

واژه‌های کلیدی: سرریز لبه تیز مستطیلی، کانال با بستر متحرک، ضریب دبی، مورفولوژی بستر، انتقال رسوب.

مقدمه

سرریز جانبی سازه هیدرولیکی است که برای انحراف جریان از کانال اصلی به یک کانال جانبی زمانیکه تراز جریان در کانال اصلی از یک مقدار معینی فراتر می‌رود استفاده می‌شود. این سازه به شکل وسیعی در کاربردهای مهندسی هیدرولیک و محیط زیست استفاده می‌شود. چنین سازه‌هایی از زیربخش‌های شبکه‌های توزیع آب، سیستم‌های آبیاری زهکشی، نیروگاه‌های تصفیه آب و فاضلاب و سیستم‌های پخش سیلاب هستند. جریان از روی سرریز جانبی از نوع جریان متغیر مکانی با دبی کاهنده در کانال اصلی است.

کاهش دبی جریان کانال ناشی از برداشت جانبی آب از طریق سرریز جانبی باعث کاهش ظرفیت حمل رسوب در کانال اصلی به دلیل کاهش در تنش برشی بستر می‌گردد. این موضوع منجر به ته‌نشینی رسوبات و بالا آمدن تراز میانگین بستر و همین‌طور شکل‌گیری ته‌نشینی موضعی رسوبات در امتداد سرریز جانبی می‌گردد. در نتیجه با کاهش سطح مقطع جریان، تراز آب بر روی سرریز جانبی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین دبی ورودی به سرریز جانبی به روشی غیر قابل پیش‌بینی افزایش می‌یابد [۱۰]، [۱۱].

ضریب دبی و رفتار هیدرولیکی سرریزهای جانبی و کانال اصلی به شکل وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است که شامل مطالعات مربوط به سویرامانیا و آواستی [۱۳]، هاگر [۷]، سوامی [۱۴]، سین و همکاران [۱۲]، برقی و همکاران [۳]، قدسیان [۵] و موسلو و همکاران [۹] می‌باشد. بیلهان و همکاران [۲] دو معادله رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون غیر خطی چندگانه با استفاده از تکنیک‌های شبکه عصبی برای ضریب دبی سرریز جانبی مستطیلی شکل توسعه دادند. امیراوغلو و همکاران [۱۴] معادله‌ای را برای تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی توسعه دادند و تغییرات پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی را با انجام ۸۴۳ مورد آزمایش در یک کانال مستطیلی شکل با سرریز جانبی مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایش‌ها را در کانالی با عرض ۰٫۵ متر و سرریزهای جانبی با طولهای ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری انجام دادند. حدادی و رحیم‌پور [۶] مشخصات جریان را روی سرریز جانبی لبه تیز دوزنق‌ای شکل بصورت آزمایشگاهی مطالعه نموده و معادله‌ای را برای محاسبه ضریب دبی سرریزهای جانبی توسعه دادند. آیدین و

ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی شکل در کانال‌های با بستر متحرک و ثابت

محمد فرامرزی^۱، سید علی ایوب‌زاده^۲، مهدی حبیبی^۳، محمد رستمی^۴ و مجتبی صانعی^۵
تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

چکیده

در این تحقیق، ضریب دبی سرریزهای لبه تیز مستطیلی در کانال‌های با بستر ثابت و متحرک بصورت آزمایشگاهی مطالعه و بررسی گردیده است. بخش اول مطالعات آزمایشگاهی در یک کانال با بستر متحرک با اندازه میانه رسوبات برابر با $d_{50} = 0.23\text{mm}$ انجام گردید. در بخش دوم، بستر کانال ثابت گردید و آزمایشات مجدداً انجام شد. مدل‌های رگرسیونی خطی و غیر خطی چند متغیره برای توسعه معادلات تجربی با استفاده از پارامترهای بدون بعد مورد بررسی، برای تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات مورفولوژی بستر در امتداد سرریز جانبی برای کانال با بستر متحرک بر مقادیر ضریب دبی سرریز جانبی تاثیر داشته است. دقت مدل‌های توسعه یافته با استفاده از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و خطای نسبی مطلق (MAE) مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، همچنین دبی منحرف شده از کانال اصلی با استفاده از مدل‌های پیشنهاد شده محاسبه و با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. نتایج بدست آمده از مدل‌های پیشنهادی دارای همبستگی خوبی با مقادیر مشاهداتی بوده و این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی مناسب ضریب دبی سرریزهای لبه تیز مستطیلی برای هر دو کانال با بستر متحرک و ثابت هستند. میانگین خطای نسبی ضریب دبی محاسبه شده با استفاده از مدل‌های پیشنهادی برای کانال با بستر متحرک ۶٫۶۳ درصد و ۴٫۷۲ درصد و برای کانال با بستر ثابت ۱٫۱۶۵ و ۱٫۳۳ درصد بدست آمد.

