

بررسی آزمایشگاهی تاثیر شکل بستر کانال بر تغییرات پروفیل سطح آب در سرریزهای جانبی

سید علی ایوبزاده^۱، مهدی حبیبی^{۲*}، محمد رستمی^۳، مجتبی صانعی^۴ و محمد فرامرزی^۵
^۱دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ^۳استادیار، پژوهشکده
حفاظت خاک و آبخیزداری و ^۴دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۶

چکیده

سرریزهای جانبی به شکل وسیعی برای انحراف آب از رودخانه‌ها به کار می‌روند. اغلب رودخانه‌های طبیعی با بستر متحرک هستند که ته‌نشینی رسوبات در امتداد سرریز جانبی مشکلاتی را در انحراف آب ایجاد می‌کند. مطالعات بر روی یک فلوم آزمایشگاهی با عرض ۰/۹ متر، طول ۱۰ متر، سه مقدار طول سرریز جانبی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ متر، ارتفاع سرریز ۰/۰۸ متر و شیب طولی کانال ۰/۰۰۱ انجام شده است. تغییرات پروفیل سطح آب بر روی سرریز جانبی به ازاء مقادیر مختلف عدد فرود جریان در بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصله از آزمایش‌ها بر روی فلوم با بستر ثابت و همچنین، روش تحلیلی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد، پروفیل سطح آب بر روی سرریز جانبی تحت تاثیر شکل بستر تشکیل شده در جنب سرریز بوده و در نتیجه در شرایط جریان بر روی سرریز جانبی موثر است. مقادیر دبی جریان عبوری و تغییرات پروفیل سطح آب سرریز جانبی برای کانال با بستر ثابت همبستگی خوبی را با روش حل تحلیلی نسبت به مقادیر مشاهداتی به دست آمده از جریان در کانال با بستر متحرک دارد. خطای نسبی نسبت دبی جریان محاسبه شده برای کانال‌های با بستر ثابت برابر با ۰/۱۴ درصد بوده، در حالی که این مقدار برای کانال‌های با بستر متحرک ۰/۵۴ درصد می‌باشد. این مقادیر برای تغییرات نسبت انرژی در امتداد سرریز جانبی به ترتیب برابر با ۱/۲۸ و ۱/۳۷ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: فرم بستر، فلوم، کانال با بستر متحرک، مدل رانج-کوتا، مهندسی رودخانه

مقدمه

اساسی در کانال‌های انتقال و توزیع آب و سیستم‌های آبیاری هستند. جریان در سرریزهای جانبی مورد استفاده در انحراف آب از نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در کانال اصلی است. تحقیقات متعددی بر روی رفتار هیدرولیکی جریان در سرریزهای جانبی به‌ویژه آبگذری سرریزهای جانبی و تعیین ضریب آبگذری انجام شده است. بعضی از مطالعات انجام شده

سرریز جانبی سازه‌ای است که برای انحراف آب از یک کانال اصلی به کانالی جانبی زمانی که تراز سطح آب در داخل کانال اصلی از یک مقدار معینی بیشتر می‌شود، استفاده می‌شود. این سازه به شکل وسیعی در کاربردهای مهندسی هیدرولیک و محیط زیست استفاده می‌شود. سرریزهای جانبی یکی از بخش‌های

پروفیل سطح آب در امتداد سرریز به شکل زیر در خواهد آمد.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{4}{3} \times \frac{C_D}{b} \times \frac{\sqrt{(E-h)(h-P)^3}}{3h-2E} \quad (3)$$

که در آن، b عرض کانال اصلی (متر) و E مقدار انرژی (متر) در هر مقطع از کانال است.

امیراگلو و همکاران با انجام ۸۴۳ مورد آزمایش آزمایشگاهی در یک مدل فیزیکی در شرایط جریان زیر بحرانی علاوه بر تعیین معادله‌ای برای ضریب جریان سرریزهای جانبی با مقطع مستطیلی شکل، پروفیل‌های سطح آب در امتداد سرریز جانبی را نیز مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. آن‌ها مطالعات آزمایشگاهی خود را به ازاء پنج طول سرریز مستطیلی (۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۵) متر انجام دادند و اقدام به بررسی پروفیل‌های سطح آب را در اعداد فرود مختلف جریان در مقطع بالادست سرریز نمودند (Emiroglu و همکاران، ۲۰۱۱).

در زمینه مطالعات عددی حل معادله دینامیکی پروفیل سطح آب بر روی سرریزهای جانبی وطن‌خواه یک روش حل تحلیلی برای پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی در کانال‌های با مقطع مثلثی ارائه نمود (Vatankhah، ۲۰۱۲). همچنین، AL-Taeه با استفاده از روش حل عددی رانج-کوتای مرتبه چهار اقدام به حل معادله تحلیلی جریان از روی سرریزهای جانبی شیب‌دار نمود. وی برای تعیین ضریب جریان سرریز جانبی از معادلات مربوط به ضریب جریان در مطالعات قبلی استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده از روش عددی را با مقادیر به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی نیز مورد مقایسه قرار داد (AL-Taeه، ۲۰۱۱).

Paris و همکاران (۲۰۱۲) امکان استفاده از فرضیه De Marchi برای سرریزهای جانبی را در حالت کانال با بستر متحرک در یک فلوم آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آن‌ها در مطالعات خود اظهار داشتند که تغییرات تراز بستر شکل گرفته در دهانه سرریز به دلیل ته‌نشینی رسوبات باعث افزایش در تراز سطح آب و در نتیجه دبی ورودی به سرریز جانبی می‌شود. آن‌ها برای اصلاح فرضیه De Marchi

شامل Haddadi و Rahimpour (۲۰۱۲)، Rosier و همکاران (۲۰۰۹)، Subramanya و Awasthy (۱۹۷۲)، Borghei و همکاران (۱۹۹۹)، Bilhan و همکاران (۲۰۱۰)، Swamee (۱۹۸۸)، Honar و همکاران (۲۰۱۰)، Varjavand و همکاران (۲۰۱۰)، Kabiri Samani و همکاران (۲۰۱۱) و Aghayari و Honar (۲۰۰۸) می‌باشد.

