

## تحلیل ضریب دبی جزئی سرریزهای جانبی مایل در کانال‌های غیرمنشوری مستطیلی

تورج هنر<sup>۱</sup>، محمود جوان<sup>۲</sup> و علیرضا کشاورزی<sup>۳</sup>  
۱، ۲، ۳، استادیار، دانشیار و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز  
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۷/۲۲

سرریزهای جانبی از جمله سازه‌هایی می‌باشند که به طور گسترده‌ای در سیستم‌های آبیاری، زهکشی اراضی و فاضلاب شهری استفاده می‌گردند. در این تحقیق تاثیر شیب مایل تاج سرریز بر روی ضریب دبی جزئی در جریانهای زیر بحرانی در کانالهای منشوری و غیر منشوری مستطیلی بررسی گردیده است. با انجام ۶۰۰ آزمایش یک مدل ریاضی براساس در نظر گرفتن المانهایی در طول سرریز ارائه گردید. نتایج نشان میدهد که مدل ارائه شده بخوبی می‌تواند رفتار توزیع آب بر روی سرریز را پیش بینی نماید.

**واژه‌های کلیدی:** سرریزهای جانبی، جریانهای متغیر مکانی، کانالهای غیر منشوری و ضریب دبی

### مقدمه

سرریزهای جانبی یا کناری از جمله سازه‌هایی می‌باشند که در حاشیه کانال‌ها ساخته می‌شوند. این سرریزها به طور گسترده‌ای در شبکه‌های آبیاری زهکشی و در سیستم‌های فاضلاب به منظور انحراف آب مازاد و یا آبیاری استفاده می‌گردند. در پروژه‌های آبیاری سرریزهای جانبی با لبه پهن معمولاً به عنوان کنترل کننده تراز آب در سازه‌های توزیع کننده نیز استفاده می‌شوند.

جریان بر روی سرریزهای جانبی در کانال‌های مستطیلی موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است و محققین با انجام آزمایش‌هایی به بررسی روابط حاکم بر سرریزهای جانبی در کانال‌های مستطیلی (۲، ۴) پرداخته‌اند و تنها سوامی (۶) ضریب تخلیه را به طور جزئی در سرریزهای جانبی با تاج تخت بررسی نمود. علیرغم اهمیت جریان در شرایط غیر منشوری، تاکنون مطالعات کمی در این خصوص انجام شده است. لذا موضوع اصلی این تحقیق بررسی هیدرولیکی سرریزهای جانبی مایل در کانال‌های مستطیلی در شرایط غیرمنشوری می‌باشد. در واقع این شرایط یک حالت کلی می‌باشد که در برگرفته سرریزهای

تاج تخت نیز می‌باشد. با استفاده از سرریزهای تاج مایل می‌توان تا حد زیادی نسبت به توزیع یکنواخت دبی و جلوگیری از آبشستگی در کانال آبگیر اقدام نمود. عموماً در جریانهای زیر بحرانی، صعودی بودن پروفیل سطح آب موجب توزیع غیر یکنواخت دبی و آبشستگی در انتهای سرریز جانبی می‌گردد. از طرف دیگر کاربرد روابط سرریزهای تاج مایل در سرریزهایی میتواند باشد که باعث مشکلات اجرایی ناهموار ساخته شده‌اند. در این پژوهش با ساخت یک مدل فیزیکی و انجام بیش از ۶۰۰ آزمایش بر اساس حل عددی معادلات دیفرانسیل دبی و عمق، موضوع مربوطه بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد مدل جزئی میتواند با دقت بیشتری نسبت به روشهای ساده، دبی سرریز جانبی را تعیین نماید.

جریان بر روی سرریزهای جانبی نوع خاصی از جریان متغیر مکانی همراه با کاهش دبی می‌باشد. معادله کلی در جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی در کانال‌های غیر منشوری مستطیلی با در نظر گرفتن ضریب انرژی برابر یک، به صورت ذیل می‌باشد (۳).

که در جریان های زیر بحرانی  $Q_0$  و  $Y_0$ ، برابر با عمق پائین دست و دبی می باشند. برای حل دو معادله ذکر شده تابع تعیین مقدار  $C_{de}$  نیز مورد نیاز می باشد.

