

تأثیر توأم شیب جانبی سیلاب‌دشت و شیب کانال اصلی در یک کانال مرکب، بر انتقال رسوبات

عاطفه عرب و کاظم اسماعیلی^{۱*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۹)

چکیده

مطالعه سیلاب به علت خسارت جانی و مالی فراوان، همواره مورد اهمیت پژوهشگران است. بررسی بستر سیلابی می‌تواند راهکارهای مناسبی برای کاهش این پدیده در اختیار مدیران و پژوهشگران قرار دهد. در این تحقیق به بررسی مقطع سیلابی مرکب (با دشت سیلابی یک طرف کانال اصلی) پرداخته شده است. از این رو، دو مدل آزمایشگاهی مقطع مرکب در فلوم آزمایشگاهی با در نظر گرفتن آنالیز ابعادی مورد بررسی قرار داده شد. با هدف بررسی شیب جانبی، دیوار سیلاب‌دشت در مدل آزمایشگاهی در مدل اول شیب دیواره جانبی صفر و در مدل دوم مقدار برابر با ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. همچنین با هدف بررسی تأثیر شیب طولی بر شستن رسوبات بستر رودخانه، شیب طولی در سه گام ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۶ تغییر داده شد. با بررسی داده‌های سرعت‌سنجی ADV، نتایج نشان داد با افزایش شیب طولی و عرضی (شیب دیواره سیلاب‌دشت) کانال، ماکزیمم سرعت طولی به سمت کف کانال تغییر موقعیت می‌دهد. با هدف بررسی تأثیر قطر متوسط رسوبات بر روند آبشستگی، در طول آزمایش‌هایی از رسوبات ماسه‌ای با قطر ۰/۹ و ۳ میلی‌متر استفاده شد. نتایج نشان داد، افزایش شیب طولی و عرضی تأثیر زیادی بر افزایش حجم رسوبات شسته شده در طول کانال دارند و با افزایش این شیب‌های طولی و عرضی در کانال، میزان حجم انتقال رسوبات بیشتری اتفاق می‌افتد. در ادامه، با استفاده از بررسی اعداد بی‌بعد به دست آمده از آنالیز ابعادی، عدد بی‌بعد فرود وزنی برای بررسی این مقدار به‌ازای دیگر پارامترهای هیدرولیکی معرفی شد و رابطه‌ای بر پایه رگرسیون غیر-خطی با ضریب همبستگی قابل قبولی در حدود ۰/۸۸ معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: مقاطع مرکب، سیلاب‌دشت، شیب طولی کانال، رسوب، شیب عرضی، رگرسیون غیرخطی، آنالیز ابعادی

۱ گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: esmaili@um.ac.ir

مقدمه

بیش از سه دهه است که هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب توسط پژوهشگران مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در بیشتر این مطالعات، هدف اصلی اثر پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی بر ساختار جریان هیدرولیکی کانال است. مشخصات هیدرولیکی جریان در کانال اصلی و دشت سیلابی کاملاً با یکدیگر متفاوت بوده و به همین دلیل برای محاسبات هیدرولیکی این مقاطع، باید مقطع مرکب تجزیه شود (۱۰). از این رو بررسی پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی می‌تواند به صورت مجزا یا به صورت واحد مورد بحث و بررسی واقع شوند (۱۶). یکی از پارامترهای مورد اهمیت در این مطالعات شیب طولی کانال و شیب عرضی سیلاب‌دشت است. در حالت کلی و با توجه به رابطه لین (Lane (1998)) تنش وارده به کف کانال توسط جریان تابع مستقیمی از شیب طولی کانال است. در روابط گذشته تأثیر تنش برشی بین جریان کانال اصلی و سیلاب‌دشت صفر در نظر گرفته می‌شد. از جمله این روابط می‌توان به مطالعات آکرز (۱) اشاره کرد. در این روش فرض می‌شود تنش برشی بین بخش‌های مختلف صفر بوده و هیچ گونه تبادل مومنتوم بین مقطع اصلی و دشت‌های سیلابی وجود ندارد. نتایج مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد، که این فرض صحیح نبوده و به همین دلیل روش‌های فوق دارای خطا هستند (۱۱). افزایش شیب عرضی سیلاب‌دشت تأثیر باعث تغییر تنش انتقالی بین جریان عبور از کانال اصلی و سیلاب‌دشت شده است.

در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی در آزمایشگاه هیدرولیک و همچنین آنالیز ابعادی در مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی و استفاده از رگرسیون خطی سعی در بررسی تأثیر شیب بر رسوبات شسته شده در کانال اصلی می‌شود. ترکیب شیب‌های طولی و عرضی بر روند آبشستگی در طول کانال آزمایشگاهی، در مطالعات سیلاب بسیار اهمیت داشته و با توجه به نبود مطالعه واحد برای بررسی این موضوع،

تحقیق فوق با هدف ارائه روابطی گردآوری شده است.

مطالعات انجام شده

روش‌های زیادی برای تحلیل هیدرولیک جریان در کانال‌های باز وجود دارد. بسیاری از این روش‌ها مانند روابط داریسی-ویسباخ، شزی و مانینگ برای مقاطع ساده مناسب بوده اما برای مقاطع مرکب مستقیم و پیچانرود محدودیت دارند. بنابراین، مدل‌های ریاضی یک بعدی معمول در مهندسی هیدرولیک جریان و رسوب (HEC-RAS، MIKE11 و ISIS) که مبتنی بر روابط مانینگ یا شزی است، برای تحلیل جریان در رودخانه‌های با مقطع مرکب قابل اعتماد نیستند. در این مدل‌ها از روش تجزیه قائم مقطع مرکب برای محاسبه دبی جریان سیل استفاده می‌شود که محدودیت اصلی این روش، در نظر نگرفتن تنش برشی ایجاد شده در مرز تماس مقطع اصلی و دشت سیلابی است. با صرف نظر کردن از این تنش، خطای زیادی در محاسبه دبی جریان به ویژه در رودخانه‌های طبیعی به وجود می‌آید (۱۱). یکی از روش‌های مرسوم مطالعه مقاطع مرکب استفاده از مدل-سازی آزمایشگاهی است. در آنالیز ابعادی، با ارائه تشابه هندسی، سینماتیک، و دینامیکی بین مدل اصلی و نمونه، می‌توان اعداد بی بعدی را برای بررسی پارامترهای مختلف هیدرولیکی و فیزیکی حاکم بر جریان ارائه کرد (۱۴).

در مطالعه‌های پژوهشگران به بررسی مدل سیلاب‌دشت یک طرفه به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر مشخصات جریان پرداختند. این طور بیان شد که با افزایش پوشش گیاهی، ارتفاع آب در سیلاب‌دشت و کانال اصلی به صورت چشم‌گیری افزایش پیدا کرد. اگرچه افزایش پوشش گیاهی می‌تواند باعث افزایش افت انرژی شود ولی این امر موجب افزایش عمق آب به‌ازای دبی سیلابی یکسان می‌شود (۱۳). همچنین در ادامه پژوهشگران دیگری روابطی بین عمق جریان و ارتفاع پوشش گیاهی به‌ازای اعداد فرود مختلف ارائه کردند (۵). همچنین با در نظر گرفتن پارامترهای هیدرولیکی و میزان تراکم پوشش

خلاف روش‌های گذشته تأثیر اجزای سرعت در جهت‌های مختلف منحنی مختصات در نظر گرفته شد. این روش که با دیگر روش‌های گذشته CES و روش لامبرتو مایرز (۱۰) مورد مقایسه قرار داده شد. مقایسه‌ها نشان داد، روش ارائه شده نتایج بهتری نسبت به روش‌های پیشین دارد. همچنین در ادامه این روش برای برآورد سرعت در کانال اصلی و سیلاب‌دشت توسعه داده شد و میزان رسوبات با واسنجی سیلابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روش ارائه شده، می‌تواند با دقت قابل قبولی پارامترهای سیلاب را در سیلاب‌دشت و کانال اصلی تخمین بزند (۱۵).

در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن مدل آزمایشگاهی و همچنین استفاده کردن از تکنیک آنالیز ابعادی استفاده شده در مطالعات یاد شده، طرح آزمایش‌هایی هیدرولیکی برای بررسی پارامتر شیب جانبی (شیب سیلاب‌دشت) و شیب طولی کانال اصلی طرح‌ریزی شد. همچنین با در نظر گرفتن مطالعاتی در این زمینه، تأثیر پارامترهای سرعت و حضور رسوبات در کانال اصلی از داده‌های سرعت‌سنجی دستگاه سرعت‌سنج صورت اصلی ADV استفاده شد. با در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای سرعت در جهت‌های سه‌گانه منحنی مختصات، تأثیر سرعت افقی بر میزان رسوبات شسته شده در جدول آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

بابلی (۳) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت پرداخت. در این تحقیق به‌ازای تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های مختلف، میزان آب‌سستگی و رسوبگذاری در سیلاب‌دشت مورد بررسی قرار داده شد. در نهایت الگوی کشت گیاهی برای به حداقل رساندن مقدار فرسایش و شسته شدن رسوبات ارائه شد.

