل گودال، ایجاد گردید، یعنی بستر به صورت یک موج سینوسی در آمد (شکل ۶ الف و ب).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]



شکل ۶- تغییرات ریخت‌شناسی بستر بعد از آزمایش: الف) در راستای عرضی فلوم و ب) در راستای طولی فلوم
Figure 6. Bed evolution after each experiment: a. at transverse direction and b. longitudinal direction of the Flume

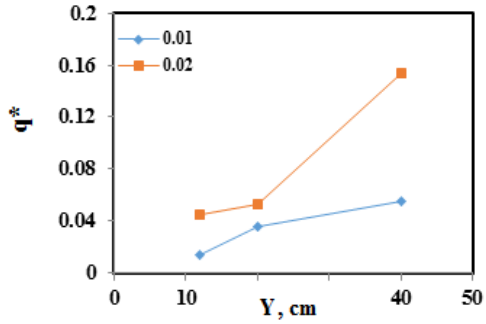
با افزایش آب پشت دریچه مقدار سرعت متوسط موج به‌طور خطی بیشتر شده است، به طوری که برای شیب ۰/۰۱، با افزایش ارتفاع آب پشت دریچه از ۱۲ به ۴۰ سانتی‌متر، سرعت متوسط موج از ۱/۲۵ به ۲/۳۵ متر بر ثانیه (۱/۸۸ برابر) رسیده است (شکل ۷).



شکل ۷- سرعت متوسط موج سیلاب به‌عنوان تابعی از ارتفاع آب بالادست دریچه، برای مصالح ۱۰/۳۵ میلی‌متری
Figure 7. Average celerity of wave as a function of water level (for particle size of 10.35 mm)

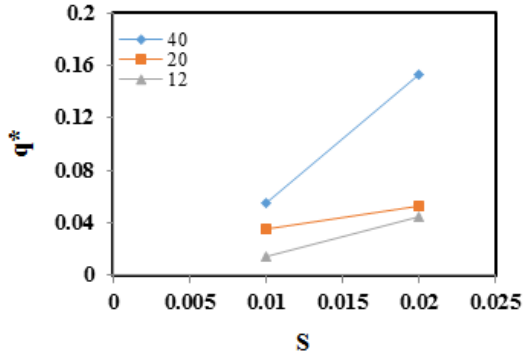
برای مصالح با قطر ۱۴ میلی‌متر، دو شیب ۰/۰۱ و ۰/۰۲ با سه ارتفاع متفاوت آب پشت دریچه ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر اجرا گردید. با شیب ثابت ۰/۰۱، با ۱/۶۶ برابر (۲۰ نسبت به ۱۲ سانتی‌متر) و ۲ برابرشدن (۴۰ نسبت به ۲۰ سانتی‌متر) ارتفاع آب پشت دریچه، نرخ بار بستر اینشتین به‌ترتیب ۲/۵ و ۱/۵۳ برابر و برای شیب ۰/۰۲ مقادیر فوق به‌ترتیب ۱/۲ و ۲/۸۸ برابر شده است (شکل ۸).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]



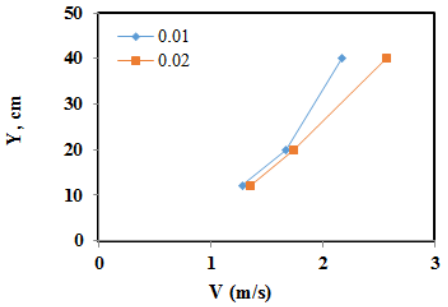
شکل ۸- بار بستر اینشتین به عنوان تابعی از ارتفاع آب بالادست دریچه برای مصالح ۱۴ میلی‌متری
Figure 8. Ernestine bed load parameter as a function of water level behind the gate for particle size of 14 mm

با ارتفاع ثابت ۱۲ سانتی‌متری آب پشت دریچه، با افزایش شیب از ۰/۰۱ به ۰/۰۲ (۲ برابر شدن شیب) بار بستر اینشتین ۳/۱ برابر شده است. برای ارتفاع‌های ثابت ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر، با ۲ برابر شدن شیب، بار بستر اینشتین به‌ترتیب ۱/۵ و ۲/۸ برابر شده است (شکل ۹).