براساس مطالعات سوامی (۶) ضریب جزئی دبی سرریز جانبی ( $C_{de}$ ) به صورت تابعی از عمق آب به ارتفاع سرریز در سرریزهای لبه تیز و در سرریزهای لبه پهن تابعی از عمق آب و عرض لبه سرریز می باشد. سوامی در سال ۱۹۸۸ معادله ای برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه پهن به شکل ذیل ارائه نمود (۷).

$$C_{de} = K_6 + K_7 \left( \frac{\eta_L^{k_8} + k_9 \eta_L^{k_{10}}}{1 + k_{11} \eta_L^{k_{12}}} \right) + k_{13}$$

در این رابطه  $\eta_L = \frac{Y - W}{l}$  که در آن  $W$  ارتفاع سرریز،  $Y$  عمق آب کانال و  $l$  عرض تاج سرریز و ضرایب  $K_6 - K_{13}$  مقادیر ثابت می باشند.

### مواد و روشها

عملیات آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک بخش آبیاری دانشگاه شیراز انجام پذیرفت. همان گونه که در شکل یک مشاهده می گردد، آزمایش در یک کانال مستطیلی سیمانی با عرض ۰/۳۵ متر و عمق ۰/۴ متر با شیب ۱/۱۰۰۰ انجام پذیرفت. فاصله محل کارگذاری سرریز جانبی تا ابتدای کانال ۵ متر و تا انتهای کانال ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. در ابتدای کانال اصلی یک شبکه فلزی به منظور آرام و منظم نمودن خطوط جریان تعبیه گردید تا در طول سرریز همواره جریانی آرام عبور نماید.

به موازات کانال اصلی یک کانال فرعی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۵۷ و عمق ۰/۴ متر آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل می نماید. توسط دو سرریز مثلثی شکل ۹۰ درجه کالیبره شده، واقع در حوضچه انتهایی دبی کانال اصلی و فرعی (آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی) تعیین و در هر آزمایش با توجه به نوسان ناچیز دبی از میانگین آن در محاسبات استفاده گردید. همچنین در حین هر آزمایش

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f + (Q^2 / (gA^3)) \cdot (\partial A / \partial x)_y + Qq_o / (gA^2)}{1 - F_r^2} \quad (1)$$

در این رابطه:

$$S_o = \text{شیب کف کانال}$$

$$S_f = \text{شیب اصطکاک}$$

$$Q = \text{دبی کانال}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

$$A = \text{سطح مقطع جریان}$$

$$q_o = \text{تغییرات دبی در طول کانال}$$

$$F_r = \text{عدد فرود}$$

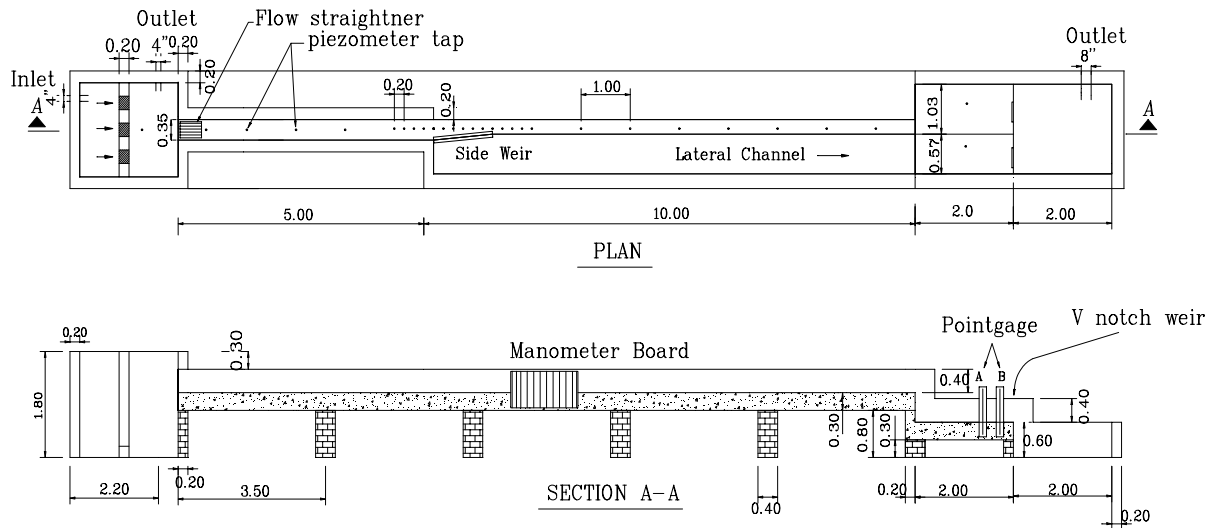
در این رابطه اندیس  $Y$  نشان دهنده ثابت بودن این متغیر در زمان مشتق گیری می باشد. معادله (۱) در واقع یک معادله کلی می باشد که جریان متغیر تدریجی را بیان می کند و مقدار  $q_o$  مثبت می باشد. برای یک سرریز واقع شده در حاشیه کانال عمق آب روی سرریز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