بررسی وضعیت جریان در رودخانه‌های واقعی با مقیاس واقعی یکی از مسائل مورد مطالعه در زمینه سیلاب‌دشت است (۴). در این پژوهش رودخانه‌ای به‌عنوان مورد پژوهشی، بررسی میدانی شد. بیان شد که به‌ازای تغییرات ناگهانی در مقطع جریان در امتداد رودخانه شرایط ویژه‌ای برای رسوبشویی جریان به

گیاهی، رابطه‌ای بر پایه آنالیز ابعادی برای برآورد میزان ارتفاع آب در سیلاب‌دشت ارائه شد (۶). کسری با عنوان نسبت تراکم برای بررسی این مورد ارائه شد که در مطالعات بعدی توسط پژوهشگران مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. برای بررسی عرض سیلاب‌دشت و همچنین تأثیر دیواره کناری سیلاب‌دشت، در مطالعه‌ای (۱۲) با بررسی مدل آزمایشگاهی سیلاب‌دشت با شیب صفر، این مورد را بررسی کردند. نیمرخ طولی سطح آب در این تحقیق مورد پژوهش قرار گرفت. با بررسی این نیمرخ-ها، نیروی درگ در طول کانال اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، با افزایش اعداد رینولدز جریان ضریب درگ پوشش گیاهی به صورت فزاینده‌ای کاهش پیدا می‌کند. این مطلب بیانگر این نکته است که با افزایش سرعت در مقطع مرکب، اتلاف انرژی در طول کانال کاهش پیدا می‌کند.

بسیاری از مطالعات به بررسی منحنی‌سنجی در سیلاب‌دشت و کانال اصلی پرداخته‌اند. این موضوع اهمیت فراوانی داشته چرا که این عمق به‌صورت مستقیم در ارتفاع دبی سیلاب تأثیرگذار است. در صورتی که می‌توان با داشتن دبی و روند افزایش منحنی دبی-اشل عمق آب را در زمان سیلاب تخمین زد. مطالعات زیادی در این زمینه یافت می‌شود. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به (۱۵) اشاره کرد. در این پژوهش تأثیر طول دیواره‌های سیلاب‌دشت به‌عنوان فاکتور اصلی مد تحقیق قرار گرفته است. همچنین آکرز (۲) با در نظر گرفتن دو دیواره سیلاب‌دشت در طول‌های مختلف به بررسی تابع دبی-اشل پرداخت. در ادامه با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی برای تخمین میزان عمق سیلاب به‌ازای دبی سیلابی پرداخته شد. این آزمایش‌ها با مدل واقعی سیلاب‌دشتی واسنجی شد و روابطی تجربی بر پایه مقایسه‌های بین مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی ارائه شد.

بررسی میزان رسوبات شسته شده در زمان سیلاب موضوعی است که همواره مورد اهمیت بوده است. ارائه روشی برای تخمین وزن رسوبات خارج شده از کانال در مطالعه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (۸). در این روش بر

سانتی‌متر و ارتفاع ۵/۰ متر انجام گرفت. ساختمان فلوم متشکل از فولاد و پلاکسی گلاس است که در آن کف فلوم و دیواره پشت فلوم از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۲ میلی‌متر و دیواره‌های دیگر فلوم از جنس پلاکسی گلاس با ضخامت ۱۵ میلی‌متر که با استفاده از چسب‌های خارجی آکوارיום آب‌بندی شده، ساخته شد. لازم به ذکر است، فلوم آزمایشگاهی در استاندارد S6MK11 شرکت Armfield طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۱).

ب) دستگاه سرعت‌سنج صوتی: تحلیل میدان جریان و بردارهای سرعت در بالادست سرریز با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت‌سنج سه بعدی ADV انجام شد. در این تحقیق برای نشان دادن شرایط جریان سرریز بر وضعیت رسوب‌گذاری در پشت دیواره سرریز، از سرعت افقی در شبکه ترسیم شده در مقطعی از کانال استفاده شد (شکل ۲).

ج) ابزار تغییر شیب طولی: در طول آزمایش‌ها از ابزار تعبیه شده در انتهای کانال برای تغییر شیب طولی کانال استفاده شد. لازم به ذکر است، از شیب‌های ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴، و ۰/۰۰۶ برای تغییر شیب استفاده شد. در شکل (۳)، این ابزار نمایش داده شده است.

د) آنالیز ابعادی: پارامترهای فیزیکی حاکم بر جریان مقاطع مرکب در رابطه (۱) ارائه شده است:

$$V_{out} = f(Q_f, h_o, h_s, h_f, S_o, S_y, b, w, V, \gamma, \mu, \sigma, \rho, g, B, d_{50}, \gamma_s) \quad (1)$$

در رابطه بالا، Q_f : دبی جریان، h_o : عمق آب در کانال، h_s : ارتفاع رسوبات، h_f : ارتفاع سیلاب‌دشت، b : عرض سیلاب‌دشت، S_o : شیب طولی کانال، S_y : شیب عرضی کانال، w : عرض کانال اصلی، V : سرعت جریان، γ : جرم و وزنی سیال، μ : لزجت دینامیک آب، σ : کشش سطحی آب، ρ : چگالی سیال، g : شتاب

وجود خواهد آمد. یکی از عواملی که رسوبشویی در مقاطع را افزایش می‌داد، وجود دیواره‌ای با شیب تند در مقطع رودخانه بود. از این‌رو در نظر گرفتن این پارامتر، می‌تواند اهمیت ویژه‌ای در برآورد میزان رسوبات داشته باشد. در این پژوهش دیگر پارامترهای تأثیرگذار از جمله دبی سیلاب با استفاده از مدل‌های عددی، مورد بحث و پژوهش قرار داده شد.

بررسی عوامل مؤثر بر خرابی در دیواره سیلاب‌دشت در یکی از رودخانه‌های قاره آمریکا، در مطالعه‌ای مورد پژوهش قرار داده شد (۷). در مقطعی از رودخانه شرایط مورفولوژی رودخانه به‌ازای بازه زمانی خاصی مورد مطالعه قرار داده شد. نتایج این تحقیقات نشان داد، در شرایطی که در شیب سیلاب‌دشت پوشش گیاهی وجود داشته باشد، شرایط جریان تغییر کرده و وجود این مقاطع باعث کاهش موضعی آبستگي می‌شود. درنهایت با توجه به این اطلاعات هیدرولیکی برآورد خسارت سیلاب در سیلاب‌دشت‌ها صورت پذیرفت که به‌ازای دبی سیلاب‌های مختلف، میزان خسارات محاسبه شد.

باید توجه داشت پارامترهای مختلفی بر شرایط هیدرودینامیکی سیلاب‌دشت‌های رودخانه‌ها تأثیرگذار هستند. از این‌رو شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر این مورد در علم هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از عوامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولیکی و هیدرودینامیکی سیلاب‌دشت‌ها، شیب جانبی سیلاب‌دشت است با این اوصاف، بررسی کیفی و کمی پارامتر نیازمند ارائه روش تحقیق مناسب آزمایشگاهی است. در این پژوهش با هدف قرار دادن تأثیر شیب جانبی سیلاب‌دشت بر شرایط هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان، طرح آزمایش‌هایی برای بررسی این پارامتر ارائه شد.

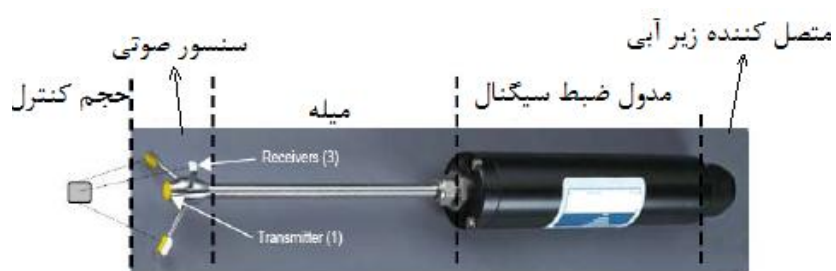
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی:

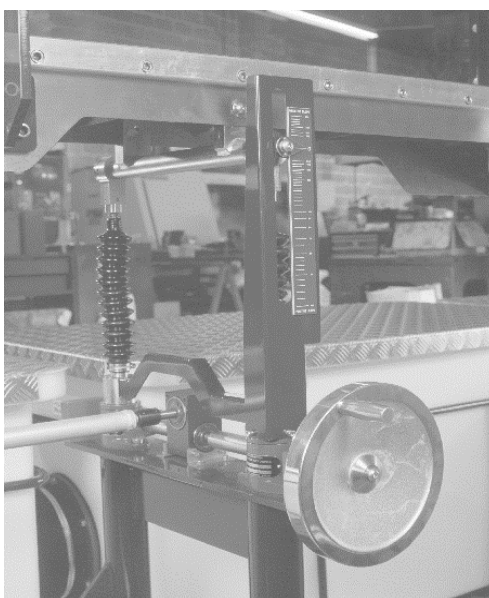
الف) فلوم آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی (Flume) آزمایشگاهی به‌طول ۱۲ متر، عرض ۳۰



شکل ۱. نمایی از زوایای مختلف کانال آزمایشگاهی



شکل ۲. سرعت سنج صوتی انعکاسی ۲۵ مگاهرتز



شکل ۳. تغییر شیب طولی

داده شده است. همچنین، منظور از عدد فرود وزنی عدد Π_8 است.