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس

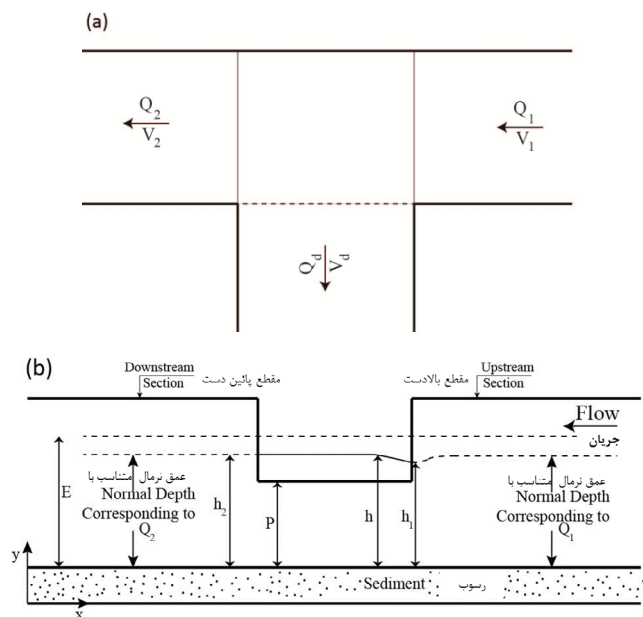
۲- نویسنده مسئول و دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

ayyoub@modares.ac.ir

۳- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴- استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۵- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



شکل ۱- شماتیک سرریز جانبی برای جریان زیربحرانی (a) پلان (b) مقطع طولی

Figure 1. Side weir schematic for subcritical flow (a) plan (b) Longitudinal profile

جدول ۱- معادلات تجربی ضریب دبی سرریزهای جانبی در سابقه تحقیق

Table 1. Empirical equations of side weirs discharge coefficient in literature

معادله ضریب دبی Discharge coefficient Equation	منبع Source
$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}}$	سوبرامانیا و همکاران [۱۳]
$C_d = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_1^2}{2 + 3Fr_1^2}}$	هاگر [۷]
$C_d = 0.623 - 0.222Fr_1$	Huger یوتک [۱۵]
$C_d = 0.7 - 0.48Fr_1 - 0.3\left(\frac{P}{h_1}\right) + 0.06\frac{L}{b}$	برقی و همکاران [۳] Borghesi et al
$C_d = 0.33 - 0.18Fr_1 - 0.22\left(\frac{P}{h_1}\right)$	جلیلی و همکاران [۸] Jalili et al
$C_d = 1.06 \left[\left(\frac{14.14P}{8.15P + h_1} \right)^{10} + \left(\frac{h_1}{h_1 + P} \right)^{15} \right]^{0.1}$	سوامی و همکاران [۱۴] Swamee et al
$C_d = [0.662 + (0.307 + 0.119\left(\frac{P}{h_1}\right)^{7.135} + 0.241\left(\frac{L}{b}\right)^{0.413} + 0.004\left(\frac{L}{h_1}\right)^{0.827} + 0.21Fr_1^{2.338} \cdot 6.164]^{2.472}$	بیلهان و همکاران [۲] Bilhan et al
$C_d = [0.836 + (-0.035 + 0.39\left(\frac{P}{h_1}\right)^{12.69} + 0.158\left(\frac{L}{b}\right)^{0.59} + 0.049\left(\frac{L}{h_1}\right)^{0.42} + 0.244Fr_1^{2.125} \cdot 3.018]^{5.366}$	امیراوغلو و همکاران [۴] Emiroglu et al

همکاران [۱] معادله‌ای را برای برآورد سرعت جریان سرریز بعنوان تابعی از ارتفاع و عرض سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی شکل با مطالعات آزمایشگاهی توسعه دادند.

مشخصات دبی یک سرریز تخت و غیر مستغرق در کانال مستطیلی شکل به شکل محسوسی تحت تاثیر ارتفاع سرریز، عمق جریان در مقطع بالادست سرریز و شکل تاج سرریز قرار دارد. براساس معادله دی مارچی داریم:

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

که Q دبی کانال اصلی، s فاصله طولی از ابتدای سرریز جانبی، dQ/ds یا q دبی در واحد طول سرریز، g شتاب ثقل، h عمق جریان، P ارتفاع سرریز جانبی و C_d ضریب دبی سرریز جانبی مستطیلی شکل است. ضریب دبی سرریز جانبی در یک کانال با بستر متحرک براساس آنالیز ابعادی صورت گرفته به پارامترهای بدون بعد زیر بستگی دارد. تمامی اثرات پارامترهای مختلف همانند اثرات تنش سطحی و لزجت در استخراج پارامترهای بدون بعد به دلیل اثر کم آنها لحاظ نشده است:

$$C_d = f_1(Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}, \frac{P}{h_1}, \frac{L}{b}, \frac{L}{h_1}, \frac{d_{50}}{h_1}) \quad (2)$$