از اولین و مهمترین معادلات مربوط به جریان در سرریزهای جانبی معادله دبی جریان در واحد طول سرریز است که اولین بار توسط De Marchi ارائه شد. De Marchi با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز معادله دبی جریان در واحد طول سرریز را به صورت زیر ارائه نمود (Bilhan و همکاران، ۲۰۱۰، De Marchi، ۱۹۳۴).

$$-\frac{dQ}{ds} = q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (h-p)^{3/2} \quad (1)$$

که در آن، Q دبی جریان در کانال اصلی (متر مکعب بر ثانیه)، S فاصله از ابتدای سرریز (متر)، $\frac{dQ}{ds}$ دبی در واحد عرض سرریز جانبی (متر مکعب بر ثانیه بر متر)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)، h عمق جریان در مقابل سرریز اندازه‌گیری شده در کف کانال در محور مرکزی کانال (متر)، p ارتفاع سرریز جانبی و C_d ضریب دبی جریان سرریز جانبی مستطیلی شکل می‌باشد (شکل ۱).

معادله دینامیکی جریان متغیر مکانی از روی سرریز جانبی با کاهش دبی جریان با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز به شکل زیر است.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\left[\left(\frac{Q}{g.A^2} \right) \times \left(-\frac{dQ}{dx} \right) \right]}{1 - \left(\frac{\alpha.Q^2.B}{g.A^3} \right)} = \frac{\left[Qh \times \left(-\frac{dQ}{ds} \right) \right]}{gb^2h^3 - Q^2} \quad (2)$$

که در آن، $\frac{dh}{dx}$ تغییرات تراز سطح آب، A سطح مقطع جریان (متر مربع) و b عرض کانال اصلی (متر) می‌باشد. با قرار دادن معادله (۱) و همچنین، به جای مقدار شدت جریان در هر مقطع از کانال معادل آن $Q = Bh\sqrt{2g(E-h)}$ در معادله (۲) معادله تغییرات

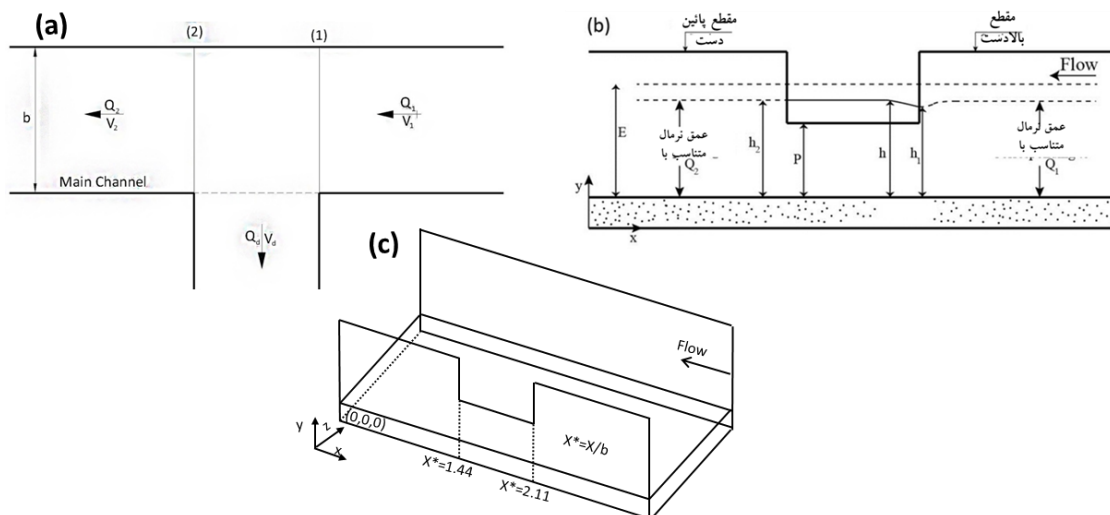
است. آزمایش‌ها به ازاء دبی‌های جریان مختلف در کانال اصلی انجام شد. تمامی آزمایش‌های آزمایشگاهی برای جریان ماندگار زیر بحرانی (رژیم پائینی) و یکنواخت در کانال اصلی انجام شد و تامین دبی جریان با استفاده از دو پمپ مجزا صورت گرفت. جداره‌های فلوم آزمایشگاهی و سرریز جانبی از جنس پلاکسی گلاس ساخته شد.

برای اندازه‌گیری دبی عبوری از سرریز جانبی (Q_d) ، یک سرریز لبه تیز مثلثی در انتهای کانال تخلیه تعبیه شد و همچنین، برای اندازه‌گیری دبی جریان در انتهای کانال اصلی (Q_2) ، یک سرریز لبه تیز مستطیلی در انتهای کانال اصلی تعبیه شد. هر دو سرریز قبل از استفاده کالیبره و منحنی دبی اشل آن‌ها استخراج شد.

تغییرات انرژی را با لحاظ نمودن تغییرات تراز بستر در امتداد سرریز جانبی در معادله لحاظ نموده و بر اساس آن معادله جدیدی برای استفاده در کانال‌های با بستر متحرک ارائه نمودند.

مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی پژوهش حاضر در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور انجام شد. آزمایش‌ها بر روی فلومی به عرض ۹۰ سانتی‌متر، طول ۱۰ متر، سه سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز با طول‌های ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۳ متر، ارتفاع سرریز جانبی ۰/۰۸ متر و شیب کانال اصلی ۰/۰۰۱ انجام شد. سرریز جانبی در جناح چپ کانال اصلی و در فاصله هشت متری از ابتدای بالادست کانال اصلی واقع شده



شکل ۱- شماتیک سرریز جانبی با مقطع مستطیلی (a) برش طولی، (b) پلان و (c) موقعیت سرریز