ه) جدول آزمایش‌ها: برای بررسی تأثیر شیب جانبی و شیب طولی سیلاب‌دشت تعداد دو مدل کلی با یک دیواره در مدل آزمایشگاهی ساخته شد. به‌ازای دبی ورودی مختلف در کانال، وزن رسوبات در شرایط مختلف آزمایشگاهی با استفاده از توری جمع‌آوری و وزن‌کشی شد. در جدول (۱) آزمایش‌های انجام شده بر مدل‌های آزمایشگاهی به‌ازای دبی‌های مختلف ارائه شده است. همچنین در شکل (۴) طرح این مدل‌های آزمایشگاهی همراه با پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی نمایش داده شده است. در جدول (۱) پارامترهای طول برحسب میلی‌متر است. همچنین دبی برحسب لیتر بر ثانیه تعریف می‌شود.

ی) آزمایش‌های مکانیک خاکی (دانه‌بندی): به‌منظور تعیین محدوده دانه‌بندی به‌کار رفته در ساخت مدل از آزمایش دانه بندی با الک‌های استاندارد استفاده شد. در شکل (۵) منحنی دانه بندی رسوبات استفاده شده ارائه شده است. متوسط دانه‌بندی رسوبات ۰/۹ و ۳ میلی‌متر است و جنس خاکدانه‌ها ماسه‌ای است.

ر) اندازه‌گیری سرعت: اندازه‌گیری سرعت، در شبکه‌بندی شکل (۶) توسط دستگاه ADV و همچنین لوله پیتوت صورت پذیرفت. در ادامه به تفضیل بدین موارد اشاره می‌شود. لازم به ذکر است، از آنجایی که دستگاه ADV قادر به اندازه‌گیری سرعت در بیشتر از ۴/۵ سانتی‌متری سطح آب نبوده، نقاط بالاتر از عمق ۴/۵ سانتی‌متری توسط لوله پیتوت اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌های مدل آزمایشگاهی سیلاب‌دشت، نتایج به‌صورت زیر مورد مقایسه قرار داده شد:

ثقل زمین ، B : عرض کل کانال ، V_s : حجم رسوبی از کانال و d_{50} : قطر متوسط ذرات هستند. در پارامترهای بالا در رابطه با آنالیز ابعادی و قضیه پای باکینگهام، می‌توان پارامترهایی را از پارامترهای بالا حذف کرد. برای مثال، به‌علت اینکه ضخامت آب در روی سیلاب‌دشت به اندازه کافی زیاد است، می‌توان از نیروهای کشش سطحی صرف نظر کرد. همچنین با در نظر گرفتن اینکه شیب عرضی و شیب طول پارامترهای بی‌بعدی هستند. می‌توان آنها را از محاسبات خارج کرد و به‌عنوان عدد بی‌بعدی معرفی کرد. برای ساده‌سازی آنالیز ابعادی بهتر است که این پارامتر نیز در نظر گرفته نشود. با این تفاسیر می‌توان بیان کرد که:

$$V_s = f(h_0, h_s, h_f, b, w, V, \gamma, \mu, \sigma, \rho, g, B, d_{50}) \quad (2)$$

$$\Pi_1 = S_0, \quad \Pi_2 = S_y \quad (3)$$

می‌توان به‌دو صورت پارامترهای تکرار شونده را در نظر گرفت. در صورت اول اگر μ و ρ در نظر گرفته شوند در اعداد بی‌بعد، عدد رینولدز پدیدار خواهد شد. از آنجایی که مطالعات در کانال باز صورت می‌گیرد و نیروی لزجت تأثیر کمتری نسبت به نیروی وزن خواهد داشت، به‌همین دلیل از پارامترهای تکرار شونده باید استفاده شود که نیروی وزن (عدد فرود) تأثیر خود را نشان دهد با در نظر گرفتن پارامترهای تکرار شونده g ، V و h_0 اعداد به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

$$V_s = f(h_0, h_s, h_f, b, w, V, \gamma, \mu, \rho, g, B, d_{50}, \gamma_s) \quad (4)$$

همچنین:

$$\begin{bmatrix} V_s & h_s & h_f & b & w & \mu & d_{50} & h_0 & g & V \\ M & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ L & 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ T & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

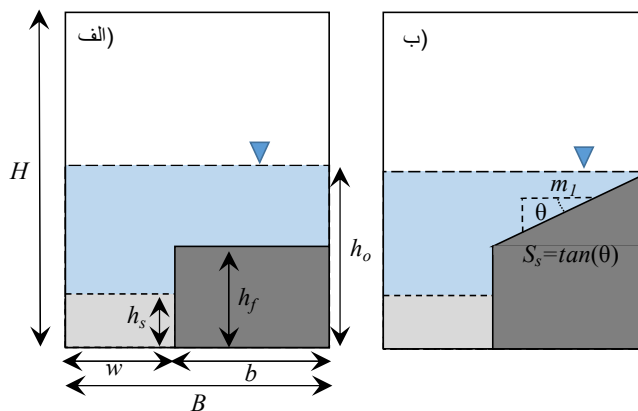
$$\Pi_3 = \frac{h_s}{h_0}, \Pi_4 = \frac{h_f}{h_0}, \Pi_5 = \frac{b}{h_0}, \Pi_6 = \frac{d_{50}}{h_0},$$

$$\Pi_7 = \frac{w}{h_0}, \Pi_8 = \frac{V_s V}{\sqrt{gh_0^{3.5}}} = \frac{W_{out} V}{\gamma_s \sqrt{gh_0^{3.5}}}$$

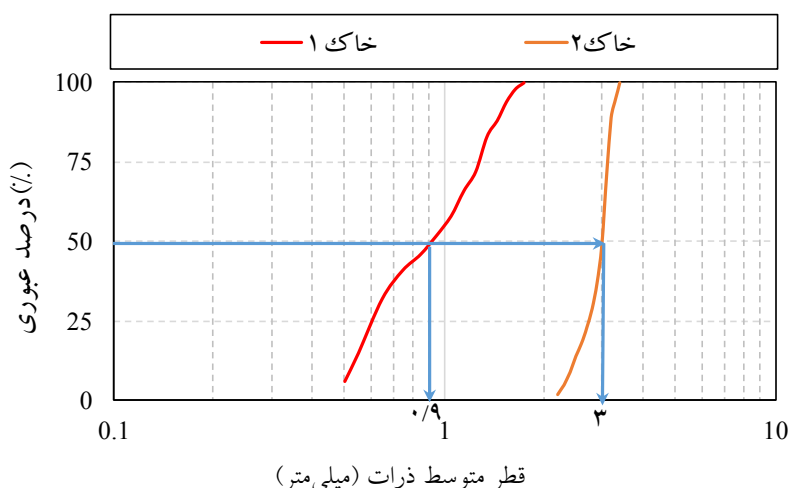
در رابطه (۵) W_{out} وزن رسوبات شسته شده در کانال اصلی سیلاب‌دشت، است. این پارامتر با جمع‌آوری رسوبات در انتهای کانال محاسبه می‌شود. مقادیر این پارامتر در جدول (۱)، نمایش