که Fr_1 عدد فرود جریان در مقطع بالادست سرریز (در نقطه شروع سرریز جانبی)، V_1 میانگین سرعت در مقطع بالادست سرریز جانبی، L طول سرریز جانبی، b عرض کانال اصلی، h_1 عمق جریان در مقطع بالادست سرریز جانبی و d_{50} اندازه میانه ذرات رسوبی است. شکل ۱ شماتیک جریان زیر بحرانی را در یک سرریز جانبی مستطیلی شکل در کانال مستقیم نشان می‌دهد.

معادله (۱) را برای کانال‌های با بستر ثابت می‌توان بصورت زیر نوشت:

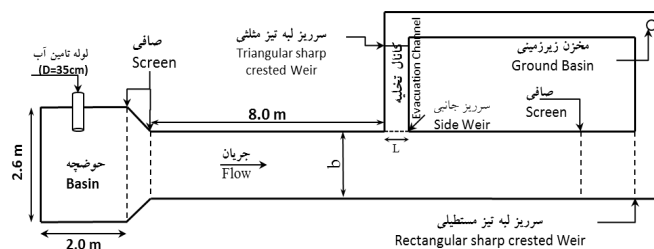
$$C_d = f_2(Fr_1, \frac{P}{h_1}, \frac{L}{b}, \frac{L}{h_1}) \quad (3)$$

در سرریزهای جانبی جریان غالب از نوع جریان زیربحرانی است. بنابراین در این تحقیق این نوع جریان مورد بررسی قرار گرفته است. عدد فرود جریان در مقطع بالادست سرریز جانبی در اغلب تحقیقات مشابه گذشته به دلیل تاثیر محسوس این پارامتر بر ضریب دبی سرریزهای جانبی، همراه با این متغیر مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ معادلات مربوط به برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل را در تحقیقات گذشته نشان می‌دهد.

هدف اصلی از این تحقیق بررسی اثرات تغییرات مورفولوژی بستر بر ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی و توسعه مدل‌هایی مناسب برای پیش‌بینی ضریب دبی در کانال‌های با بستر متحرک و مقایسه آن با نتایج بدست آمده در کانال‌های با بستر ثابت می‌باشد.

مطالعات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در دو مرحله صورت گرفت. در مرحله اول آزمایش‌ها



شکل ۲- پلان فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق
Figure 2. Flume plan and laboratory devices used in research

به ضخامت ۱۰ سانتیمتر برای هر آزمایش، درپچه کنترل انتهای کانال اصلی بالا آورده شد و داخل کانال اصلی به آرامی با آب تا تراز تاج سرریز جانبی پر گردید. سپس درپچه کنترل پائین آورده شد تا جائیکه جریان در کانال اصلی به جریان یکنواخت رسیده و اندازه‌گیریهای آزمایش شروع گردید.

نتایج و بحث

ضریب دبی در یک سرریز جانبی مستطیلی شکل بعنوان تابعی از پارامترهای بدون بعد در هر دو کانال با بستر ثابت و متحرک است. محدوده پارامترهای استفاده شده در آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در کانال‌های با بستر متحرک، تغییرات سطح مقطع در کانال اصلی به دلیل فرآیندهای ته‌نشینی و فرسایش رخ می‌دهد. مقادیر تراز بستر در کانال اصلی در یک شبکه نقاط تعریف شده با استفاده از دستگاه پروفایلر الکترومغناطیس اندازه‌گیری شد. هیدرولیک جریان روی سرریز جانبی به شکل وسیعی تحت تاثیر اثر متقابل بین جریان سرریز جانبی و انتقال بار بستر و مورفولوژی بستر می‌باشد. شکل بستر ایجاد شده توسط رژیم جریان بواسطه فرسایش و ته‌نشینی رسوبات در امتداد سرریز در محور طولی کانال منجر به افزایش تراز سطح آب روی سرریز جانبی می‌گردد. بنابراین ضریب دبی سرریز جانبی در کانال‌های با بستر متحرک متفاوت از مقادیر آن در کانال‌های با بستر ثابت است.