تاکنون روابط متعددی در خصوص تعیین میزان دبی سرریزهای جانبی ارائه گردیده است. در روابط ارائه شده با توجه به موازی بودن تاج سرریز با کف کانال و ثابت بودن ارتفاع سرریز، محاسبات انجام پذیرفته است که در صورت عدم تراز تاج سرریز این روابط قابل استفاده نمی باشد. در این روابط، در تعیین میزان دبی از یک ضریب کلی برای تمام طول سرریز استفاده می گردد. در صورتی که در این تحقیق با تقسیم طول سرریز به چندین المان، با استفاده از رابطه ۲ و در نظر گرفتن تغییرات ارتفاع تاج سرریز و همچنین استفاده از ضریب دبی جزئی که مربوط به یک بازه می باشد دبی سرریز جانبی تعیین می گردد (۳).

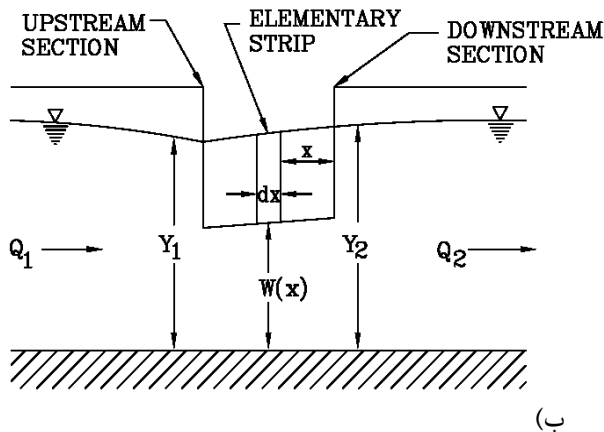
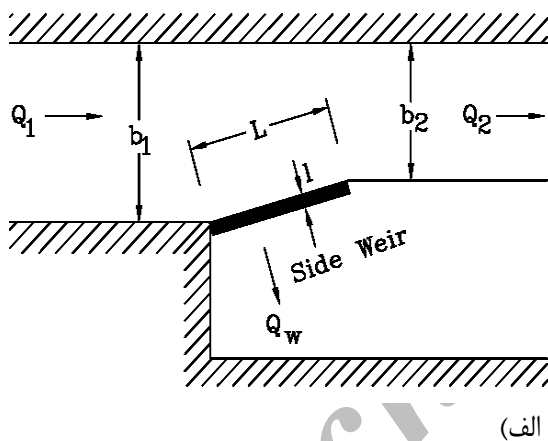
$$q_{oe} = \frac{2}{3} C_{de} \sqrt{2g} (Y - W(x))^{1.5} \quad (2)$$

در این رابطه  $q_{oe}$ ،  $W(x)$  برتریب ارتفاع سرریز در موقعیت  $x$  و دبی سرریز جانبی در واحد طول و همچنین  $C_{de}$  ضریب دبی جزئی در محدوده مورد نظر می باشد. معادلات (۱) و (۲) را می توان با در نظر گرفتن شرایط اولیه زیر حل نمود.