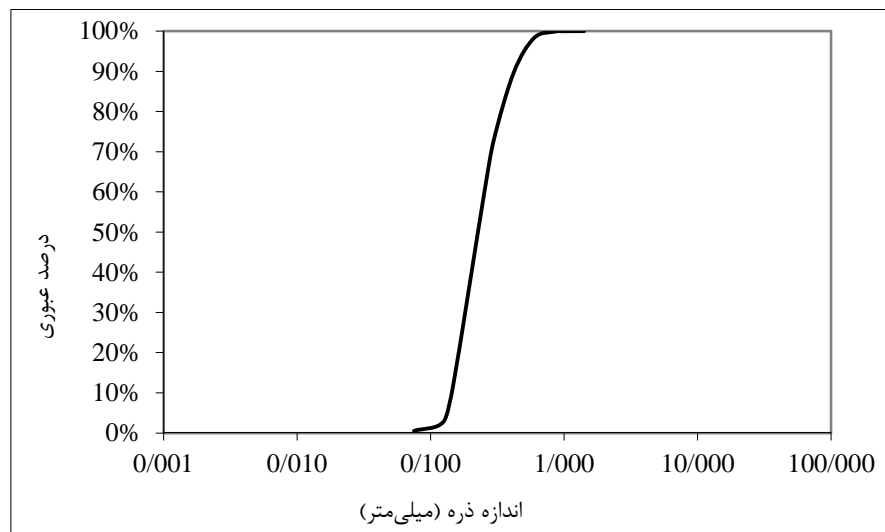
اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی طی دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول آزمایش‌ها برای یک کانال با بستر متحرک انجام گرفت. پارامترهای مورد بررسی در مطالعات شامل عدد فرود جریان در مقطع بالادست سرریز جانبی (Fr_1) ، نسبت طول سرریز جانبی به عرض کانال اصلی $(\frac{L}{b})$ ، نسبت ارتفاع سرریز جانبی به عمق جریان در مقطع بالادست سرریز جانبی $(\frac{P}{h_1})$ ، نسبت اندازه میانه دانه‌های رسوبی به عمق جریان در مقطع بالادست سرریز $(\frac{d_{50}}{h_1})$ و نسبت طول سرریز به عمق جریان در مقطع بالادست سرریز $(\frac{L}{h_1})$ می‌باشد.

در انتهای کانال اصلی دریچه کنترل کننده تراز سطح آب برای تامین جریان یکنواخت و کنترل عمق جریان در کانال اصلی تعبیه شد.

رسوبات مورد استفاده به‌عنوان رسوبات بستر در مطالعات آزمایشگاهی از جنس سیلیس و با اندازه میانه ذرات برابر با ۰/۲۳ میلی‌متر می‌باشد. رسوبات برای آزمایش‌ها جریان در کانال با بستر متحرک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف کانال اصلی قرار داده شد. در هر مرحله از آزمایش رسوبات با شیب ۰/۰۰۱ در کف کانال واقع شد. منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است.

به شدت جریان در کانال اصلی از ۶۰ تا ۱۸۰ دقیقه متغیر بود.

علاوه بر این آزمایش‌ها به ازاء دبی‌های مختلف جریان در کانال اصلی انجام شد. مدت زمان آزمایش بستگی



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی

جانبی مورد استفاده قرار گرفت. از آن جایی که این روش دارای دقت مرتبه چهار می‌باشد، بنابراین می‌تواند به‌عنوان روش مناسب در حل معادلات دیفرانسیلی استفاده شود. معادلات مربوط به این روش عبارتند از (AL-Tae, ۲۰۱۱):

$$\frac{dh}{dx} = f(x, h), h(0) = h_1 \quad (4)$$

$$h_{i+1} = h_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)\Delta x \quad (5)$$

که در آن، h_i تراز سطح آب در امتداد سرریز جانبی در گره i ام، Δx فاصله بین دو گره و k_1 الی k_4 ضرایب ثابت هستند که به روش زیر تعیین می‌شوند.

$$k_1 = f(x_i, h_i) \quad (6)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}\Delta x, h_i + \frac{1}{2}k_1\right) \quad (7)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}\Delta x, h_i + \frac{1}{2}k_2\right) \quad (8)$$

$$k_4 = f(x_i + \Delta x, h_i + k_3) \quad (9)$$

با به‌کارگیری روش حل عددی رانج-کوتای مرتبه چهار، معادله دیفرانسیلی تغییرات پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی (معادله ۳) تغییرات پروفیل سطح آب برای تمامی آزمایش‌ها انجام شده، تعیین شد. برای تعیین مقدار ضریب دبی جریان سرریز

در مرحله دوم رسوبات کف کانال اصلی برداشته شد و سپس با شیب ۰/۰۰۱ از جنس بتن به‌صورت کانال با بستر ثابت ساخته شد. تمامی آزمایش‌هایی که در مرحله کانال با بستر متحرک انجام گرفت، در این مرحله نیز تکرار شد.

در هر دو مرحله از آزمایش‌ها و در انتهای هر آزمایش تغییرات پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی و مرکز کانال اصلی، عدد فرود جریان در مقطع بالادست سرریز جانبی، دبی عبوری از سرریز جانبی، دبی جریان در انتهای کانال اصلی، عمق جریان در مرکز کانال اصلی در محل سرریز جانبی و تراز بستر در امتداد سرریز جانبی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ترازهای سطح آب و بستر کانال با استفاده از یک دستگاه پروفایلر الکترومغناطیس خودکار و برداشت تراز آب بر روی سرریزهای اندازه‌گیری دبی جریان در کانال تخلیه و کانال اصلی با استفاده از دستگاه برداشت تراز آب به‌صورت ثابت انجام شد.

مدل عددی رانج-کوتای مرتبه چهارم: یکی از اهداف مورد انتظار در این پژوهش بررسی تاثیر شکل بستر شکل گرفته در اطراف سرریز جانبی بر جریان از روی سرریز جانبی می‌باشد. بدین منظور از روش حل عددی رانج-کوتای مرتبه چهارم برای حل معادله دیفرانسیلی تغییرات پروفیل سطح آب در سرریز

(RMSE) و خطای مطلق میانگین (MAE) با استفاده از معادلات زیر محاسبه و تعیین شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{di}^{Observed} - Q_{di}^{Calculated})^2} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{di}^{Observed} - Q_{di}^{Calculated}| \quad (12)$$

نتایج و بحث

برای هر یک از آزمایش‌های آزمایشگاهی پارامترهای بدون بعد مورد نظر تعیین شد. مشخصات تعدادی از آزمایش‌ها برای وضعیت کانال با بستر متحرک و کانال با بستر ثابت به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جانبی از معادله ارائه شده توسط Bilhan و همکاران استفاده شد (Bilhan و همکاران، ۲۰۱۰).

$$C_D = \left[0.662 + \left(0.307 + 0.119 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{7.135} + 0.241 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.413} + 0.004 \left(\frac{L}{h_1} \right)^{0.827} + 0.218 F_1^{2.338} \right)^{6.164} \right]^{2.472} \quad (10)$$

جهت بررسی و مقایسه نتایج روش حل عددی با نتایج داده‌های مشاهداتی در کانال با بستر متحرک و همچنین، کانال با بستر ثابت برای دبی عبوری از سرریز جانبی، مقادیر خطای جذر میانگین مربعات