روش‌های همبستگی خطی چندگانه (MLR) و همبستگی غیر خطی چندگانه (MNLR) برای استخراج معادلات و مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی شکل برای هر دو جریان در کانال با بستر متحرک و ثابت استفاده گردید. معادلات بدست آمده برای کانال‌های با بستر متحرک عبارتند از:

$$C_d = -0.709 + 0.78 \left(\frac{P}{h_1}\right)^{0.942} - 0.068 \left(\frac{L}{b}\right)^{1.518} \quad (4)$$

$$-0.03 \left(\frac{L}{h_1}\right)^{0.307} + 0.625 (Fr_1)^{0.375} + 0.103 \left(\frac{d_{50}}{h_1}\right)^{-0.12}$$

$$C_d = -0.176 + 4.132 \left(\frac{P}{h_1}\right) + 0.191 \left(\frac{L}{b}\right) \quad (5)$$

$$-0.02 \left(\frac{L}{h_1}\right) + 0.364 (Fr_1) - 1190.325 \left(\frac{d_{50}}{h_1}\right)$$

- 1- Multi Linear Regression
2- Multi Nonlinear Regression

در یک فلوم با بستر متحرک به جداره‌های شیشه‌ای صورت گرفت. در مرحله دوم رسوبات از بستر فلوم برداشته شد و با شیب ۰,۰۰۱ ثابت شده سپس تمامی آزمایش‌ها مجدداً در این فلوم تکرار گردید. لازم به ذکر است منظور از بستر ثابت در واقع بستر تخت می‌باشد که بستر کانال با استفاده از مصالح بتنی و با شیب مورد نظر (شیب ۰,۰۰۱) آماده گردید.

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. در شکل شماره (۲) شماتیک فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی نشان داده شده است. مطالعات آزمایشگاهی در یک فلوم مستطیلی مستقیم با جداره پلاستی گلاس به طول ۱۰ متر، عرض (b) ۹۰ سانتیمتر و عمق ۴۰ سانتیمتر انجام گردیده است. شیب اولیه کف فلوم (S_0) برابر با ۰,۰۰۱ در نظر گرفته شده و سرریز جانبی در جداره سمت چپ کانال و در فاصله ۸ متری از ابتدای ورودی کانال واقع گردیده است. ارتفاع تاج سرریز (P) در مقدار ۸ سانتیمتری نسبت به بستر اولیه در ابتدای آزمایش‌ها ثابت گردید. سه سرریز جانبی با طولهای (L) برابر با ۶۰، ۹۰ و ۴۰ سانتیمتری در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. محدوده مقادیر دبی جریان بالادست کانال اصلی (Q_1) که در مطالعات آزمایشگاهی استفاده شد از ۲۲ الی ۷۵ لیتر بر ثانیه برای هر دو کانال با بستر ثابت و متحرک متغیر می‌باشد. آزمایش‌ها برای شرایط جریان زیربحرانی، دائمی و جریان روگذر آزاد انجام شد. تمامی اندازه‌گیریها برای عمق جریان‌های بزرگتر از ۳ سانتیمتر روی سرریز جانبی برای اجتناب از اثرات تنش سطحی صورت گرفت. یک درپچه کنترل در انتهای کانال اصلی برای فراهم ساختن شرایط جریان یکنواخت در کانال اصلی نصب گردید. مواد رسوبی مورد استفاده در آزمایش‌ها برای کانال با بستر متحرک از جنس سیلیس به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و با اندازه میانه ذرات برابر با $d_{50} = 0.23 \text{ mm}$ و چگالی ذرات $\rho_s = 2650 \text{ kg.m}^3$ و تخلخل $n = 42.5\%$ است.

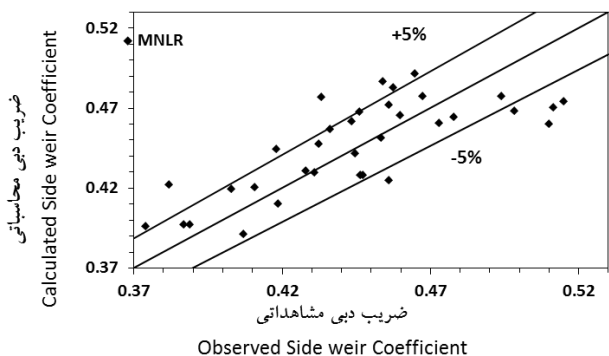
کانال تخلیه دارای ۶۰ سانتیمتر عرض بوده و به صورت عمود بر کانال اصلی نصب گردیده است. یک سرریز لبه تیز مثلثی در انتهای کانال تخلیه برای اندازه‌گیری میزان دبی ورودی به سرریز جانبی استفاده گردید. پروفیل‌های سطح آب در امتداد سرریز جانبی با استفاده از دستگاه جریان‌سنج الکترومغناطیس (پروفایلر) با دقت $\pm 0.1 \text{ mm}$ اندازه‌گیری گردید.