$$X=0 \quad Y=Y_0 \quad Q=Q_0$$



شکل ۱- نمای شماتیک از مدل فیزیکی اجرا شده



شکل ۲- نمایی از محل کارگذاری سرریز جانبی: (الف) پلان و (ب) مقطع طولی

عمق آب در طول کانال اصلی و نیز در مجاورت سرریز جانبی، توسط پیزومترهای کارگذاری شده بر کف کانال اصلی با دقت ۰/۵ میلیمتر قرائت و توسط دستگاه عمق سنج با دقت ۰/۱ میلیمتر کنترل گردید. در این تحقیق آزمایش ها به سه دسته اصلی، شامل یک آزمون در کانال منشوری و دو آزمون در کانال غیر منشوری تحت عنوان عامل منشوری (نسبت عرضی کف کانال در بالادست سرریز، به پائین دست سرریز،  $b_1/b_2$ ) به شرح ذیل تقسیم گردید:

- آزمون ۱: کانال مستطیلی شکل منشوری با  $b_1/b_2=1.00$
- آزمون ۲: کانال مستطیلی شکل غیر منشوری با  $b_1/b_2=1.21$
- آزمون ۳: کانال مستطیلی شکل غیر منشوری با  $b_1/b_2=1.52$

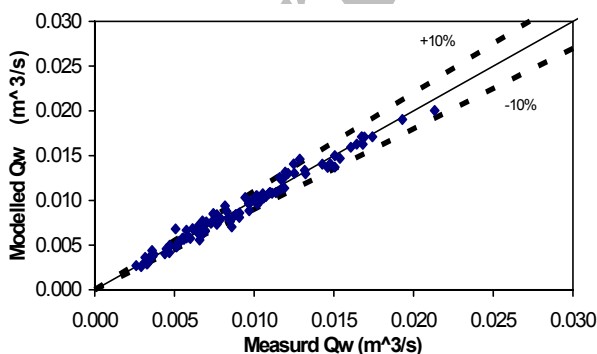
در هر آزمون، سرریز جانبی در مقطع تبدیل با زاویه جانبی  $(\theta)$  نسبت به امتداد کانال کارگذاری گردید (شکل ۲- الف) همچنین زاویه تاج سرریز نسبت به افق  $(\gamma)$  نیز در محاسبات مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲- ب). این دو متغیر در آزمون‌های مختلف برای مقادیر مختلف دبی، ارتفاع سرریز، طول سرریز و عمق پایاب کنترل شده توسط یک دریچه کشویی انتهایی در شرایط باز و دو حالت نیمه بسته در طی انجام بیش از ۶۰۰ آزمایش مطابق جدول شماره ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

$$E = \frac{100}{N} \sum_1^N \left| \frac{Q_{wo} - Q_{wm}}{Q_{wo}} \right| \quad (5)$$

در این رابطه  $E$  خطای نسبی برآورد،  $N$  تعداد آزمون‌ها می‌باشد.

در جدول ۲، پارامترهای تعیین شده توسط مدل PEST برای هر آزمون و همچنین برای کلیه آزمون‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط پایاب و عامل منشوری ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد خطای نسبی ( $E$ ) برای آزمون‌های بدون کنترل در پائین دست (انتها باز) بیشتر از آزمون‌های با کنترل در پائین دست (انتها نیمه بسته) می‌باشد. این تفاوت می‌تواند به علت اثر تغییرات شرایط جریان در انتهای سرریز در حالت انتهای نیمه بسته (با کنترل در پایین دست) باشد.

در شکل‌های ۳ الی ۵، نتایج آزمون‌های بدون کنترل و با کنترل در پائین دست بدون در نظر گرفتن عامل منشوری ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد تطابق دبی سرریز محاسبه شده با اندازه‌گیری شده در حالت انتها باز یا بدون کنترل در پائین دست در محدوده  $\pm 1\%$  بهتر از حالت انتها نیمه بسته (با کنترل در پائین دست) می‌باشد. که این می‌تواند به علت تغییرات جریان در سرریز جانبی به علت وجود مانع در پائین دست کانال باشد که در مطالعات گذشته بدون در نظر گرفتن این مهم روابط کلی جهت سرریزهای با تاج تخت ارائه گردیده است.