جدول ۱- مشخصات تعدادی از آزمایش‌ها در کانال با بستر متحرک

L/h ₁	P/h ₁	d ₅₀ /h ₁	Fr ₁	L/b	Q _d /Q ₁	Test NO
۵/۰۱	۰/۶۷	۰/۰۰۱۹	۰/۲۶۷	۰/۶۷	۰/۲۱۰	M_A01
۵/۲۲	۰/۷۰	۰/۰۰۲۰	۰/۳۱۰	۰/۶۷	۰/۲۰۳	M_A02
۵/۰۹	۰/۶۸	۰/۰۰۲۰	۰/۳۲۱	۰/۶۷	۰/۲۰۵	M_A03
۳/۴۴	۰/۶۹	۰/۰۰۲۰	۰/۳۳۸	۰/۴۴	۰/۱۲۵	M_B01
۳/۶۲	۰/۷۲	۰/۰۰۲۱	۰/۳۱۳	۰/۴۴	۰/۱۱۷	M_B02
۳/۴۰	۰/۶۸	۰/۰۰۲۱	۰/۳۹۵	۰/۴۴	۰/۱۲۵	M_B03
۱/۷۴	۰/۶۹	۰/۰۰۲۰	۰/۳۰۰	۰/۲۲	۰/۰۶۸	M_C01
۱/۷۷	۰/۷۱	۰/۰۰۲۰	۰/۲۶۵	۰/۲۲	۰/۰۶۳	M_C02
۱/۷۵	۰/۷۰	۰/۰۰۲۰	۰/۲۷۰	۰/۲۲	۰/۰۶۸	M_C03

جدول ۲- مشخصات تعدادی از آزمایش‌ها در کانال با بستر ثابت

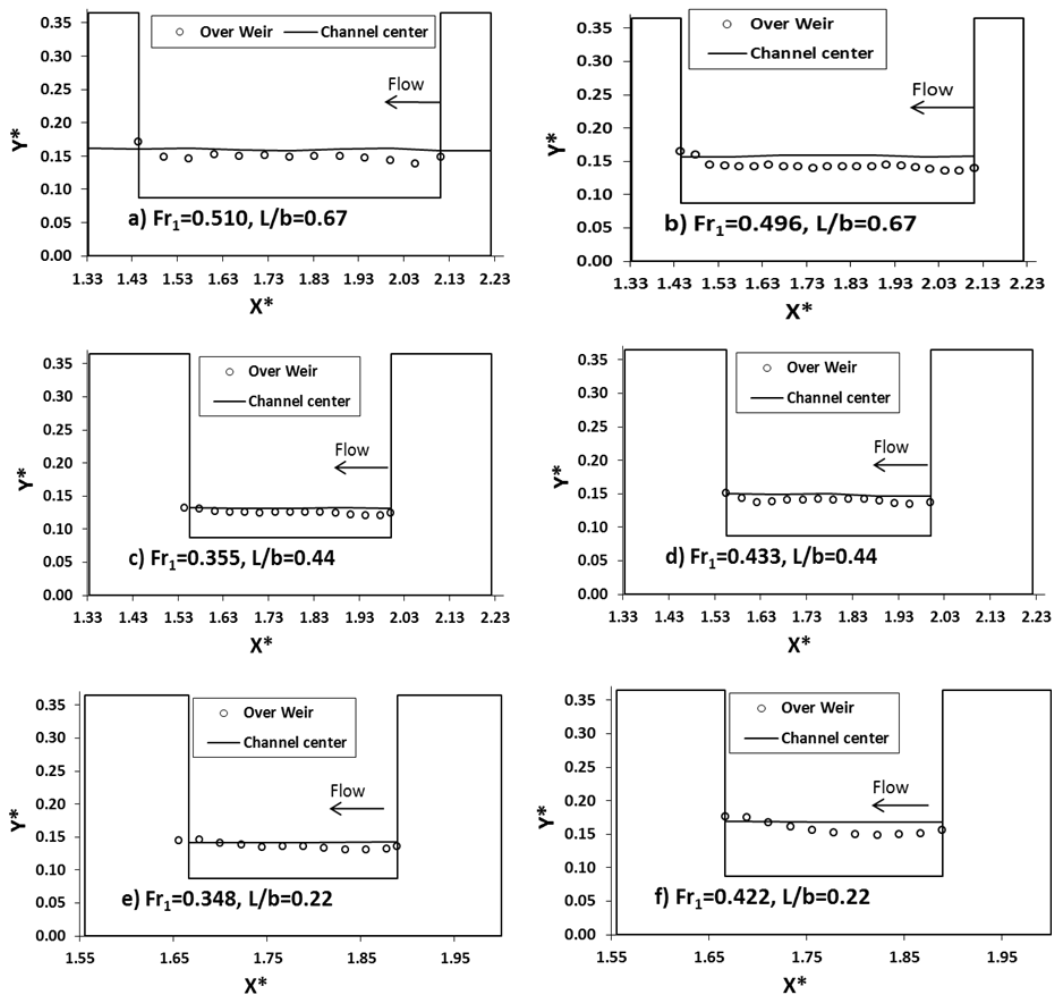
L/h ₁	P/h ₁	d ₅₀ /h ₁	Fr ₁	L/b	Q _d /Q _c	Test NO
۱/۶۳	۰/۶۵	۰/۰۰۱۹	۰/۲۹۲	۰/۲۲	۰/۰۷۳	R_C01
۱/۵۸	۰/۶۳	۰/۰۰۱۸	۰/۳۱۶	۰/۲۲	۰/۰۷۲	R_C02
۱/۵۴	۰/۶۲	۰/۰۰۱۸	۰/۳۳۷	۰/۲۲	۰/۰۷۳	R_C03
۵/۱۱	۰/۶۸	۰/۰۰۲۰	۰/۳۰۱	۰/۶۷	۰/۱۸۹	R_A01
۵/۰۰	۰/۶۷	۰/۰۰۱۹	۰/۳۳۲	۰/۶۷	۰/۱۹۳	R_A02
۴/۹۲	۰/۶۶	۰/۰۰۱۹	۰/۳۵۱	۰/۶۷	۰/۱۹۱	R_A03
۴/۸۳	۰/۶۴	۰/۰۰۱۹	۰/۳۶۹	۰/۶۷	۰/۱۹۳	R_A04
۳/۶۲	۰/۷۲	۰/۰۰۲۱	۰/۲۱۲	۰/۴۴	۰/۱۳۳	R_C01
۳/۵۰	۰/۷۰	۰/۰۰۲۰	۰/۲۴۰	۰/۴۴	۰/۱۳۳	R_C02
۳/۴۳	۰/۶۹	۰/۰۰۲۰	۰/۲۶۰	۰/۴۴	۰/۱۳۷	R_C03

بستر ثابت تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مربوط به تغییرات پروفیل سطح آب به ازاء مقادیر مختلف عدد فرود جریان در مقطع بالادست سرریز

تغییرات پروفیل سطح آب به دست آمده از آزمایش‌های آزمایشگاهی و همچنین، روش حل عددی برای هر دو حالت کانال با بستر متحرک و کانال با

به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در اشکال فوق از دو پارامتر بدون بعد $X^* = \frac{x}{b}$ و $Y^* = \frac{h}{b}$ استفاده شده است که x معرف فاصله طولی سرریز از مبدا مختصات و h معرف تراز می‌باشد.