بعد از ایجاد شیب بستر مورد نظر با مواد رسوبی مورد استفاده

جدول ۲- محدوده مقادیر پارامترهای بدون بعد مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی

Table 2. Dimensionless parameters ranges used in research

آزمایش‌ها Tests	P/h_1	L/b	L/h_1	Fr_1	$d_{50}/h_1 (*10^3)$	Q_D/Q_1
بستر متحرک Bed Movable	0.557-0.740	0.222-0.667	1.39-5.24	0.27-0.56	1.6-2.12	0.063-0.213
بستر ثابت Bed Rigid	0.558-0.724	0.222-0.667	1.39-5.11	0.21-0.48	-	0.072-0.198

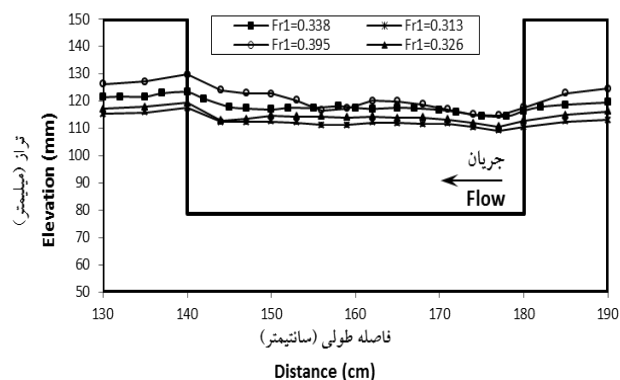


شکل ۴- مقایسه ضریب دبی سرریز جانبی مشاهداتی و محاسبه در کانالهای با بستر متحرک (روش همبستگی غیرخطی)

Figure 4. Comparison of observed and calculated side weir discharge coefficient in movable bed channel ((Nonlinear Correlation Method

پیش‌بینی ضریب دبی در کانالهای با بستر متحرک بدلیل اثرات مورفولوژی بستر بر جریان از روی سرریز جانبی و همچنین گردابه‌ها و آشفتگی‌های ایجاد شده از طریق افزایش در زبری بستر در امتداد سرریز، پیچیدگی‌های زیادی دارد. در طول آزمایشات نوسانات سطح آب روی سرریز و انحنای بالای خطوط جریان سطحی در اطراف سرریز مشاهده گردید. نوسانات سطح آب با افزایش دبی در کانال اصلی افزایش یافت. بنابراین پراکندگی مقادیر ضریب دبی سرریز جانبی در کانالهای با بستر متحرک بالا می‌باشد و لذا توسعه بهترین مدل برازش در اینگونه کانالها دشوارتر از کانالهای با بستر ثابت است. پروفیل‌های سطح آب در کانال با بستر متحرک به ازاء $L/b = 0.4$ در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، هد جریان روی سرریز جانبی در امتداد آن در کانال با بستر متحرک ثابت نیست بنابراین استفاده از معادله (۱) برای محاسبه دبی عبوری از سرریز جانبی دارای خطای بیشتری نسبت به استفاده از معادله مذکور در کانالهای با بستر ثابت می‌باشد.

شکل ۴ و ۵ ضریب دبی مشاهداتی و محاسبه شده را به ترتیب در کانالهای با بستر متحرک و ثابت نشان می‌دهد. همانگونه که قبلا نیز اشاره گردید، جریان روی سرریز تحت تاثیر مورفولوژی بستر در امتداد سرریز جانبی در محور طولی کانال با بستر متحرک اصلی



شکل ۳- تغییرات پروفیل سطح آب روی سرریز جانبی در کانال با بستر متحرک ($L/b = 0.4$)

Figure 3. Water profile variation over side weir in channel with movable bed ($L/b = 0.4$)

و معادلات برای کانال‌های با بستر ثابت:

$$C_d = -0.076 + 0.06\left(\frac{P}{h_1}\right)^{2.092} + 0.539\left(\frac{L}{b}\right)^{0.161} - 0.145\left(\frac{L}{h_1}\right)^{0.31} + 0.278(Fr_1)^{2.404} \quad (6)$$

$$C_d = 0.243 + 0.121\left(\frac{P}{h_1}\right) + 0.244\left(\frac{L}{b}\right) - 0.03\left(\frac{L}{h_1}\right)^2 + 0.153(Fr_1) \quad (7)$$