جدول ۱. آزمایش‌های کانال مرکب با یک دیواره سیلاب‌دشت

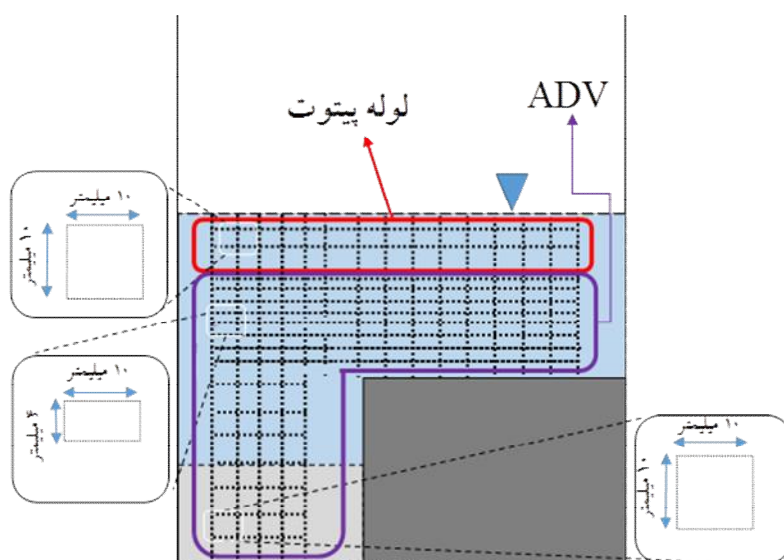
W(out)	ho	hf	hs	d50	Sy	So	دبی	شماره	W(out)	ho	hf	hs	d50	Sy	So	دبی	شماره
Kg	mm	mm	mm	mm			L/s		Kg	mm	mm	mm	mm			L/s	
۷/۹۲	۱۳۹	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۲	۶/۱	۲۵	۷/۱۲	۱۳۸	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۲	۶/۱	۱
۱/۵۹	۱۵۱	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۲	۹/۲	۲۶	۱/۲۹	۱۴۲	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۲	۹/۲	۲
۲/۳۰	۱۶۳	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۲	۱۰/۷	۲۷	۲/۰۰	۲۲۶	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۲	۱۰/۷	۳
۱/۷۶	۱۷۱	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۲	۱۱/۸	۲۸	۱/۵۶	۱۵۶	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۲	۱۱/۸	۴
۳/۶۵	۱۸۷	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۲	۶/۱	۲۹	۳/۱۵	۱۳۸	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۲	۶/۱	۵
۳/۵۹	۱۶۲	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۲	۹/۲	۳۰	۳/۱۵	۱۴۲	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۲	۹/۲	۶
۴/۵۰	۱۷۱	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۲	۱۰/۷	۳۱	۴/۰۵	۱۵۶	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۲	۱۰/۷	۷
۵/۹۳	۱۸۱	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۲	۱۱/۸	۳۲	۵/۵۳	۱۶۳	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۲	۱۱/۸	۸
۱/۹۳	۱۵۱	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۴	۶/۱	۳۳	۱/۱۳	۱۳۶	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۴	۶/۱	۹
۲/۹۴	۱۵۴	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۴	۹/۲	۳۴	۲/۳۱	۱۳۴	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۴	۹/۲	۱۰
۳/۶۸	۱۶۴	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۴	۱۰/۷	۳۵	۳/۴۵	۱۴۲	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۴	۱۰/۷	۱۱
۴/۷۲	۱۵۴	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۴	۱۱/۸	۳۶	۴/۷۰	۱۴۹	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۴	۱۱/۸	۱۲
۳/۲	۱۳۸	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۴	۶/۱	۳۷	۲/۸۹	۱۲۶	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۴	۶/۱	۱۳
۴/۸۹	۱۴۴	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۴	۹/۲	۳۸	۴/۰۹	۱۳۴	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۴	۹/۲	۱۴
۵/۹۹	۱۶۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۴	۱۰/۷	۳۹	۵/۵۶	۱۴۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۴	۱۰/۷	۱۵
۷/۸۹	۱۶۹	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۴	۱۱/۸	۴۰	۷/۱۰	۱۴۹	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۴	۱۱/۸	۱۶
۳/۸۹	۱۴۵	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۶	۶/۱	۴۱	۳/۰۰	۱۱۹,۵	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۶	۶/۱	۱۷
۶/۰۹	۱۴۱	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۶	۹/۲	۴۲	۵/۰۹	۱۲۵	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۶	۹/۲	۱۸
۸/۰۸	۱۳۷	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۶	۱۰/۷	۴۳	۷/۱۸	۱۳۵	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۶	۱۰/۷	۱۹
۸/۳۲	۱۳۹	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰/۵	۰/۰۰۶	۱۱/۸	۴۴	۸/۴۲	۱۳۶	۱۲۰	۷۰	۰/۹	۰	۰/۰۰۶	۱۱/۸	۲۰
۲/۳۸	۱۵۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۶	۶/۱	۴۵	۱/۱۸	۱۱۹,۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۶	۶/۱	۲۱
۴/۲۵	۱۴۹	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۶	۹/۲	۴۶	۴/۳۵	۱۳۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۶	۹/۲	۲۲
۷/۵۸	۱۵۶	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵	۰/۰۰۶	۱۰/۷	۴۷	۷/۱۳	۱۳۶	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۶	۱۰/۷	۲۳
۴/۱۳	۱۴۴	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰/۵۷	۰/۰۰۶	۱۱/۸	۴۸	۳/۱۳	۱۲۵	۱۲۰	۷۰	۳/۰	۰	۰/۰۰۶	۱۱/۸	۲۴



شکل ۴. مدل‌های آزمایشگاهی کانال مرکب: الف) شیب جانبی صفر و ب) شیب جانبی ۰/۵



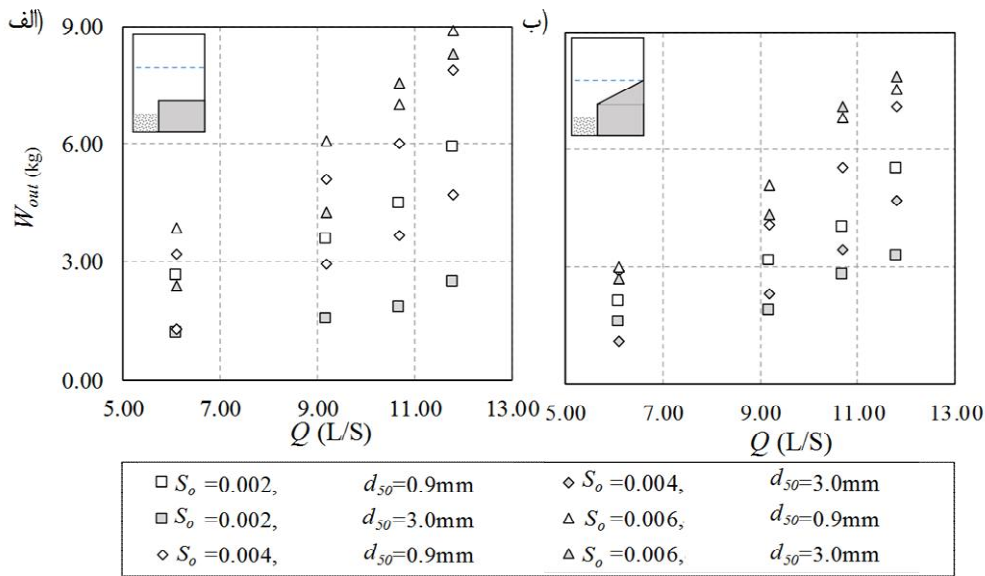
شکل ۵. دانه بندی خاک‌های استفاده شده در مدل‌ها (رنگی در نسخه الکترونیکی)



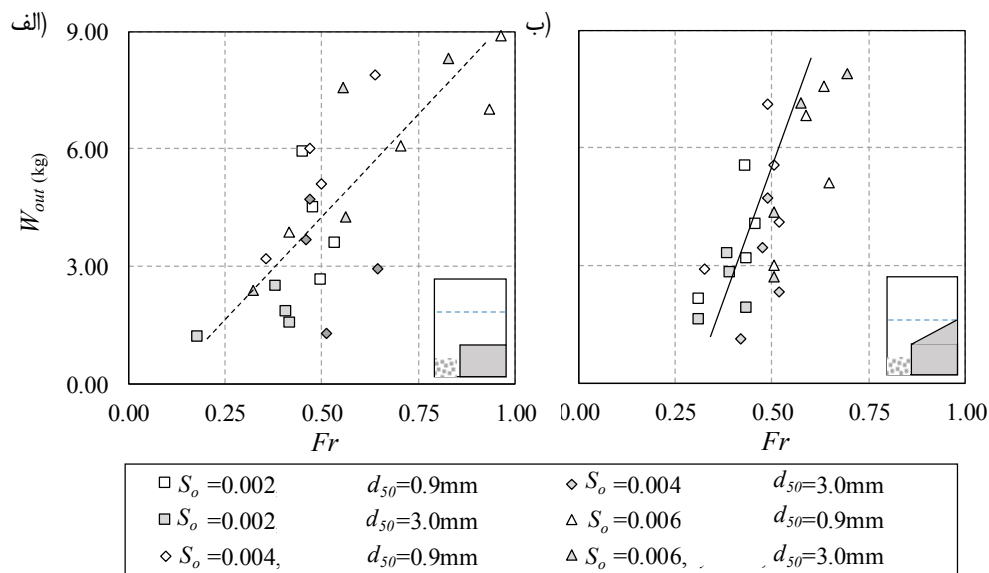
شکل ۶. شبکه بندی کانال برای اندازه گیری سرعت (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در دبی ۱۱/۸ لیتر بر ثانیه رخ خواهد داد. مقایسه‌های اولیه بیانگر این مطلب است، که با افزایش دبی و شیب طولی افزایش معناداری بر مقادیر رسوبات شسته شده در مدل آزمایشگاهی اول رخ می‌دهد. همچنین با توجه به شکل (۷-ب)، وزن رسوبات به‌زای دبی و دیگر پارامترهای هیدرولیکی ترسیم شده است. در مدل دوم (شیب طولی بدنه سیلاب‌دشت ۰/۵)، نتایج نشان می‌دهد، کمترین مقدار شسته شده در این مدل در زمانی که شیب طولی کانال همانند مدل اول (شیب