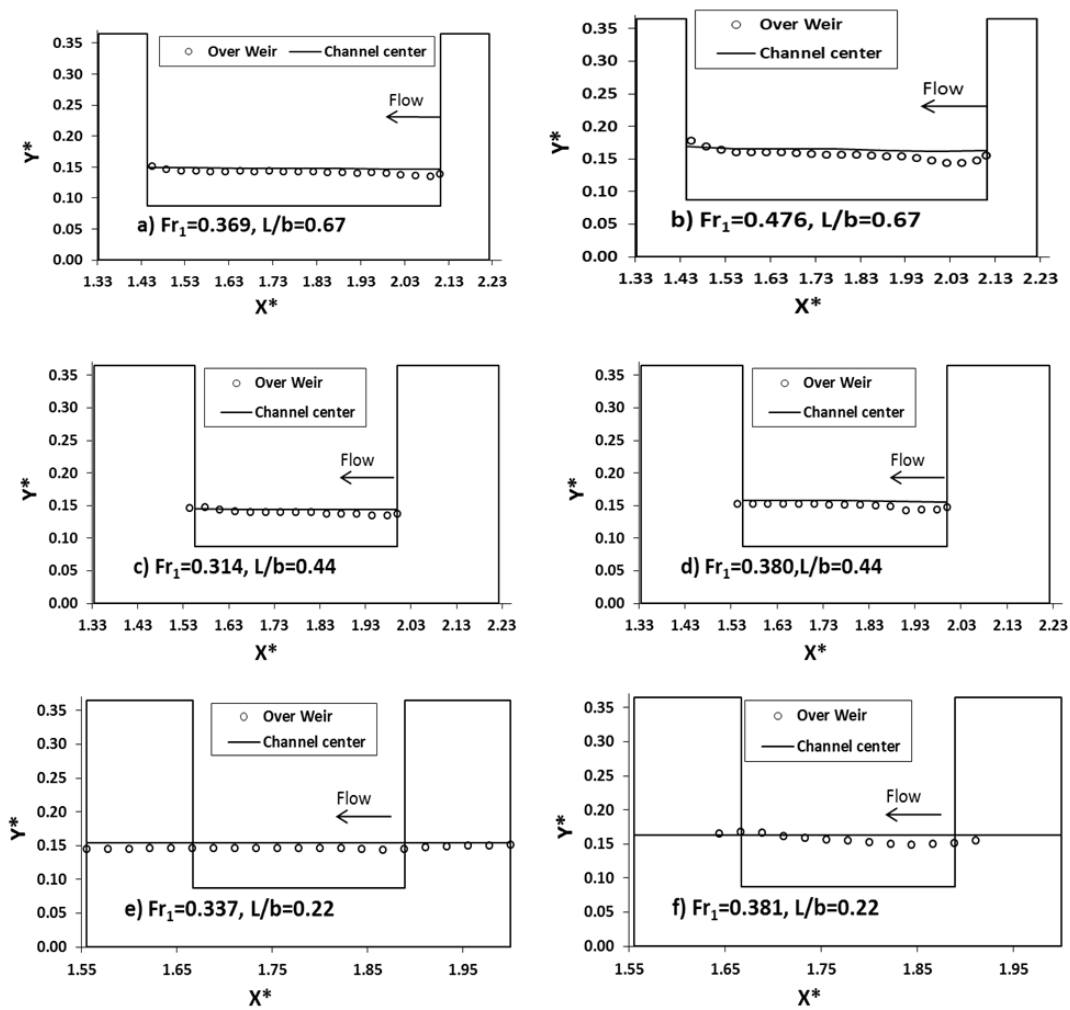
جانبی و دیگر پارامترهای بدون بعد مورد بررسی تعیین و تغییرات آن‌ها بر روی نمودار ترسیم شد. برخی از نتایج به دست آمده برای تغییرات پروفیل سطح آب در دو حالت کانال با بستر متحرک و کانال با بستر ثابت به دست آمده از روش آزمایشگاهی



شکل ۳- تغییرات پروفیل سطح آب روی سرریز و مرکز کانال برای کانال با بستر متحرک به دست آمده از روش آزمایشگاهی در تعدادی از آزمایش‌ها، (a) Fr₁=0.510 (b) Fr₁=0.496 (c) Fr₁=0.355 (d) Fr₁=0.433 (e) Fr₁=0.348 (f) Fr₁=0.422

کانال اصلی و افزایش زبری کف کانال باعث ایجاد نوسانات (شکل ۳) در تراز سطح آب در امتداد سرریز جانبی می‌شود. بنابراین نتایج به دست آمده از حل عددی معادله De Marchi که برای کانال‌های با بستر ثابت ارائه شده است، به نتایج به دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی در کانال با بستر ثابت نزدیک‌تر و هم‌خوانی بیشتری دارد.