شکل ۳- مقایسه دبی سرریز اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در آزمون‌های بدون کنترل در پایین دست

جدول ۱- متغیرهای استفاده شده در آزمایش

مقدار	متغیر
1.00, 1.21, 1.52	عامل منشوری ( $b_1/b_2$ )
1.2, 0.8, 0.4	$L$ ، طول سرریز (m)
0.07 - 0.18	$W$ ، ارتفاع متوسط سرریز (m)
0.1	$S_0$ ، شیب کف کانال (%)
16 - 40	$Q_{main}$ ، دبی کانال (L/s)
0.14 - 0.72	$F_u$ عدد فرود در بالا دست سرریز
-0.88 - 2.86	$S_w$ ، شیب تاج سرریز (%)
0.04	$I$ ، عرض تاج سرریز (m)

### بحث و نتایج

جهت طبقه بندی اطلاعات جمع آوری شده آزمون‌های ۱ الی ۳، اطلاعات در دو گروه آزمون بدون کنترل در پائین دست (انتها باز) و با کنترل در پائین دست (انتها نیمه بسته) که توسط دریچه کشویی انتهایی قابل کنترل است، طبقه بندی گردید و بر این اساس محاسبات مربوطه برای هر آزمون به طور مجزا و همچنین به صورت کلی بدون در نظر گرفتن عامل منشوری و وضعیت انتهایی انجام گردید.

در هر گروه از محاسبات، معادله‌های ۱ و ۲ با روش حل عددی رانج کوتا مرتبه چهار با در نظر گرفتن مقادیر اولیه در معادله تعیین ضریب دبی (معادله ۳) حل گردیده و مقادیر عمق آب و دبی در فواصل مختلف ( $x$ ) در طول سرریز جانبی، عمق آب ( $Y_1$ ) و دبی در بالادست سرریز ( $Q_1$ ) و در نهایت دبی سرریز شده ( $Q_w$ ) مطابق رابطه ذیل تعیین گردید.

$$Q_w = Q_1 - Q_2 \quad (4)$$

پارامترهای مدل (رابطه ۳) شامل  $K_6$  الی  $K_{13}$  توسط نرم افزار PEST (نرم افزار تخمین گر پارامترهای روابط غیر خطی) تعیین گردید. نرم افزار PEST پارامترهای مدل را براساس کاهش تفاوت مقادیر دبی سرریز محاسبه شده و اندازه‌گیری شده، مشخص می‌نماید و سپس با مقایسه دبی سرریز محاسبه شده ( $Q_{wm}$ ) با دبی سرریز مشاهده شده ( $Q_{wo}$ ) مقدار خطای نسبی برآورد مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

نتایج آنالیزهای آماری بر روی اطلاعات مستقل نشان می‌دهد که مقدار خطای نسبی برآورد برای کلیه آزمون‌ها کمتر از ۵/۷٪ می‌باشد. همچنین جهت بررسی کیفی مدل، از اطلاعات فرارویی (۱۹۹۷) نیز استفاده گردید. فرارویی (۱) با انجام آزمایش بر روی کانال‌های دوزنقه‌ای با شیب‌های مختلف دیواره (۱/۵: ۱، ۱:۱، ۰/۵: ۱، ۰: ۱)، با عرض ۰/۶ متر به بررسی جریان بر روی سرریز جانبی لبه پهن پرداخت. نتایج مدل بر اساس اطلاعات فرارویی نشان داد که میزان خطای نسبی برآورد کمتر از ۸/۴٪ می‌باشد و مدل می‌تواند کاربرد مناسبی در سایر مقاطع کانال داشته باشد و در این خصوص میزان خطای برآورد نیز نسبت به مدل سوامی (۱۹۹۴) که برابر ۸/۰۱٪ می‌باشد به مراتب کمتر است.