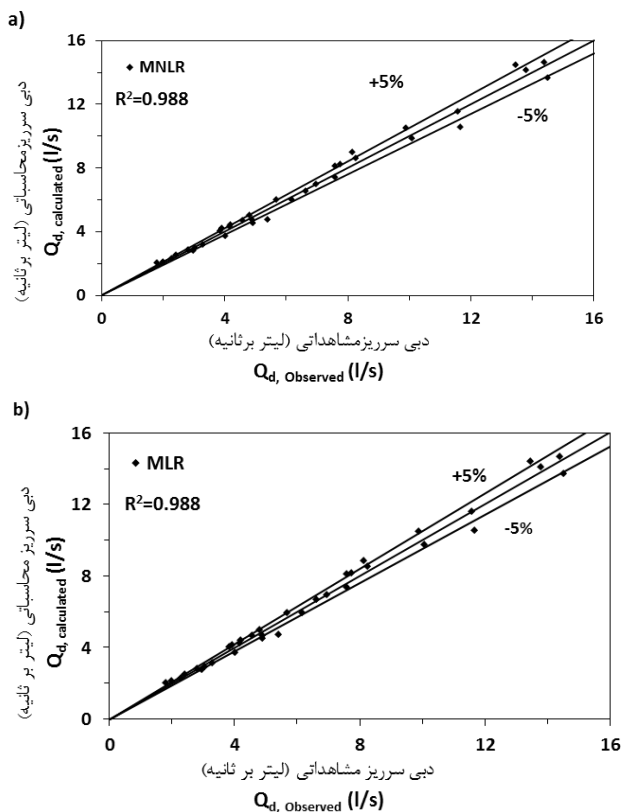
دقت مدل‌های پیشنهادی با استفاده از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و خطای مطلق میانگین (MAE) و خطاهای نسبی (RE) مورد ارزیابی قرار گرفت که بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{di,Observed} - C_{di,Calculated})^2} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_{di,Observed} - C_{di,Calculated}| \quad (9)$$

$$RE = \left| \frac{C_{di,Observed} - C_{di,Calculated}}{C_{di,Observed}} \right| \quad (10)$$

- 1- Root Mean Square Error
- 2- Mean Absolute Errors
- 3-Relative Errors



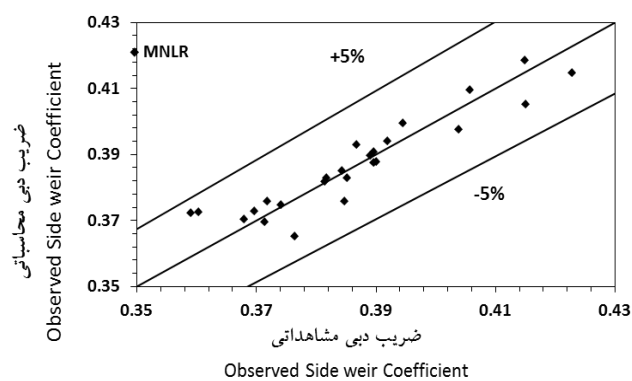
۶- مقایسه دبی عبوری مشاهداتی و محاسبه شده در سرریز جانبی مستطیلی در کانالهای با بستر متحرک (a) مدل غیرخطی (b) مدل خطی

Figure 6. Comparison of observed and calculated rectangular side weir discharge in movable bed channels a) Non Linear Method b) Linear Method

سرریز در اشکال شماره ۸ و ۹ ارائه شده است. مقادیر دبی محاسبه شده با استفاده از معادلات ۴ الی ۷ دارای همبستگی خوبی با مقادیر مشاهداتی است. بگونه‌ایکه میزان خطای نسبی مقادیر دبی محاسباتی بدست آمده از معادلات ۴ الی ۷ به در مقایسه با مقادیر مشاهداتی به ترتیب ۴,۶۳ درصد، ۴,۷۲ درصد، ۱,۱۶ درصد و ۱,۳۳ درصد بدست آمد. مقادیر خطای جذر میانگین مربعات برای معادلات ۴ و ۵ به ترتیب برابر با ۰,۰۲۶۳ و ۰,۰۲۵۷، و همچنین مقادیر خطای مطلق میانگین برابر با ۰,۰۲۱۱ و ۰,۰۲۱۵، برای کانال با بستر متحرک بدست آمد. برای جریان در کانال با بستر متحرک مقادیر خطای جذر میانگین مربعات برای معادلات ۶ و ۷ به ترتیب برابر با ۰,۰۰۴۹ و ۰,۰۰۶۶، و همچنین مقادیر خطای مطلق میانگین برابر با ۰,۰۰۴۵ و ۰,۰۰۵۱ بدست آمد.