شکل ۹- بار بستر اینشتین به‌عنوان تابعی از شیب بستر، برای مصالح یکنواخت ۱۴ میلی‌متری
Figure 9. Ernestine bed load parameter as a function of bed slope for particle size of 14 mm

در شکل ۱۰ نرخ تغییرات سرعت متوسط موج مثبت جریان در برابر ارتفاع آب پشت دریچه نشان داده شده است. همانطور که مشخص است با افزایش ارتفاع آب پشت دریچه مقدار سرعت متوسط موج مثبت نیز بیشتر شده است. با شیب ثابت ۰/۰۱، با ۱/۶۶ و ۲ برابر شدن ارتفاع آب پشت دریچه (از ۱۲ به ۲۰ و همچنین از ۲۰ به ۴۰ سانتی‌متر)، سرعت موج مثبت برای هر دو حالت ۱/۳ برابر شده است، برای شیب ۰/۰۲ نیز به‌ترتیب ۱/۳ و ۱/۵ برابر شده است. با ارتفاع آب ثابت ۴۰ سانتی‌متر، با افزایش شیب از ۰/۰۱ به ۰/۰۲ (۲ برابرشدن شیب)، مقدار سرعت متوسط موج ۱/۱۸ برابر و نرخ انتقال رسوب بار بستر اینشتین ۲/۸ برابر شده است.



شکل ۱۰- سرعت متوسط موج سیلاب به عنوان تابعی از ارتفاع آب بالادست دریچه، برای مصالح ۱۴ میلی‌متری
Figure 10. Average celerity of wave as a function of water level behind the gate for particle size of 14 mm

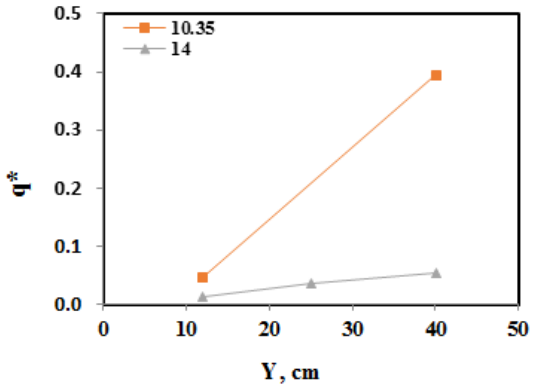
در شیب ۰/۰۲، برای حالتی که ارتفاع آب پشت دریچه ۴۰ سانتی‌متر باشد، در حوالی محل شکست سد، تخریب بسیار شدید است به‌طوری که تا ۱/۸ متری بعد از دریچه باعث شسته‌شدن شدید بستر گردید و همچنین در شیب ۰/۰۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

نسبت به شیب ۰/۰۱، گودال‌های تشکیل‌شده در بستر از شکل دایره به بیضی تمایل دارند.

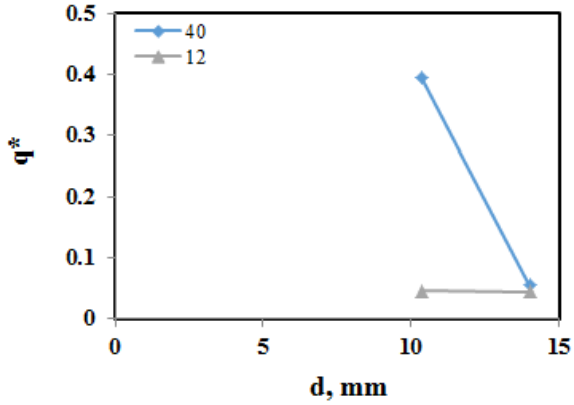
تاثیر قطر مصالح بستر بر حمل رسوب

در شکل ۱۱ تغییرات بار بستر اینشتین در برابر ارتفاع آب پشت دریچه برای مصالح یکنواخت ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متری با شیب ثابت ۰/۰۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، هرچه مصالح دارای قطر بیشتری باشند نرخ انتقال آن‌ها کاهش می‌یابد، به‌طوری که شیب نمودار مربوط به مصالح ۱۴ میلی‌متری دارای کمترین شیب می‌باشد.



شکل ۱۱- بار بستر اینشتین به عنوان تابعی از ارتفاع آب پشت دریچه برای مصالح با قطر متفاوت
Figure 11. Ernestine bed load parameter as a function of water level behind the gate for different particle size