نیرینگ و همکاران (۱۹۸۹) جهت آنالیز حساسیت از شاخص حساسیت استفاده نمودند. این شاخص مطابق رابطه ۶ بیانگر نسبت نسبی میزان تغییرات خروجی مدل به پارامترهای ورودی مدل می‌باشد (۵).

$$S = \left( \frac{O_2 - O_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{I_{avg}}{O_{avg}} \quad (6)$$

$S$ : شاخص حساسیت

$I_1, I_2$ : حداقل و حداکثر مقدار پارامتر ورودی مورد نظر

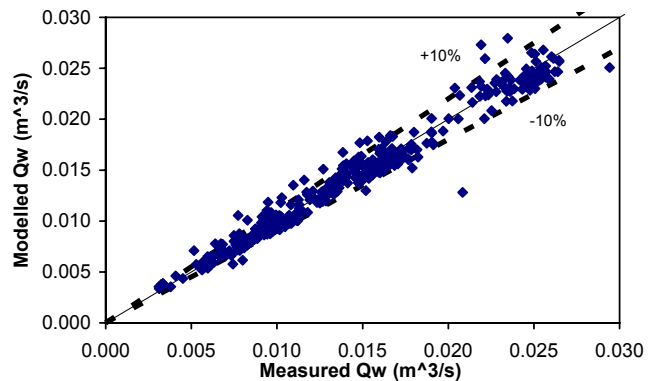
$I_{avg}$ : میانگین  $I_1, I_2$

$O_1, O_2$ : مقادیر متناظر با  $I_1, I_2$

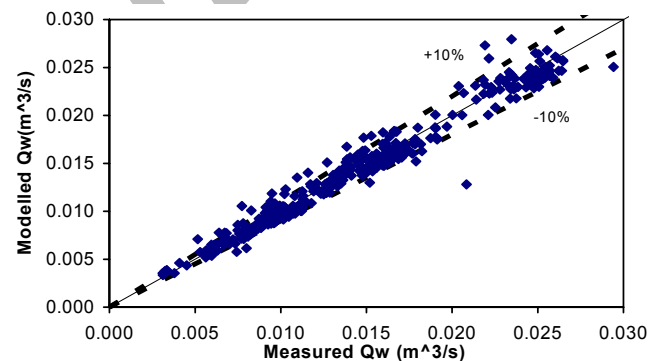
$O_{avg}$ : میانگین  $O_1, O_2$

جدول ۲- پارامترهای رابطه ۳ برای آزمونهای مختلف

ردیف	آزمون	بدون کنترل	با کنترل	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	خطای نسبی (%)
۱	۱	√		0.432	0.370	2.767	-0.045	6.872	5.494	0.625	1.0	6.00
۲	۱		√	0.402	0.362	2.381	-0.006	6.602	5.007	1.204	1.0	5.87
۳	۲	√		0.266	1.547	2.524	0.005	6.493	4.997	2.788	1.0	4.26
۴	۲		√	0.511	0.100	2.499	-0.007	6.839	5.504	0.825	1.0	3.92
۵	۳	√		0.446	0.644	1.953	-0.007	6.698	5.486	1.345	1.0	4.13
۶	۳		√	0.522	0.082	2.933	-0.015	6.754	5.502	0.487	1.0	3.87
۷	کلیه آزمونها		√	0.494	0.089	2.891	-0.013	6.765	5.503	0.543	1.0	6.02
۸	کلیه آزمونها	√		0.398	0.831	2.067	-0.004	6.650	5.467	1.566	1.0	5.77
۹	کلیه آزمونها	√	√	0.498	0.084	2.900	-0.013	6.778	5.502	0.492	1.0	6.07
۱۰	سوامی، ۱۹۹۴	با دیواره هدایت در خروجی		0.425	0.100	3.300	0.025	7.000	5.500	0.020	1.0	---
۱۱	سوامی، ۱۹۹۴	بدون دیواره هدایت در خروجی		0.447	0.100	1.790	0.050	1.690	2.900	0.020	1.0	---



شکل ۴. مقایسه دبی سرریز اندازه گیری شده و محاسبه شده در آزمونهای با کنترل در پایین دست



شکل ۵. مقایسه دبی سرریز اندازه گیری شده و محاسبه شده در آزمونها بدون در نظر گرفتن عامل منشوری و کنترل

جهت اطمینان از نظر کاربرد عملی نتایج، مدل‌های تعیین ضریب دبی جزئی سرریزهای جانبی مایل و یا تخت ارائه شده، با استفاده از اطلاعات سایر محققین و همچنین اطلاعات مستقل حاصل شده در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت.