تأثیر دبی بر وزن رسوبات شسته شده: در شکل (۷-الف)، وزن رسوبات به‌زای دبی ترسیم شده است. در مدل اول (شیب طولی بدنه سیلاب‌دشت صفر)، نتایج نشان می‌دهد، کمترین مقدار شسته شده در این مدل در زمانی که شیب طولی کانال مقداری برابر با ۰/۰۰۲ و قطر متوسط ذراتی برابر با ۳ میلی‌متر در دبی ۶/۱ لیتر بر ثانیه رخ می‌دهد. در همین حال، ماکزیمم مقادیر رسوبات شسته شده در مدل آزمایشگاهی با شیب طولی ۰/۰۰۶ و قطر متوسط ذراتی برابر با ۰/۹ میلی‌متر



شکل ۷. تأثیر افزایش دبی بر وزن رسوبات شسته‌شده: الف) مدل کانال مرکب با شیب جانبی صفر و ب) کانال مرکب با شیب جانبی ۵/۰

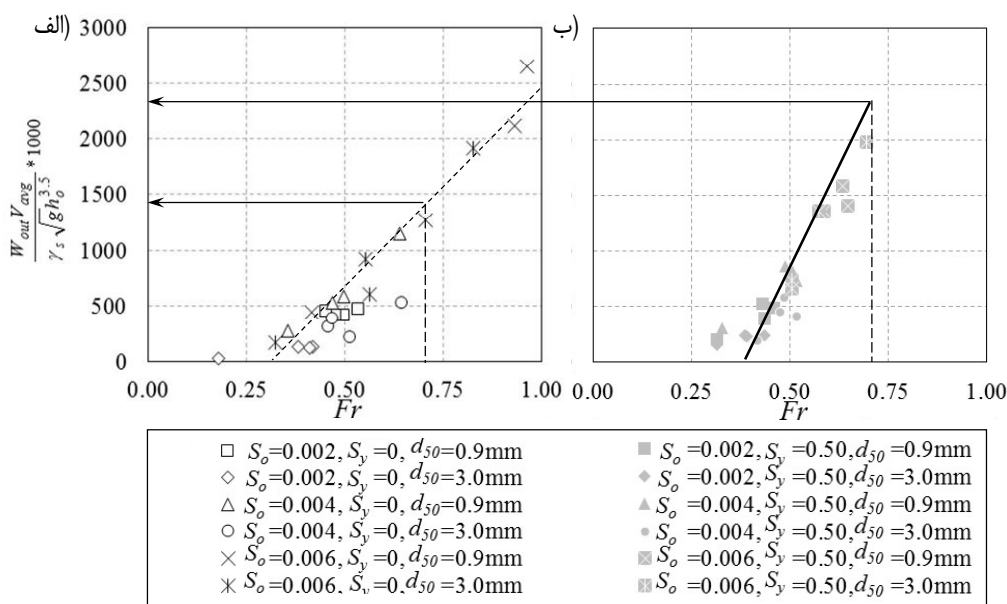


شکل ۸. تأثیر عدد فرود بر وزن رسوبات شسته‌شده: الف) مدل کانال مرکب با شیب جانبی صفر و ب) کانال مرکب با شیب جانبی ۵/۰

این‌رو برای بررسی این دو پارامتر در ابعاد بزرگ‌تر از عدد فرود جریان و همچنین شیب طولی کانال برای مقایسه‌ها استفاده شد.

تأثیر عدد فرود جریان بر میزان حمل رسوبات: در شکل (۸)، مقادیر وزن رسوبات شسته شده در کانال و عدد فرود برای مدل‌های آزمایشگاهی ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش عدد فرود و بحرانی شدن جریان وزن

عرضی سیلاب‌دشت (۵/۰)، مقداری برابر با ۰/۰۰۲ و قطر متوسط ذراتی برابر با ۳ میلی‌متر در دبی ۶/۱ لیتر بر ثانیه رخ می‌دهد. در همین حال، ماکزیمم مقادیر رسوبات شسته شده در مدل آزمایشگاهی با شیب طولی ۰/۰۰۶ و قطر متوسط ذراتی برابر با ۰/۹ میلی‌متر در دبی ۱۱/۸ لیتر بر ثانیه است. از این مقایسه‌های می‌توان نتیجه گرفت، میزان افزایش دبی و شیب طولی تأثیر زیادی بر افزایش شسته شدن رسوبات دارند. از

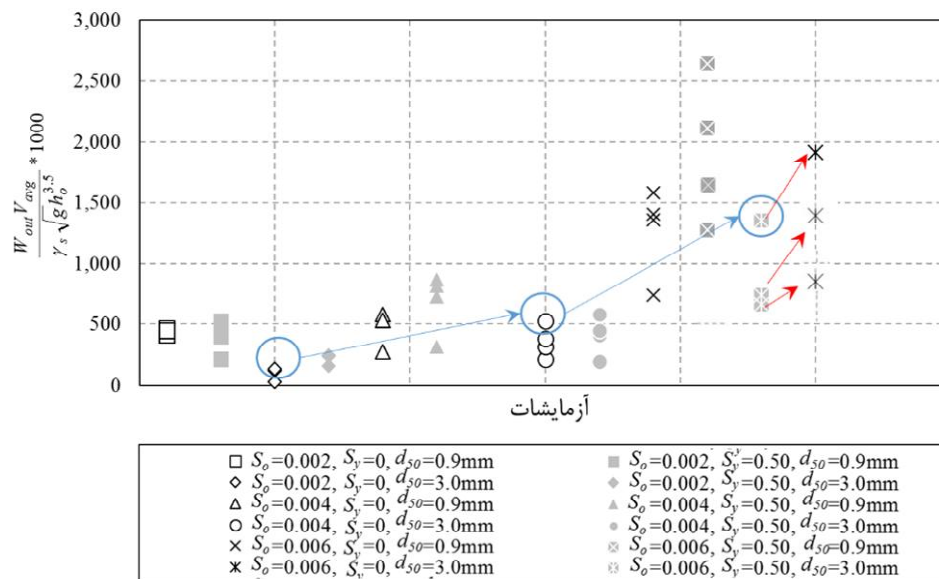


شکل ۹. روند تغییرات فرود وزنی در برابر عدد فرود: (الف) مدل کانال مرکب با شیب جانبی صفر و (ب) کانال مرکب با شیب جانبی ۵٪

شسته شده، افزایش پیدا کند. با این اوصاف، افزایش میزان رسوبات شده به‌ازای عمق ثابت باعث افزایش کسر عدد فرود وزنی می‌شود. همچنین در حالت کلی، با افزایش شیب طولی به‌ازای ثابت بودن دیگر پارامترهای هیدرولیکی (دبی جریان)، عدد فرود نسبت افزایشی خواهد داشت. از این‌رو می‌توان عدد فرود را به‌عنوان نماینده تأثیر افزایش شیب یا دبی و همچنین عدد فرود وزنی را به‌عنوان نماینده وزن رسوبات شسته شده در نظر گرفت. این امر با هدف بی‌بعد کردن مقادیر و مقایسه تأثیر پارامترهای هیدرولیکی صورت پذیرفت. با توجه به شکل (۹)، می‌توان نتیجه گرفت با بحرانی شدن جریان میزان عدد فرود وزنی افزایش پیدا خواهد کرد. به‌ازای دو شیب جانبی این‌روند قابل مشاهده است. این بدین معناست، روند شسته شدن رسوبات با بحرانی‌تر شدن جریان افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین با مقایسه دو روند مدل های مختلف شیب جانبی (خط چین در شکل ۹-الف) و (خط در شکل ۹-ب) می‌توان دریافت که افزایش شیب جانبی باعث افزایش عدد فرود نسبی در یک عدد فرود شود (توجه به خط قائم ترسیم شده در عدد فرود ۰/۷۴).

رسوبات اندازه‌گیری شده در انتهای کانال افزایش پیدا می‌کند. همچنین با مقایسه این روند در حالت شیب جانبی صفر سیلاب‌دشت (خط‌چین شکل الف) با روند شیب جانبی ۵٪ (خط)، می‌توان بیان کرد، نسبت تغییرات وزن رسوبات شسته شده نسبت به عدد فرود روندی با شیب صعودی بیشتری پیدا خواهد کرد. این بدین معناست، به‌ازای یک عدد فرود یکسان مدل‌های آزمایشگاهی با شیب جانبی بیشتر وزن رسوبات شسته شده بیشتری را خواهند داشت. درنهایت، نتیجه کلی که می‌توان از این مقایسه‌ها گرفت این است که با افزایش عدد فرود، مقدار وزن رسوبات شسته افزایش پیدا خواهد کرد.