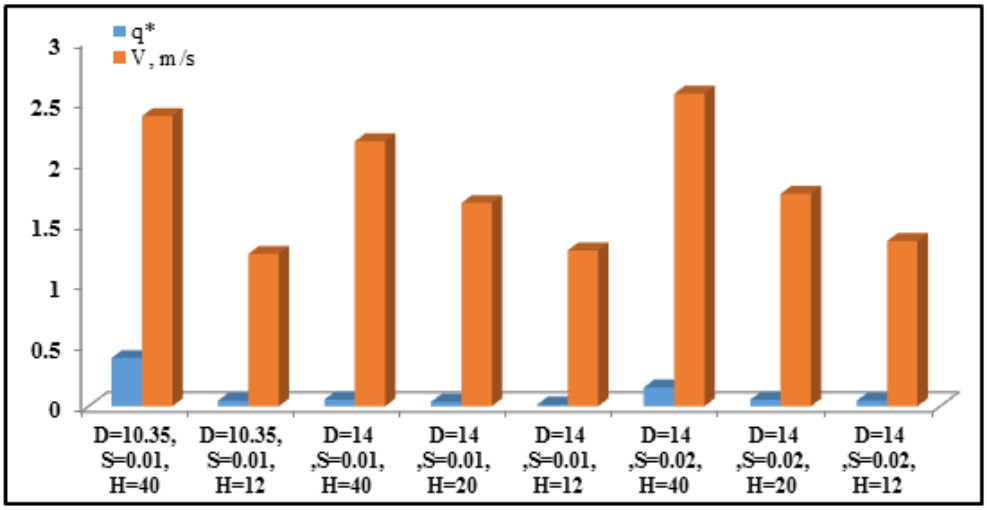
با توجه به شکل ۱۲ مشخص است که با ۱/۳۵ برابرشدن قطر ذرات مورد استفاده در شرایط تقریبا یکسان پتانسیل اولیه دینامیکی جریان آب (ارتفاع آب ۴۰ سانتی‌متر و شیب ثابت ۰/۰۱)، میزان پارامتر بی‌بعد بار بستر اینشتین ۰/۱۳ برابرشده است. که برای ارتفاع آب ۱۲ سانتی‌متری نیز، بار بستر اینشتین ۰/۱۸ برابر شده است.



شکل ۱۲- بار بستر اینشتین به عنوان تابعی از مصالح با قطرهای ۱۰/۳۵ و ۱۴ میلی‌متر
Figure 12. Ernestine bed load parameter as a function of different particle grain size of 10.35 and 14 mm

اهمیت مشخصات فیزیکی اندازه‌گیری‌شده ذرات رسوبی (شامل قطر و چگالی) مورد استفاده، در اندرکنش با شرایط دینامیکی جریان آب را می‌توان در ارتباط با پارامتر بی‌بعد بار بستر اینشتین (مطابق شکل ۱۳) ارائه نمود. از طرف دیگر، پارامتر بی‌بعد بار بستر اینشتین را می‌توان جهت نمایش نسبت میزان ذرات جابجاشده (با اندازه قطر معین) به دیگر ذرات هم اندازه حرکت نداشته در بستر نیز استفاده نمود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]



شکل ۱۳- مقایسه پارامتر بی بعد بار بستر اینشتین نسبت به مصالح با قطرهای متفاوت و همچنین سرعت‌های متفاوت جریان ناشی از شکست سد

Figure 13. Comparisons between Einstein bed load parameters for different bed materials and flows resulting from dam-break

با توجه به مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده برای بار بستر اینشتین در شکل ۱۳، بیشترین مقدار بار بستر اینشتین مربوط به ارتفاع آب ۴۰ سانتی‌متری در پشت دریچه به‌ترتیب برای مصالح با قطر ۱۰/۳۵ میلی‌متری، با شیب ۰/۰۱ و برای مصالح با قطر ۱۴ میلی‌متری در شیب ۰/۰۲ می‌باشد. کمترین مقدار نیز متعلق به مصالح با قطر ذرات ۱۴ میلی‌متری با شیب ۰/۰۱ و ارتفاع آب ۱۲ سانتی‌متری پشت دریچه می‌باشد.