منشوری برای سرریزهای جانبی مایل یا تخت تعیین نماید. مقایسه نتایج بدست آمده توسط مدل و مقادیر اندازه گیری شده براساس اطلاعات مستقل، نشان دهنده اعتبار مدل در سایر شرایط می باشد. در این خصوص توصیه می گردد که در شرایط کانال منشوری مستطیلی بدون کنترل در پائین دست از ضرائب مربوط به آزمون شماره ۱ (ردیف ۱ جدول ۲) و در شرایط با کنترل در پائین دست از نتایج آزمون انتهایی بسته شماره ۱ استفاده شود (ردیف ۲ جدول ۲). در شرایط کانال های منشوری و یا غیر منشوری بدون کنترل در پائین دست از ضرائب ردیف ۸ جدول ۲ و در صورت وجود کنترل در پائین دست از ضرائب ردیف ۷ جدول ۲ استفاده شده و در سایر شرایط استفاده از ضرائب ردیف ۹ جدول ۲ دقت خوبی را بدنبال دارد. همچنین مقایسه نتایج روابط تعیین ضریب دبی جزئی با روشهای ساده (۳) نشان میدهد که میزان خطای برآورد در حالت کلی و بدون در نظر گرفتن عامل منشوری و کنترل در مسیر کانال از مقدار ۱ درصد کاهش و از دقت بیشتری برخوردار است. در عمل پس از تعیین عمق آب بر روی تاج سرریز در المانهای مختلف، ضریب دبی متناظر آن المان را مشخص نمود و سپس دبی جزئی آن المان و نهایتاً دبی کل المانها را تعیین نمود.

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل جزئی

ارتفاع سرریز عمق آب در کانال طول سرریز	+آزمون	حالت کلی	پاکنترل در پایین دست	بدون کنترل در پایین دست
-0.0062	0.1118	-0.0478	-0.0087	0.0242
-0.0067	0.1161			
0.0353	0.3395			

در این تحقیق نیز براساس رابطه ۶، همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود پارامترهای ورودی مدل مورد ارزیابی حساسیت قرار گرفت. نتایج نشان میدهد که در آزمونهای کلی بدون در نظر گرفتن عامل منشوری و کنترل، عمق آب در کانال از حساسیت بیشتری برخوردار است و این مسئله نیز در سایر آزمونهای با کنترل و بدون کنترل در پائین دست مشاهده می گردد. بطور کلی در آزمونهای با کنترل در پائین دست بعلت ایجاد اغتشاش در پائین دست سرریز، شرایط با حالت بدون کنترل متفاوت می باشد که تاثیر آن در حالت کلی نیز مشاهده می شود. اما در حالت انتها باز یا بدون کنترل در پائین دست پس از عمق آب در کانال، ارتفاع سرریز از حساسیت بیشتری برخوردار است.

در این تحقیق براساس نتایج آزمایش های انجام شده بر روی مدل فیزیکی یک مدل جزئی ارائه گردید که قادر است ضریب دبی جزئی سرریز جانبی را در شرایط غیر منشوری و یا

#### منابع مورد استفاده

۱. فراروئی، م. ۱۳۷۹. بررسی هیدرولیک جریان و اصلاح ضریب تخلیه سرریز جانبی تحت تاثیر شیب دیواره در بالا دست. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
2. Frazer, W. 1954. The behavior of side weirs in prismatic rectangular channels, Ph.D thesis, Glasgow University, United Kingdom.
3. Honar, T. 2002. Hydraulic algorithm of inclined side weirs in non-prismatic channels. Ph.D thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.
4. Ranga Raju, K.G., B. Parasad, & S. K. Gupta. 1979. Side weir in rectangular channel. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 113(2): 98-105.
5. Nearing, M. A., L. D. Ascough, & H. M. L. Chaves. 1989. WEPP model sensitivity analysis, Ch. 14 In *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation*, eds. L. J. Lane, and M.A. Nearing. NSERL Report No. 2, 14.1-14.33. W. Lafayette, Ind.: USDA-ARS-NSERL. Cited in Walker, S. E. 2000. Sensitivity analysis of the root zone water quality model. *Transactions of the ASAE*. 43(4):841-846.
6. Swamee, P. K. 1994. Side weir analysis using elementary discharge coefficient. *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE, 120(4), (742-755).
7. Swamee, P. K. 1988. Generalized rectangular weir equations. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 114(8), 645-649.