فرود وزنی: برای بررسی بی‌بعد پارامترهای هیدرولیکی و فیزیکی در مقاطع مرکب آزمایشگاهی، با در نظر گرفتن آنالیز ابعادی انجام شده، معادله (۵) (عدد ۸ II) به‌عنوان عدد فرود وزنی معرفی شد. با در نظر گرفتن این مقدار و همچنین عدد فرود جریان، به‌ازای آزمایش‌های انجام شده، شکل (۹) ترسیم شد. همان‌طور که از صورت کسر عدد فرود وزنی مشخص است، عدد فرود وزنی می‌تواند با افزایش مقدار وزن رسوبات



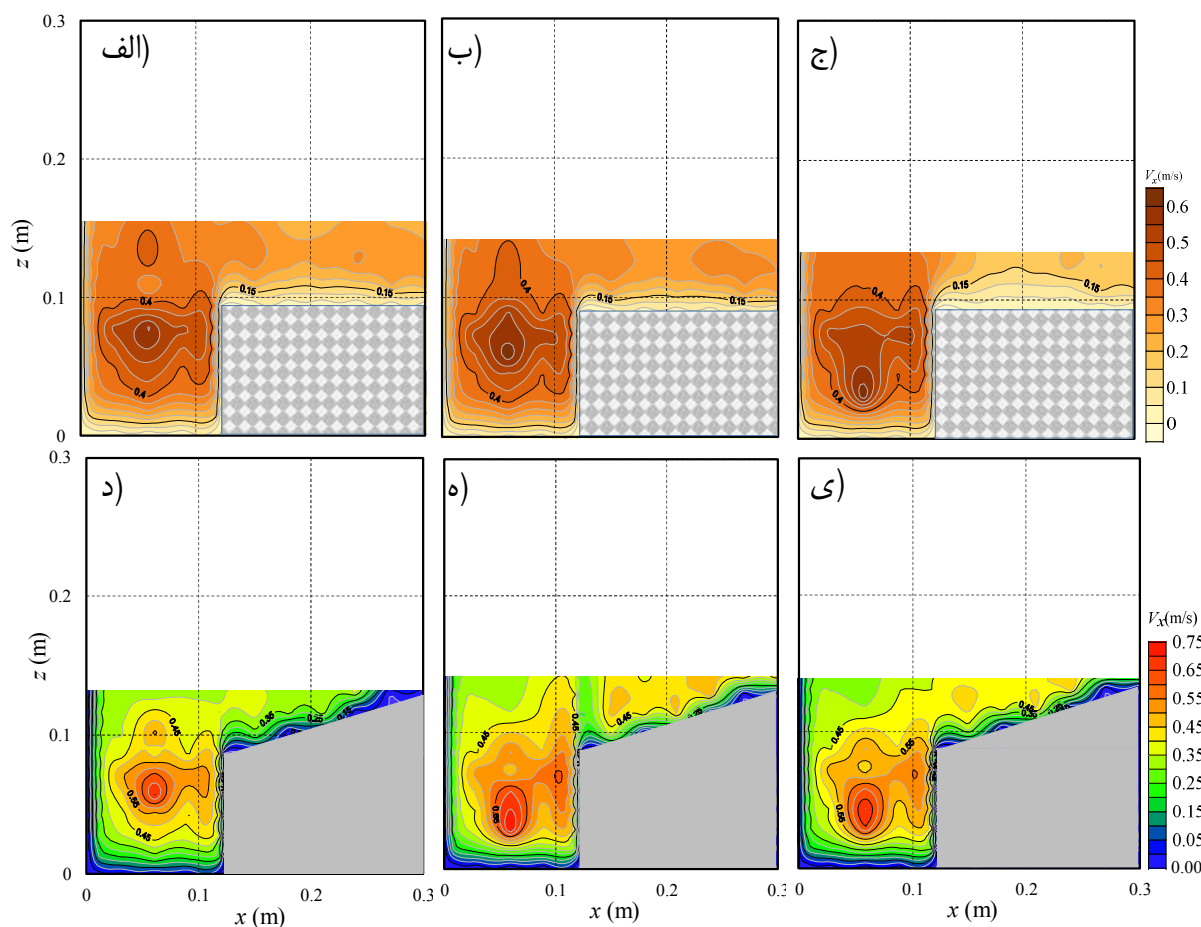
شکل ۱۰. روند تغییرات فرود وزنی در مقابل شیب جانبی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در صورتی که اگر آزمایش‌هایی با قطر، دبی و شیب طولی یکسان در نظر گرفته شود (به بردارهای قرمز رنگ توجه شود)، افزایش میزان فرود وزنی کمتری نسبت به سطح مقایسه قبل اتفاق خواهد افتاد. اگرچه شیب عرضی باعث افزایش آبستگي در کانال اصلی سیلاب‌دشت می‌شود. اما مقایسه‌ها بیان می‌کند که افزایش شیب طولی تأثیر بیشتری نسبت به افزایش شیب عرضی داشته است. پیش‌بینی می‌شود که افزایش شیب طولی کانال باعث تغییر پروفیل قائم سرعت افقی در مقاطع مختلف سیلاب‌دشت و کانال اصلی می‌شود. در ادامه به این مطلب به تفصیل اشاره خواهد شد. در نهایت، روند کلی تغییرات عدد فرود نشان داد، با افزایش عدد فرود، میزان عدد فرود وزنی نیز افزایش پیدا خواهد کرد.

بررسی تغییرات سرعت: در طول آزمایش‌ها، به‌ازای دبی ماکزیمم (بالاترین میزان آبستگي بر اساس نتایج به‌دست آمده)، با استفاده از سرعت‌سنج صوتی، سرعت در مقطع تعیین شده در شکل (۶)، (این مقطع در فاصله ۶ متری از ابتدای کانال در نظر گرفته شد تا جریان توسعه یافته شود و تأثیرات جریان‌های توربولانسی ابتدای کانال، از محاسبات حذف شود).

این مطلب بیانگر آن است که افزایش شیب جانبی سیلاب‌دشت، باعث افزایش میزان وزن رسوبات (افزایش عدد فرود وزنی) می‌شود.

تأثیر شیب عرضی و طولی: برای بررسی تأثیر شیب عرضی دیواره سیلاب‌دشت بر روند آبستگي رسوبات کف کانال، شکل (۱۰) ترسیم شد. همان‌طور که قابل مشاهده است، در محور افقی آزمایش‌های مختلف نمایش داده شده است و با توجه به راهنمای شکل به‌ازای قطر متوسط و شیب طولی یکسان، آزمایش‌هایی برای مقایسه در کنار یکدیگر ترسیم شدند. مقایسه‌ها نشان می‌دهد، با افزایش شیب طولی میزان فرود وزنی به‌صورت افزایش تغییر می‌کند. همچنین باید توجه داشت، با افزایش شیب طولی کانال افزایش فرود وزنی، (تابعی از وزن رسوبات) بیشتر تابع شیب طولی کانال است و این پارامتر وابستگی کمتری به شیب عرضی کانال دارد. برای درک این مطلب به منحنی آبی رنگ شکل (۱۰) توجه شود. اگر سری آزمایش‌ها با یک قطر متوسط در نظر گرفته شود، افزایش شیب طولی به‌مراتب تأثیر بیشتری در بالا بردن مقادیر وزنی و همین‌طور آبستگي بیشتر در کانال اصلی دارد.



شکل ۱۱. خطوط تراز سرعت طولی کانال در مقطع عرضی مدل مقطع مرکب: الف) آزمایش شماره ۴ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۲ و شیب جانبی سیلاب‌دشت صفر)، ب) آزمایش شماره ۱۶ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۴ و شیب جانبی سیلاب‌دشت صفر)، ج) آزمایش شماره ۲۴ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۶ و شیب جانبی سیلاب‌دشت صفر)، د) آزمایش شماره ۲۸ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۲ و شیب جانبی سیلاب‌دشت ۰/۵)، ه) آزمایش شماره ۴۰ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۴ و شیب جانبی سیلاب‌دشت ۰/۵) و ی) آزمایش شماره ۴۸ (شیب طولی برابر ۰/۰۰۶ و شیب جانبی سیلاب‌دشت ۰/۵) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

رخ می‌دهد درحالی که در روی سیلاب‌دشت منطقه‌ای با سرعت بالا نمایان است که البته مقدار حداکثر آن چندان زیاد نیست. نکته حائز اهمیت تغییر ماکزیمم سرعت در کانال اصلی به‌ازای تغییر شیب طولی و جانبی است. به‌همین دلیل با مقایسه سه شکل یاد شده می‌توان بیان کرد، در اثر افزایش شیب طولی ماکزیمم سرعت به سمت کف کانال اصلی تغییر موقعیت داده است. با تغییر موقعیت سرعت ماکزیمم طولی و نزدیک شدن به کف بستر، روند افزایشی در سرعت نزدیک به کف رخ می‌دهد. این امر می‌تواند باعث بالا بردن سرعت

اندازه‌گیری شد و به‌ازای شیب‌های طولی و جانبی مختلف سیلاب‌دشت و کانال اصلی در شکل (۱۱) نشان داده شدند. با توجه به شکل (۱۱-الف تا ۱۱-ج)، نتایج نشان می‌دهد، تغییرات سرعت طولی در صفحه اندازه‌گیری شده بین صفر تا ۰/۶۵ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. لازم به ذکر است، سرعت صفر در دیواره و کف سیلاب‌دشت و کانال اصلی رخ می‌دهد. همچنین در ادامه مشخص شد که دو ناحیه ماکزیمم سرعت به‌ازای شیب صفر دیوار سیلاب‌دشت، رخ می‌دهد. ماکزیمم سرعت در مرکز کانال اصلی سیلاب‌دشت

می‌رسد یکی از عوامل تأثیرگذار در افزایش آبشستگی با افزایش شیب طولی و عرضی این تغییر وضعیت سرعت ماکزیمم باشد. چرا که این امر باعث انتقال مومنت بیشتری آب به ذرات رسوبات کف می‌شود و این امر آبشستگی در طول کانال را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش شیب، مقدار عددی ماکزیمم سرعت افقی را در مقطع مورد بررسی افزایش می‌دهد. که در شکل (۱۲)، همان‌طور که قابل مشاهده است، این افزایش در سیلاب‌دشت تا مقدار ۳۰۰ درصد و در کانال اصلی تا ۴۳ درصد برآورد می‌شود.