در این پژوهش که در مجموع ۸ آزمایش اجرا گردید، به بررسی تاثیر جریان‌های سیلابی ناشی از شکست سد بر نرخ انتقال رسوب مصالح با قطرهای ۱۰/۳۵ میلی‌متر تحت شیب ۰/۰۱ و مصالح ۱۴ میلی‌متر، تحت دو شیب ۰/۰۱ و ۰/۰۲ با ارتفاع‌های ۱۲، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر عمق آب پشت دریچه پرداخته شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که بیشترین نرخ حمل بار بستر و همچنین تغییرات مرفولوژی بستر مربوط به زبانه موج مثبت جریان ناشی از شکست سد بوده و با گذر زبانه موج، نرخ حمل بار بستر به‌شدت کاهش می‌یابد، که ناشی از انرژی بسیار زیاد زبانه موج می‌باشد. همچنین آبشستگی بستر و نهشته‌شدن رسوبات در پایین دست، با افزایش ارتفاع آب پشت دریچه بیشتر شده است که ناشی از بیشتربودن انرژی پتاسیل موج با افزایش ارتفاع آب پشت دریچه می‌باشد. همچنین می‌توان بیان داشت که با افزایش ارتفاع آب پشت دریچه مقدار سرعت موج ناشی از شکست سد تقریبا به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش قطر مصالح بستر نرخ بار بستر به‌شدت کاهش می‌یابد. در انتهای هر آزمایش آبشستگی شدید بستر همراه با گودال‌های بزرگ در نزدیک دریچه مشاهده شد، که با فاصله‌گرفتن از دریچه مقدار محیط گودال و همچنین عمق آن کاهش می‌یابد. با افزایش شیب، محیط گودال‌ها بزرگترشده و از شکل دایره به سمت بیضی تمایل دارند که ناشی از زاویه برخورد زبانه موج با بستر می‌باشد. یافته‌های این تحقیق برای بهبود درک فرآیندهای انتقال رسوب در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تحت ذرات رسوبی با قطرها، شیب‌ها و جریان‌های متفاوت که موضوع دامنه وسیعی از شرایط جریان غیردائمی بوده، مفید و ضروری می‌باشد. برای جریان‌های شدید ناشی از شکست سد اطلاعات زیادی از مقیاس زمانی مکانیزم‌های ورود رسوب به جریان در مقایسه با مقیاس زمان مورد نیاز برای به تعادل‌رسیدن انتقال رسوب وجود ندارد و لذا نمی‌توان رابطه خاصی بین میزان رسوب موجود در جریان و ظرفیت حمل رسوب ارائه کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کشور جهت تامین مالی تحقیق حاضر، همچنین دانشگاه گیلان در خصوص همکاری با نویسندگان جهت انجام تحقیقات در آزمایشگاه هیدرولیک و همچنین از مسوولین محترم آزمایشگاه جناب آقایان مهندس نادر ایزدپناه و مهندس حسین جهانگیری کمال تشکر را داریم.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

منابع

1. Abderrrezzak, K.E.K., A. Paquier and B. Gay. 2008. One dimensional numerical modeling of dam break waves over movable beds: application to experimental and field cases. Environmental fluid mechanics, 8(2): 168-198.
2. Baharestani, A. and M. Banihashemi. 2010. Modeling of water and sediment transport in dam break using finite element. Journal of Civil Engineering, 44: 12-25.
3. Caleffi, V. and A. Valiani. 2002. A mathematical model for dam-Break over movable bed. IAHR proceeding of the international conference on Fluvial Hydraulic, Louvianla Neuve, Belgium, 981-990.
4. Cohen, H. and J.B. Laronne. 2005. High rates of sediment transport by flashfloods in the southern Judean desert, Israel. Hydrological Process, 19(8): 1687-1702.
5. Einstein, H.A. 1942. Formulas for the transportation of bed load, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 107: 561-597.
6. Garcia-Navarro, P. and J.M. Saviron.1986. Numerical solution of the St. Venant equations with Mac Cormaack finite difference scheme. International Journal of Numerical Methods in Fluids, 6: 259-274.
7. Gesteira M.G., B.D. Rogers, R.A. Dalrymple and J.C. Cerespo. 2010. State-of-the-art of classical SPH for free surface flows. Journal of Hydraulic Research, 48(1): 6-27.
8. Guinot, V. 2003. Godunov-type schemes: an introduction for engineers. First edition, Elsevier press, 469 pp.
9. Hadadian, S., M. Montazeri Namin, F. Bahman Pour and N. Eshaghi. 2014. Impact of bed slope in dam break on mobile bed. National Conferences in Civil Engineering, Tabriz, Iran (In Persian).
10. Hassanzadeh, Y. 1997. Rapidly varied unsteady flow in a small-scale dry bed model, International Journal of Engineering, 10(1): 1-10.
11. Honoré, R.H. 1945.Un aspect de la guère modern les brisures de barrage, La Houille Blanche.
12. Joao, G.A.B., R.M.L. Leal, A.H. Ferreira and A. Cardoso. 2002. Dam-break waves on movable bed. Journal of Hydraulic Engineering, 135(11): 115-128.
13. Komasi, M., A. kahzadi and A. Hoseini. 2015. Hydraulic simulation of Dez dam break using MIKE. Journal of Hydraulic, 10(3): 63-69 (In Persian).
14. La Rocque, L., J. Imran and M. Chaudhry. 2013. Experimental and numerical investigations of two-dimensional dam-break flows. Journal of Hydraulic Engineering, 139(6): 569-579.
15. Leal, J., R. Ferreira, A. Cadoso and A.B. Almeida. 2003. Comparision between numerical and experimental results on dam break wave over dry mobile beds. 3th IMPACT Workshop, At Lovain-la-Neuve.
16. Mc-Cuen, R.H. 2011. Hydrologic analysis and design. Prentic-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 815 pp.
17. Mohammad Nejad, B., M.E. Fatemi Kia, J. Behmanesh and M. Montaseri. 2013. 2-D vertical numerical simulation of dam break wave. Journal of Civil and Environmental Engineering, 44(3): 76-90.
18. Qian, H., Zh. Cao, H. Liu and G. Pender. 2017. New experimental dataset for partial dam-break floods over mobile beds. Journal of Hydraulic Research, http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2017.1289264.
19. Ressler, RF.1954. Comparison of theories and experiments for the hydraulic dam-break wave. Proc. of International Association of Hydrological Sciences, 38(3): 319-328.
20. Safavi, H. 2010. Engineering hydrology, Third edition, Isfahan university press, 724 pp (In Persian).
21. Shvidchenko, A.B and G. Pender. 2000. Flume study of the effect of relative depth on the incipient motion of coarse uniform sediments. Water Resources Research, 36(2): 619-628.
22. Wang, L., J. Alan, S. Cuthbertson, G. Pender and Zh. Cao. 2015. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs. International Journal of Sediment Research, 30(4): 306-320.
23. Yalin, M.S. 1972. Mechanics of Sediment Transport, Pergamon, Tarry town, NY press, 450 pp.
24. Zech, Y., S. Soares-Frazão, B. Spinewine and N. Le Grelle. 2008. Dam-break induced sediment movement: Experimental approaches and numerical modelling. Journal of Hydraulic Research, 46(2): 310-327.
25. Zhang, H., Y. Hassanzadeh, D.L. Nguyen and K. René. 1992. A 1-D numerical model applied to dam break flows on dry beds. Journal of Hydraulic Research, 30(2): 211-224.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]