از آنجایی که معادله ارائه شده توسط De Marchi (معادله ۱) برای حالت کانال با بستر ثابت و با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز ارائه شده است، مطابق با نتایج به دست آمده در مقایسه تغییرات پروفیل سطح آب، نتایج روش حل عددی معادله مذکور به نتایج مشاهداتی در کانال ثابت نزدیک‌تر است. تهنشینی رسوبات در دهانه سرریز جانبی و فرسایش در بعضی از نقاط امتداد سرریز جانبی در کف



شکل ۴- تغییرات پروفیل سطح آب روی سرریز و مرکز کانال برای کانال با بستر ثابت به دست آمده از روش آزمایشگاهی در تعدادی از آزمایش‌ها (a) $Fr_1=0.369$ (b) $Fr_1=0.476$ (c) $Fr_1=0.314$ (d) $Fr_1=0.380$ (e) $Fr_1=0.337$ (f) $Fr_1=0.381$

برای بررسی تاثیر شکل بستر در اطراف سرریز جانبی در کانال‌های با بستر متحرک بر وضعیت جریان در روی سرریز جانبی، دبی جریان ورودی به سرریز برای تمامی آزمایش‌ها انجام گرفته با استفاده از روش حل عددی محاسبه شد و با مقادیر دبی جریان مشاهده شده در آزمایشگاه مورد مقایسه قرار گرفت. با برآزش مقادیر نسبت دبی جریان به دست آمده از روش عددی و نتایج آزمایشگاهی برای هر دو حالت کانال با بستر ثابت و کانال با بستر متحرک (شکل‌های ۷ و ۸)، مشخص شد، نتایج حل عددی روش تحلیلی به نتایج به دست آمده از جریان در کانال با بستر ثابت نزدیک‌تر و هم‌خوانی بیشتری دارد. همان‌گونه که ذکر شد به دلیل تاثیر فرم شکل گرفته در اطراف سرریز جانبی

علاوه بر تعیین تغییرات پروفیل سطح آب، تغییرات نسبت دبی عبوری از سرریز جانبی در طول سرریز نیز برای روش عددی و مطالعات آزمایشگاهی محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت. از آنجائی که دبی عبوری از روی سرریز جانبی تابع تراز آب بر روی آن است، لذا مطابق با تغییرات پروفیل سطح آب به دست آمده، برای جریان در حالت کانال با بستر متحرک نیز تغییرات دبی عبوری با نوسان همراه بوده و دارای اختلاف بیشتری با روش حل تحلیلی در مقایسه با جریان در کانال با بستر ثابت می‌باشد. شکل‌های ۵ و ۶ نتایج به دست آمده در تعدادی از آزمایش‌های آزمایشگاهی و مقایسه با نتایج روش عددی برای هر دو حالت نشان داده شده است.

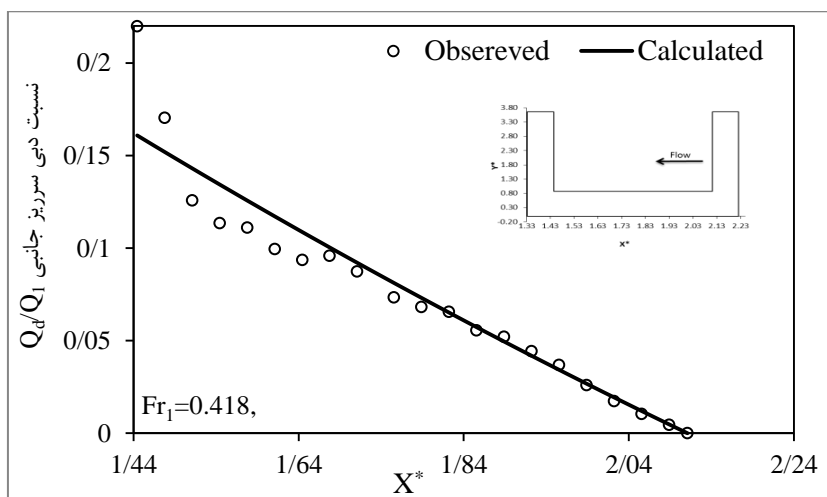
تغییرات انرژی جریان در امتداد سرریز جانبی، تغییرات انرژی مخصوص در طول سرریز برای هر دو حالت کانال با بستر متحرک و ثابت به دست آمد که این تغییرات در شکل‌های ۹ و ۱۰ به صورت نسبت انرژی مخصوص در طول سرریز (E) به انرژی مخصوص در مقطع بالادست سرریز جانبی (E_1) ارائه شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که انرژی مخصوص در امتداد سرریز جانبی برای وضعیت کانال با بستر ثابت تقریباً ثابت بوده و تغییرات زیادی ندارد و لذا استفاده از معادله De Marchi در این گونه کانال‌ها قابل قبول باشد. ولیکن برای کانال‌های با بستر متحرک تغییرات انرژی جریان با نوسانات زیادی به دلیل تاثیر شکل بستر اطراف سرریز جانبی بر شرایط جریان اطراف سرریز جانبی قابل ملاحظه است.

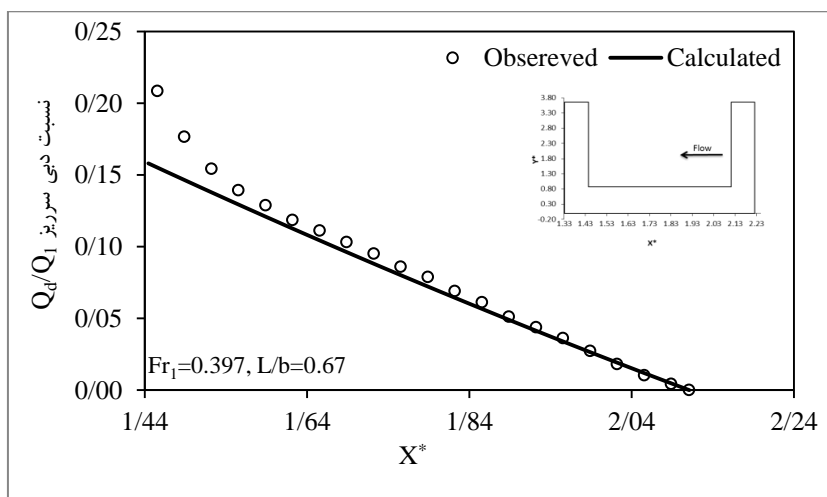
و تاثیر در شرایط هیدرولیکی جریان در امتداد سرریز جانبی است.

علاوه بر این مقادیر خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای مقادیر نسبت دبی جریان سرریز به دست آمده در کانال با بستر متحرک برابر با $3/16$ درصد می‌باشد، در حالی که این مقدار برای کانال با بستر ثابت به میزان $0/89$ درصد می‌باشد. همچنین، مقدار خطای مطلق میانگین برای مقادیر دبی جریان در کانال با بستر متحرک برابر با $2/69$ درصد و برای جریان در کانال با بستر ثابت برابر با $0/79$ درصد به دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده تاثیر فرم شکل گرفته بر شرایط جریان در سرریز می‌باشد.