رابطه ارائه شده برای برآورد رسوبات: با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار در پدیده آبشستگی در سیلاب‌دشت رابطه (۶)، با توجه به اعداد بی‌بعد ارائه شد. همچنین با استفاده از برازش روابط ریاضی بر داده‌های آزمایشگاهی بر پایه رگرسیون، این رابطه صحت‌سنجی شد. با استفاده از رابطه ارائه شده زیر، می‌توان میزان رسوبات شسته شده در کانال و سیلاب‌دشت مدل مربوطه به‌ازای شیب‌های عرضی صفر تا ۰/۵ را محاسبه کرد. لازم به ذکر است، در شکل (۱۳) میزان خطای این رابطه با استفاده از ۴۸ عدد آزمایش مورد ارزیابی قرار داده شد. در محور قائم این شکل، مقادیر محاسبه شده از اعداد هیدرولیکی استفاده شد و در نهایت فرود وزنی محاسبه شد. همچنین، در محور طولی این شکل مقادیر محاسبه شده از وزن رسوبات ارائه شد. در حالت ایده آل، این مقادیر باید برابر باشند. ولی چون برازش معادله و همچنین آزمایش‌ها دارای خطای قابل قبولی هستند. مقدار ضریب همبستگی این رابطه در حدود ۰/۸۸ به‌دست آمد. لازم به ذکر است، برای برازش این معادله از نرم‌افزار Mathematical استفاده شد.

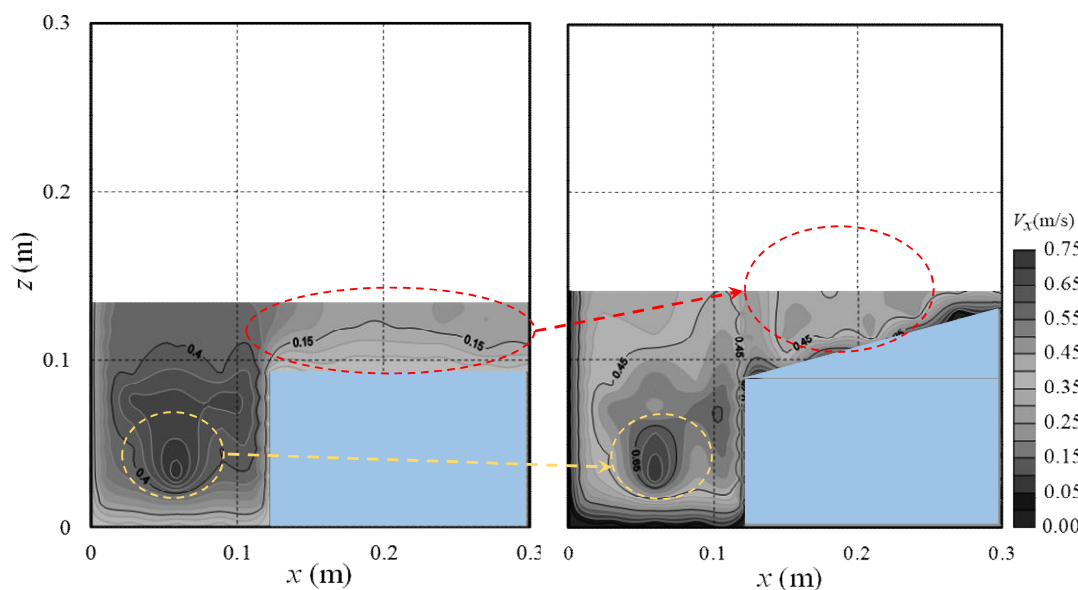
$$\left(\frac{W_{out} V_{avg}}{\gamma_s \sqrt{gho}^{3.5}}\right) = f(Fr, \frac{h_s}{h_o}, \frac{d_{50}}{h_o}, S_o, S_s) \quad (6)$$

$$\left(\frac{W_{out} V_{avg}}{\gamma_s \sqrt{gho}^{3.5}}\right) = [Fr]^{c_1} \left[\frac{h_s}{h_o}\right]^{c_2} \left[\frac{d_{50}}{h_o}\right]^{c_3} [S_o]^4 [S_s]^5 \quad (7)$$

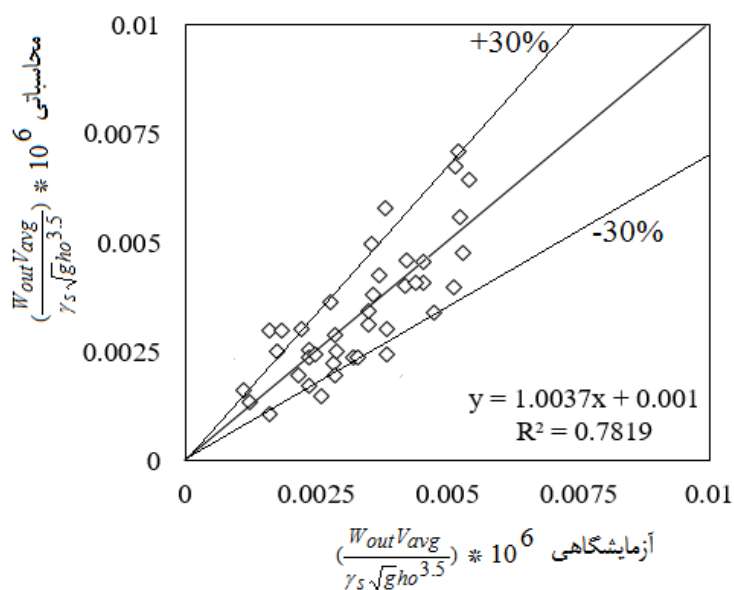
برشی جریان شود. به‌ازای افزایش این مقدار و تجاوز کردن سرعت برشی در کف کانال از سرعت آستانه ذرات رسوبی در کف شرایط مورد نیاز برای آبشستگی صورت می‌پذیرد. این مورد می‌تواند تأیید کند که با افزایش شیب طولی کانال اصلی، تغییراتی در پروفیل قائم سرعت طولی کانال رخ می‌دهد. این تغییرات باعث به‌وجود آمدن ماکزیمم سرعتی در نزدیکی کف بستر می‌شود. این امر در نهایت موجب افزایش آبشستگی در کانال اصلی می‌شود. در ادامه می‌توان نتیجه گرفت، تغییرات شیب طولی تأثیر مستقیمی بر موقعیت ماکزیمم سرعت طولی در کانال اصلی دارند و با افزایش شیب طولی این مقدار به‌سمت کف حرکت کرده و مقدارش افزایش پیدا می‌کند.

همچنین با توجه به شکل (۱۱-د تا ۱۱-ی)، مقایسه‌ها نشان می‌دهد، تغییرات سرعت طولی در صفحه اندازه‌گیری شده بین صفر تا ۰/۷۵ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. لازم به ذکر است، سرعت صفر در دیواره و کف سیلاب‌دشت و کانال اصلی رخ می‌دهد (همانند مدل قبلی). بررسی‌های اولیه سرعت در مدل با شیب جانبی ۰/۵ نشان می‌دهد، با افزایش شیب طولی کانال ماکزیمم سرعت طولی در کانال اصلی به‌سمت کف کانال تغییر مکان می‌دهد. درحالی که با افزایش شیب طولی، منطقه‌ای با سرعت ماکزیمم ۰/۵۲ متر بر ثانیه روی سیلاب‌دشت شیب‌دار تشکیل می‌شود. این مقدار در حالت شیب ۰/۰۰۲ برابر با ۰/۴۱ متر بر ثانیه است. رفتار پروفیل سرعت طولی به این صورت است که با افزایش شیب طولی، ماکزیمم سرعت به‌سمت کف کانال نزدیک می‌شود درحالی که ماکزیمم سرعت روی سیلاب‌دشت ایجاد می‌شود در شکل (۱۲) می‌توان این مقایسه‌ها را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد.