نتیجه‌گیری

اثرات مورفولوژی بستر در کانالهای با بستر متحرک بر ضریب دبی یک سرریز لبه تیز مستطیلی شکل در یک کانال مستقیم بصورت



شکل ۵- مقایسه ضریب دبی سرریز جانبی مشاهداتی و محاسبه شده در کانالهای با بستر ثابت (روش همبستگی غیرخطی)
Figure 5. Comparison of observed and calculated side weir discharge coefficient in fixed bed channel (Nonlinear Correlation Method)

جدول ۳-۳ ایر خطای جذر میانگین مربعات و خطای مطلق میانگین برای ضریب دبی سرریز

Table 3. Root Mean Square Error and Mean Absolute Error for the side weir discharge coefficient

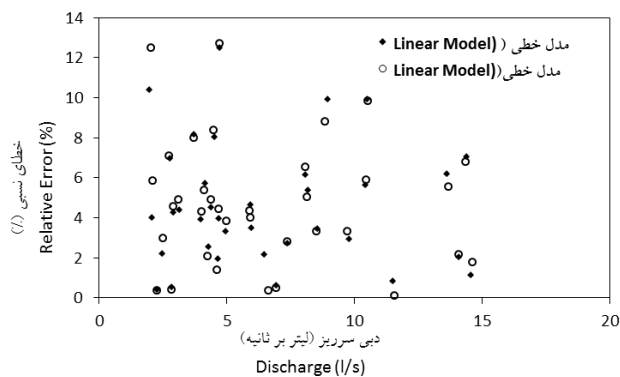
	خطای جذر میانگین مربعات Root Mean Square Error		خطای مطلق میانگین Mean Absolute Errors	
	MNLR	MLR	MNLR	MLR
بستر متحرک Movable Bed	0.0257	0.0263	0.0211	0.0215
بستر ثابت Rigid Bed	0.0059	0.0045	0.0066	0.0051

قرار دارد. ضریب دبی در کانالهای با بستر ثابت را بهتر از کانالهای با بستر ثابت می‌توان فرموله کرد.

مقادیر دبی سرریز جانبی با استفاده از معادلات توسعه یافته محاسبه گردید و با مقادیر بدست آمده از آزمایش‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه مقادیر دبی سرریز جانبی مشاهداتی و محاسباتی در هر دو کانال با بستر متحرک و ثابت در اشکال شماره ۶ و ۷ نشان داده شده است.

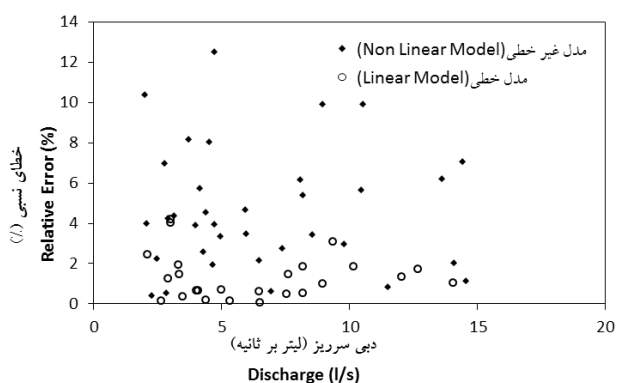
جهت مقایسه مقادیر ضریب دبی سرریزهای جانبی مشاهداتی و محاسباتی با استفاده از مدل‌های توسعه یافته، پراکندگی مقادیر با حاشیه تغییرات ۵ درصد ارائه گردیده است که می‌تواند در مقایسه بهتر مقادیر محاسباتی و مشاهداتی مفید باشد.

مقادیر خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و خطای مطلق میانگین (MAE) محاسبه شده برای ضریب دبی در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین توزیع درصد خطاهای نسبی (RE) برای دبی



شکل ۸- پراکنش خطای نسبی دبی جریان سرریز در کانال با بستر متحرک

Figure 8. Relative error scatters of side weir discharge in movable bed channel



شکل ۹- پراکنش خطای نسبی دبی جریان سرریز در کانال با بستر ثابت

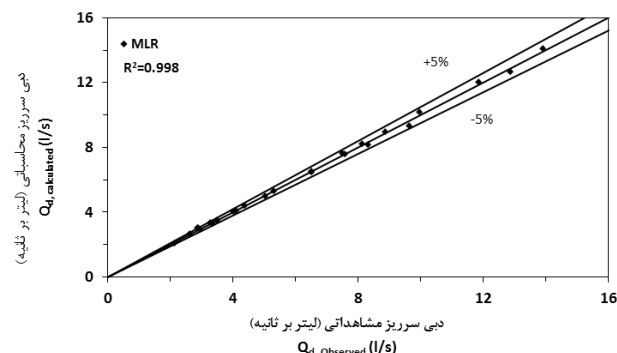
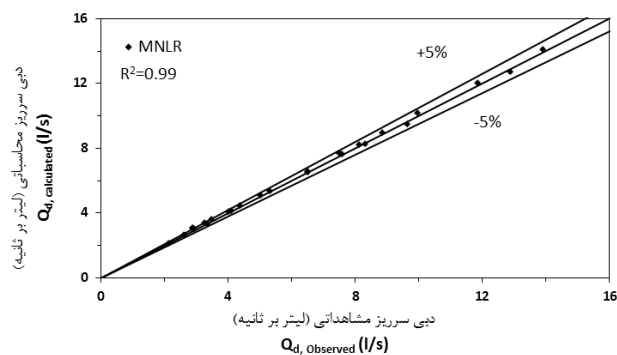
Figure 9. Relative error scatters of side weir discharge in fixed bed channel

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در حمایت از ساخت و انجام مطالعات آزمایشگاهی و از دانشگاه تربیت مدرس در حمایت مالی و معنوی این تحقیق تشکر و قدر دانی می‌نمایند.