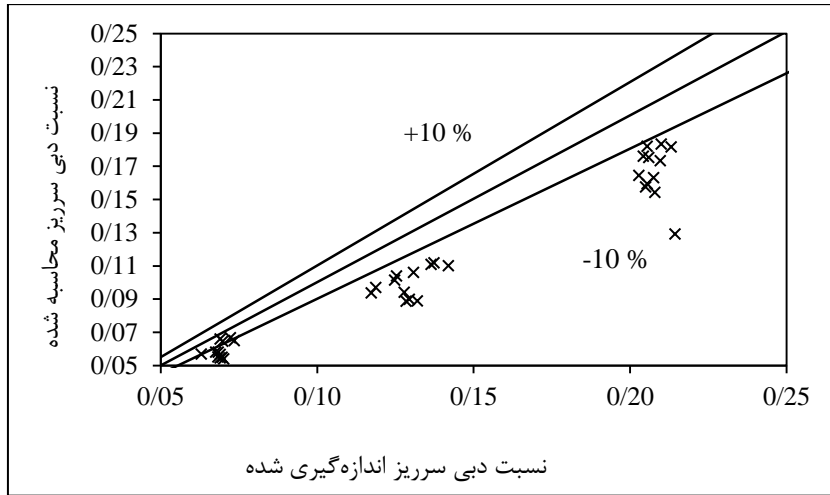
از آنجائی که De Marchi در معادله خود فرض نمود که انرژی در طول سرریز ثابت است، لذا برای بررسی تاثیر شکل بستر در اطراف سرریز جانبی بر



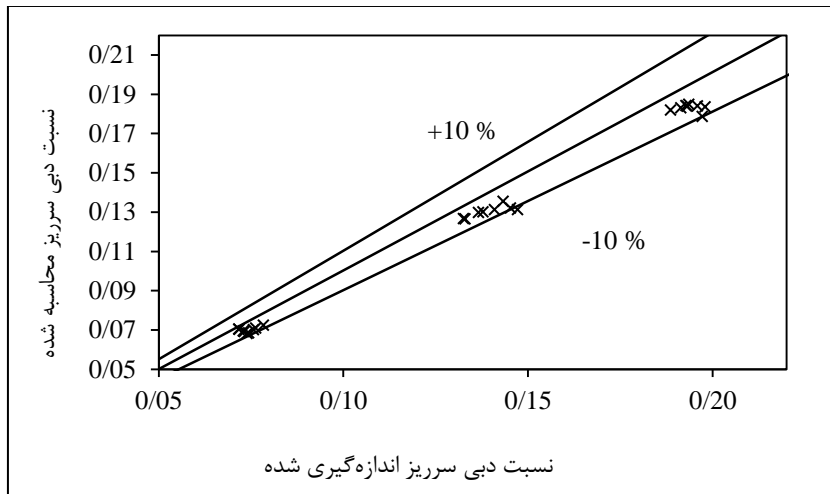
شکل ۵- نسبت دبی عبوری از روی سرریز جانبی برای آزمایش شماره M_A10 برای جریان در کانال با بستر متحرک



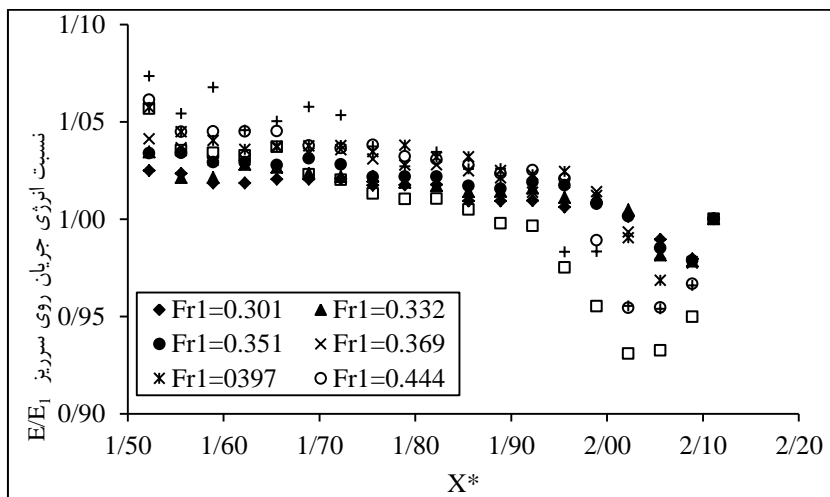
شکل ۶- نسبت دبی عبوری از روی سرریز جانبی برای آزمایش R_A05 برای جریان در کانال با بستر ثابت



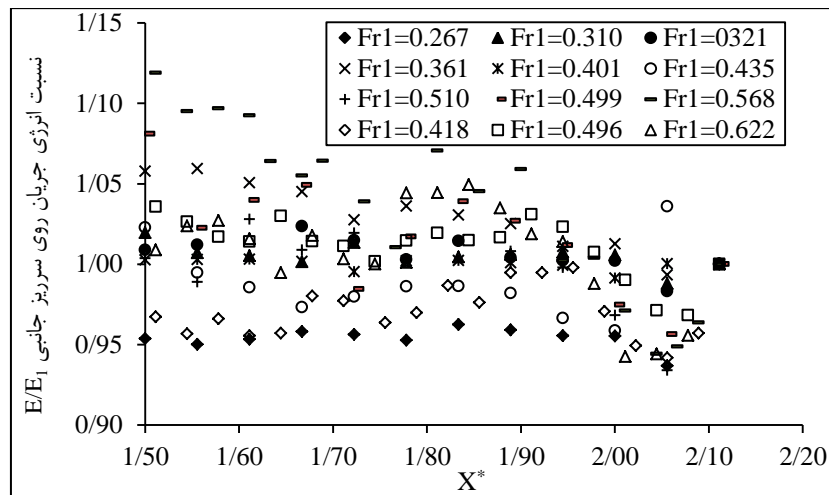
شکل ۷- مقایسه مقادیر نسبت دبی جریان مشاهداتی با مقادیر محاسبه شده در کانال با بستر متحرک



شکل ۸- مقایسه مقادیر نسبت دبی جریان مشاهداتی با مقادیر محاسبه شده در کانال با بستر ثابت



شکل ۹- تغییرات نسبت انرژی جریان در امتداد سرریز جانبی برای کانال با بستر ثابت (L/b=0.67)



شکل ۱۰- تغییرات نسبت انرژی جریان در امتداد سرریز جانبی برای کانال با بستر متحرک (L/b=0.67)