همچنین مقایسه‌ها به‌ازای بحرانی‌ترین حالت آزمایش‌ها (ماکزیمم دبی و ماکزیمم شیب طولی)، (شکل ۱۲)، نشان می‌دهد با افزایش شیب جانبی و طولی، ماکزیمم پروفیل سرعت به‌سمت کف کانال تغییر وضعیت می‌دهد. به‌نظر



شکل ۱۲. مقایسه پروفیل سرعت طولی کانال در مقطع عرضی مدل مقطع مرکب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۳. میزان ضریب همبستگی فرمول ارائه شده برای برآورد میزان رسوبات شسته شده در کانال اصلی

$$\left(\frac{W_{out} V_{avg}}{\gamma_s \sqrt{gh_o^{3.5}}}\right) = [Fr]^{c_1} \left[\frac{h_s}{h_o}\right]^{c_2} \left[\frac{d_{50}}{h_o}\right]^{c_3} [S_o]^{c_4} \left[\frac{b \cos \theta}{b}\right]^{c_5} \quad (\text{A})$$

ضرایب رابطه به صورت زیر ارائه می شود:

از آنجایی که شیب جانبی سیلاب دشت در بعضی آزمایش‌ها صفر بود، از نسبت طول وتر دیواره جانبی به حالت شیب صفر استفاده شد. (با توجه به شکل ۴-ب). با این رویکرد می توان، تأثیر شیب جانبی را در معادله اضافه کرد و از صفر شدن کلی معادله جلوگیری به عمل آید.

در نهایت معادله به صورت زیر ارائه شد:

در کانال مرکب میزان شسته شدن رسوبات و حجم انتقال رسوب افزایش پیدا می‌کند.

۳- با توجه به مقایسه آماری بین مدل‌های آزمایشگاهی و استفاده از نرم‌افزارهای آماری رابطه‌ای برای تخمین حجم رسوبات شسته شده در طول کانال داده شد.

۴- نتایج حاصل از برآزش معادله غیرخطی بر داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که برای تخمین میزان شسته شدن رسوبات، می‌توان از عدد فرود وزنی ارائه شده در این تحقیق استفاده کرد.

۵- داده‌های سرعت‌سنجی ADV می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای بررسی تأثیر تغییر پارامترهای فیزیکی مانند شیب جانبی کانال و میزان دبی جریان استفاده شود. نتایج نشان داد، با افزایش شیب جانبی محل ماکزیمم سرعت افقی به‌سمت کف کانال تغییر وضعیت خواهد داد. با بررسی آماری دیگر پارامترهای سرعت می‌توان تأثیر دیگر اجزای سرعت را بررسی کرد.

۶- نتایج نشان داد، به‌ازای بحرانی‌تر شدن جریان در کانال اصلی، میزان شسته شدن افزایش پیدا می‌کند. این روند با افزایش شیب جانبی، شدت بیشتری پیدا خواهد کرد.

$$\left(\frac{W_{out} V_{avg}}{\gamma_s \sqrt{gh} o^{3.5}}\right) = [Fr]^1 \left[\frac{h_s}{h_o}\right]^3 \left[\frac{d_{50}}{h_o}\right]^{0.001} [S_o]^{0.49} \left[\frac{b \cos \theta}{b}\right]^{0.05} \quad (9)$$

در شکل (۱۳) میزان همبستگی داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های محاسباتی ارائه شده است. این مقدار برابر با ۰/۷۹ است.

نتیجه‌گیری

در این بخش به نتایج حاصل از این تحقیق به‌صورت موردی اشاره شده است.

۱- نتایج نشان داد، با افزایش شیب طولی، میزان رسوبات شسته شده در کانال به‌صورت افزایشی تغییر می‌کند. همچنین مقایسه‌ها بین مدل با شیب جانبی صفر و ۵۰ درصد نشان داد، با افزایش شیب جانبی روند افزایش شسته شدن رسوبات نیز افزایش پیدا می‌کند. مقایسه‌ها نشان داد، تأثیر شیب طولی به مراتب بیشتر از شیب عرضی است.

۲- عدد فرود وزنی با استفاده از آنالیز ابعادی معرفی شد و مقایسه‌ها نشان داد با افزایش عدد فرود، عدد فرود وزنی نیز افزایش پیدا می‌کند. این بدان معناست با بحرانی‌تر شدن جریان

منابع مورد استفاده

- Ackers, P. 1992. Hydraulic design of two-stage channels. *Journal of Water Marine Engineering* 96: 247-257.
- Ackers, P. 1993. Flow formulae for straight two-stage channels. *Journal of Hydraulic Research* 31(4): 509-531.
- Bayley, P. B. 1995. Understanding large river: floodplain ecosystems. *Bio-Science* 45(3):153-158.
- Chen, Y. H., J. Mossa and K. K. Singh. 2020. Floodplain response to varied flows in a large coastal plain river. *Geomorphology* 354: 107035.
- Hamidifar. H. and M. Omid. 2013. Floodplain vegetation contribution to velocity distribution in compound channels. *Journal of Civil Engineering Urbanism* 3(6): 357-361.
- Hin. L. S., N. Bessaih, L. P. Ling, A. A. Ghani, N. A. Zakaria and M. Seng. 2008. A study of hydraulic characteristics for flow in equatorial rivers. *International Journal of River Basin Management* 6(3): 213-223.
- Gourevitch, J. D., N. K. Singh, J. Minot, K. B. Raub, D. M. Rizzo, B. C. Wemple and T. H. Ricketts. 2020. Spatial targeting of floodplain restoration to equitably mitigate flood risk. *Global Environmental Change* 61: 102050.
- Karamisheva, R., J. F. Lyness, W. R. C. Myers and J. B. Cassells. 2005. Improving sediment discharge prediction for overbank flows. *International Civil Engineers-Water Management* 158(1): 17-24.
- Karamisheva. R. D., J. F. Lyness, W. R. C. Myers, J. B. C. Cassells and J. O'Sullivan. 2006. Overbank flow depth prediction in alluvial compound channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* 159(3):195-205.
- Lambert M. F. and W. R. C. Myers. 1998. Estimating the discharge capacity in straight compound channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Water, Maritime & Energy* 130(2): 84-94.

11. Martin, L. A. and R. C. Myers. 1991. Measurement of overbank flow in a compound river channel. *Journal of Institution Water Environ Management* 3(4): 645-657.
12. Mulahasan, S., T. Stoesser and R. McSherry. 2017. Effect of floodplain obstructions on the discharge conveyance capacity of compound channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 143(11): 1-11.
13. Nehal, L., Z. M. Yan, J. H. Xia and A. Khaldi. 2012. Flow through non-submerged vegetation. 16th International Water Technology Conference 16, IWTA, Alexandria, Egypt.
14. Tinoco, R. O. and E. A. Cowen. 2013. The direct and indirect measurement of boundary stress and drag on individual and complex arrays of elements. *Experiments in Fluids* 54(1509): 1-16.
15. Wormleaton, P. R., J. Allen and P. Hadjipanos. 1982. Discharge assessment in compound channel flow. *Journal of Hydraulic Division* 108(10): 975-993.
16. Zahiri, A., A. A. Deghani and A. Hezarjeribi. 2012. Determination of stagedischarge curve for laboratory and river compound channels applying genetic algorithm. *Journal of Water and Soil Conservation* 19(2): 179-192. (In Farsi).

Effect of Longitudinal and Side Slope of Flood Plain on Sediment Erosion in Compound Channel

A. Arab and K. Esmaili ^{1*}

(Received: June 18-2020 ; Accepted: September 19-2020)

Abstract

The study of floods has always been important for researchers due to the great loss of life and property. Investigation of flood bed can provide appropriate solutions to reduce this phenomenon to managers and researchers. In this research, the compound channel (with flood plain on one side of the main channel) Been paid, Therefore, two experimental models of compound channel in laboratory flume were examined by considering dimensional analysis. With the goal Investigation of lateral slope of flood wall in laboratory model In the first model, transverse slope 0 And in the second model, a value equal to 50% Was considered. Also in order to investigate the effect of longitudinal slope of river bed sediments Longitudinal slope in three steps 0.00 2, 0.004 and 0.006 Was changed. Examining the ADV speedometer data, the results showed that with increasing the longitudinal and transverse slope (slope of the flood wall) of the channel, the maximum longitudinal velocity changes to the floor of the channel. In order to investigate the effect of average sediment diameter on the scouring process during experiments Mm was used. The results showed that increasing the longitudinal and transverse slope had a great effect on increasing the volume of washed sediments 3 and 0.9 of sandy sediments with a diameter Along the canal and with the increase of these longitudinal and transverse slopes in the channel, more sediment transport volume occurs. In the following, using Investigation of dimensionless numbers obtained from dimensional analysis, dimensionless weight landing number was introduced to evaluate this value value of other hydraulic parameters and Was introduced. A relationship based on nonlinear regression with correlation coefficient Acceptable was introduced at around 0.88.

Keywords: compound channel, flood plain, longitudinal slope, sediment, side slope, Non-liner regression, Analytical solution.

1. Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
Corresponding author, Email: esmaili@um.ac.ir