Experimental Investigation of Flash Flood Resulting from Dam-Break on Bed Sediment Transport

Khabat Khosravi[1], Mahmood Habibnejad Roshan[2], Kaka Shahedi[3], Amir Hoshang Nezamivand Chegini[4] and Kamran Chapi[5]

1- Ph.D. Student of Watershed Management, Faculty of natural resources, Sari agricultural science and Natural Resources University, Iran, (Corresponding author: Khabat.khosravi@gmail.com)
2 and 3- Professor and Associated Professor, Department of watershed management, Faculty of natural resources, Sari agricultural science and Natural Resources University, Iran
4- Assistant Professor, department of civil engineering, Guilan University. Iran
5- Assistant Professor, department of watershed management, faculty of natural resources, University of Kurdistan, Iran
Received: April 11, 2017 Accepted: July 5, 2017

Abstract

Varied flows such as flooding resulting from dam break can happen due to earthquakes, seepage, bombing, overtopping, mistake in design and project performance as well as causing financial damages and human losses. Unsteady flow during flooding events has a high impact on flow field pattern, sediment motion, ecology and also, distribution of contamination in the river. In this study, the impact of various slopes, sediment diameters and unsteady flows with different discharges on sediment transport were carried out at the flume with 12 m length, 0.5 m width and height. In this research, two type of uniform sediment particle with 10 and 15 mm in diameter were spread over the bed of above mentioned flume with slope of 0.01 and 0.02. To build a dam physical model, a mechanical lift-gate was used at 2 m from the upstream inlet of the flume. Potential hydrostatic initial conditions of the fluvial experimental model resulted from dam-break was based on using three water depths of 35, 20 and 12 cm at the gate upstream and one water depth of 3cm at the downstream of the gate. By considering the above mentioned procedures, fluvial flows were produced and have been used with discharge between 0.07 to 0.66 m3/s. The result showed that by increasing the sediment particle size 1.35 times the sediment transport have been reduced by 1/4 for 35 cm upstream water depth and also by increasing the slope by 2 times from 0.01 to 0.023 for sediment with 15 mm and with initial upstream water depth condition was 35, 20 and 12 cm the sediment transport have been increased 3.42, 1.83 and 3.38 times respectively. The above mentioned points show the significance of fluvial flows and their effects on sediment transport and therefore the morphological changes of rivers. Result has been shown that high sediment transport rate and bed evolution was resulting from positive wave head and after that, sediment transport rate have been intensity decreased.

Keywords: Bed load, Dam break, Experimental investigation, Unsteady flow

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.5.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.120]