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر میزان تاثیر فرم شکل گرفته در بستر در اطراف سرریز جانبی بر شرایط جریان به‌خصوص تغییرات پروفیل سطح آب برای حالت جریان در کانال‌های با بستر متحرک و شرایط جریان زیر بحرانی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی برای هر دو کانال با بستر متحرک و ثابت و حل عددی روش تحلیلی معادله دیفرانسیلی تغییرات سطح آب بر روی سرریز جانبی نشان می‌دهد که نتایج روش حل تحلیلی با استفاده از روش عددی رانج-کوتا مرتبه چهار در تغییرات پروفیل سطح آب با نتایج مشاهده شده در حالت کانال با بستر ثابت هم‌خوانی مناسبی دارد، ولیکن با نتایج به‌دست آمده از نتایج مشاهداتی در کانال‌های با بستر متحرک دارای اختلاف می‌باشد. این موضوع به‌دلیل تاثیر رسوب‌گذاری و فرسایش در امتداد سرریز جانبی در کف کانال اصلی بر شرایط جریان روی سرریز می‌باشد. این موضوع در نتایج

به‌دست آمده برای مقادیر تغییرات دبی عبوری از سرریز جانبی نیز صدق می‌کند. مقایسه مقادیر دبی عبوری مشاهده شده از سرریز جانبی با مقادیر محاسبه شده نیز نشان می‌دهد که نتایج به‌دست آمده در کانال با بستر ثابت همبستگی خوبی با نتایج حل تحلیلی نسبت به نتایج به‌دست آمده در کانال با بستر متحرک دارد.

به‌گونه‌ای که خطای نسبی دبی جریان محاسبه شده برای کانال‌های با بستر ثابت برابر با ۰/۱۴ درصد بوده، در حالی که این مقدار برای کانال‌های با بستر متحرک ۵۴ درصد به‌دست آمد. علاوه بر این مقادیر تغییرات انرژی جریان در امتداد سرریز جانبی نیز در کانال با بستر ثابت به مقادیر به‌دست آمده از روش تحلیلی با فرضیه ثابت بودن انرژی نسبت به مقادیر به‌دست آمده از کانال با بستر متحرک نزدیک‌تر است. خطای نسبی مقادیر انرژی برای کانال‌های با بستر ثابت و متحرک به‌ترتیب برابر با ۱/۲۸ و ۱/۳۷ درصد به‌دست آمد.

منابع مورد استفاده

1. Aghayari, F. and T. Honar. 2008. Experimental study of spatial discharge coefficient in broad-crested side weirs. Journal of Agriculture Science and Natural Resources, 15(1): 159-167 (in Persian).
2. AL-Taee, A.Y. 2011. Theoretical analysis of flow over the side weir using Runge Kutta method. International Journal of Engineering, 2: 47-50.
3. Bilhan, O., M.E. Emiroglu and O. Kisi. 2010. Application of two different neural network techniques to lateral outflow over rectangular side weirs located on a straight channel. Advances in Engineering Software, 41: 831-837.
4. Borghei, S.M., M.R. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. Journal of Hydraulic Engineering, 125(10): 1051-1056.
5. De Marchi, G. 1934. Saggio di teoria del funzionamento degli stramazzi laterali. Energ Elet, 11: 849-

- 860 (in Italy).
6. Emiroglu, M.E., H. Agacciglu and N. Kaya. 2011. Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22: 319-330.
 7. Haddadi, H. and M. Rahimpour. 2012. A discharge coefficient for a trapezoidal broad-crested side weir in subcritical flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 26: 63-67.
 8. Honar, T., M.H. Tarazkar and M.R. Tarazkar. 2010. Estimating of Side Weir Discharge Coefficient by Using Neuro-Fuzzy (ANFIS). *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(2): 169-176 (in Persian).
 9. Kabiri Samani, A., H. Esmaili and M. Heidarpour. 2011. Improving performance of side weirs using groups of vane plates or piles. *Journal of Water and Wastewater*, 1: 101-113 (in Persian).
 10. Paris, S., L. Solari and G. Bechi. 2012. Applicability of the De Marchi hypothesis for side weir flow in the case of movable bed. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(7): 653-656.
 11. Rosier, B., J.L. Boillat and J. Schleiss. 2009. One-dimensional numerical modelling of mobile bed evolution with a side weir. *Engineering Application of Computational Fluid Dynamics*, 3(4): 487-498.
 12. Subramanya, K. and S.C. Awasthy. 1972. Spatially varied flow over side weirs. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(HY1): 1-10.
 13. Swamee, P.K. 1988. Generalized rectangular weir equations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(8): 945-9.
 14. Varjavand, P., D. Farsadzadeh, A. Hosseinzadeh Delbar and A. Sadroddini. 2010. 3D simulating of flow over the side weirs using $\kappa - \epsilon$ turbulent model and comparing the results with physical model. *Journal of Water and Soil Science*, 20/1(3): 105-108 (in Persian).
 15. Vatankhah, A.R. 2012. Analytical solution for water surface profile along a side weir in a triangular channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 23: 76-79.

Laboratory studies on bed form effects on water surface profiles in side weirs

Seyed Ali Ayyoubzadeh¹, Mahdi Habibi^{*2}, Mohammad Rostami³, Mojtaba Saneie⁴ and Mohammad Faramarz⁵

¹ Associate Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran, ^{2,4} Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and ⁵ PhD Student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 28 September 2013

Accepted: 01 February 2014

Abstract

Side weirs are widely used to divert water from rivers. In movable bed rivers, deposition of sediment particles along the side weir may cause some problems in diverting water. This research is done in a laboratory flume of 0.9 meter wide and 10 meter long with a longitudinal slope of 0.001. Three value of weir length i.e. 0.6, 0.4 and 0.2 with a single weir height of 0.08 meter were used in the experiments. The variations of water surface profiles along the side weir were measured for various upstream Froude Numbers. The obtained results from experiments on movable bed condition were compared with those from rigid bed condition and also with the results from analytical solution. The results showed that bed form made by flow regime in the vicinity of the side weir does effect on the water surface profile over the weir and thus changes the diverted flow discharge. Water surface and discharges over the side weir were found in good agreement with the results obtained from the analytical solution in compare with the results obtained from channel with movable bed. The computed relative error for flow discharge in channels with movable and rigid bed is 6.35% and 24.18% respectively. This amount for variations of water surface profiles along the side weir is 8.03% and 9.88% respectively.

Keywords: Bed form, Flume, Movable bed channel, River engineering, Runge-Kutta model

* Corresponding author: mhabibi_99@yahoo.com