منابع

1. Aydin, I., Altan-Sakarya, AB. and Sisman, C. 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs. Flow Measurement and Instrumentation. 22: 144-151.
2. Bilhan, O., Emiroglu, M. E. and Kisi, O. 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.
3. Borghei, M., Jalili, MR., Ghodsian, M. 1999.



شکل ۷- مقایسه دبی عبوری مشاهداتی و محاسبه شده در سرریز جانبی مستطیلی در کانالهای با بستر ثابت (a) مدل غیر خطی (b) مدل خطی

Figure 7. Comparison of observed and calculated rectangular side weir discharge in fixed bed channels
a) Non Linear Method b) Linear Method

آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. بهترین فرمهای برازش برای ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی شکل برای هر دو کانال با بستر متحرک و ثابت مورد بررسی قرار گرفت و معادلات تجربی برای برآورد ضریب دبی در این کانالها با استفاده از مدل‌های همبستگی خطی و غیر خطی چندگانه توسعه داده شد. رژیم حاکم بر انتقال در تحقیق حاضر، رژیم انتقال پائینی با فرمهای بستر دیون برای حالت جریان در کانال با بستر متحرک است. هندسه فرم شکل گرفته در اطراف سرریز جانبی به شکل محسوسی سه بعدی بوده و دارای تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر جریان از روی سرریز جانبی و در نتیجه بر دبی انحراف داده سده از کانال اصلی دارد.

با افزایش دبی جریان در کانال اصلی، نوسانات سطح آب و انحناء خطوط سطحی جریان در انتهای سرریز جانبی بصورت قابل ملاحظه‌ای به دلیل افزایش در زبری بستر در امتداد سرریز جانبی تشدید می‌گردد. علاوه بر این باعث غیر یکنواختی در سرعت ورودی به سرریز جانبی می‌شود. نتایج بدست آمده از مدل‌های توسعه داده شده در هردو کانال با بستر ثابت و متحرک نشان می‌دهد که مقادیر دبی سرریز جانبی محاسبه شده دارای همبستگی و همخوانی مناسبی با مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

10. Rosier, B., Boillat, J.L. and Schleiss, J. 2009. One-dimensional numerical modelling of mobile bed evolution with a side weir. *Engineering Application of Computational Fluid Dynamics*. 3(4): 487-498.
11. Rosier, B., Boillat, J.L. and Schleiss, A.J. 2010. Semi-empirical model for channel bed evolution due to lateral discharge withdrawal. *Journal of Hydraulic Research*. 48(2): 161-168.
12. Singh, R., Manivannan, D. and Satyanarayana, T. 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 120(4):814-819.
13. Subramanya, K. and Awasthy, S. C. 1972. Spatially varied flow over side weirs. *J. Hydraulid Div. ASCE*. 98(HY1): 1-10.
14. Swamee, P.K., Santosh, K.P. and Masoud, S.A. 1994. Side weir analysis using elementary discharge coefficient. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 120(4):742-55.
15. Yu-Tech, L. 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir. *ASCE Journal of the Hydraulics Division*. 98(11):2046-8.
- Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. 125(10):1051-6.
4. Emiroglu, M.E., agacciglu, H., and Kaya, N. 2011. Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. *Flow Measurement and Instrumentation*. 22: 319-330.
5. Ghodsian, M. 2003. Supercritical flow over rectangular side weir. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 30(3):596-600.
6. Haddadi, H., Rahimpour, M. 2012. A discharge coefficient for a trapezoidal broad-crested side weir in subcritical flow. *Flow Measurement and Instrumentation*. 26: 63-67.
7. Hager, W.H. 1987. Lateral outflow over side weirs. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*. 113(4):491-504.
8. Jalili, M.R. and Borghei, S.M. 1996. Discussion of 'Discharge coefficient of rectangular side weir', by 'R. Singh, D. Manivannan and T. Satyanarayana'. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 22(2):132.
9. Muslu, Y., Yuksel, E. and Tozlu, H. 2004. Transition effects in flow over side weirs. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130(1):92-95.