

## ارزیابی ضریب شدت جریان در سرریزهای جانبی لبه‌تیز با مقاطع مستطیلی و مثلثی

هانی تبریزی\*<sup>۱</sup>، روح‌الله فتاحی<sup>۲</sup>، بهزاد قربانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [tabrizi.hani@yahoo.com](mailto:tabrizi.hani@yahoo.com)

### چکیده

سرریزهای جانبی از سازه‌های حفاظتی و انحراف جریان هستند که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سیستم‌های فاضلاب شهری به‌کار می‌روند. در تحقیق حاضر ضریب شدت جریان سرریزهای جانبی لبه‌تیز با مقاطع عرضی مستطیلی و مثلثی بررسی شده و عوامل تأثیرگذار بر روی این پدیده با استفاده از تحلیل ابعادی و روش‌های آماری شناسایی گردید. همچنین در ادامه معادلاتی جهت محاسبه ضریب شدت جریان این دو شکل از سرریز با خطایی در حدود ۵ درصد برای سرریز مستطیلی و ۳ درصد برای سرریز مثلثی ارائه شد. به‌منظور بررسی تأثیر هر کدام از عوامل بر روی این پارامتر نیز تحلیل حساسیت ضریب جریان صورت گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد مهمترین عوامل مؤثر بر ضریب شدت جریان سرریزهای مستطیلی و مثلثی به‌ترتیب عدد فرود و عرض کانال اصلی به عمق جریان در بالادست سرریز می‌باشند. با در نظر نگرفتن این عوامل خطای برآورد ضریب شدت جریان در محاسبات تا ۷ درصد برای سرریز مستطیلی و ۴ درصد برای سرریز جانبی مثلثی افزایش خواهد یافت. همچنین برآورد دقیق ضریب شدت جریان، تنها با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی بالادست مناسب نمی‌باشد. ساختمان و شکل مقطع عبوری جریان نیز تأثیر بسزایی بر این پارامتر خواهد داشت به‌طوری‌که این نگرش، تا ۳ درصد میزان خطا را کاهش خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ابعادی، تحلیل حساسیت، سرریز جانبی، سرریز لبه‌تیز، ضریب شدت جریان

## Evaluation of Discharge Coefficient in Sharp Crested Side Weirs with Rectangular and Triangular Cross Sections

H Tabrizi<sup>1\*</sup>, R Fattahi<sup>2</sup>, B Ghorbani<sup>3</sup>

Received: 23 September 2013 Accepted: 14 February 2015

1- M.Sc. Graduate, Dept. of Irrigation, Faculty of Agric., Shahrekord Univ. Iran

2- Assist. Prof., Dept. of Irrigation, Faculty of Agric., Shahrekord Univ. Iran

3- Assoc. prof., Dept. of Irrigation, Faculty of Agric., Shahrekord Univ. Iran

\*Corresponding Author, Email: tabrizi.hani@yahoo.com

### Abstract

Side weirs are flow diversion and protection devices that are widely used in irrigation, land drainage and urban sewage systems. This study investigates the discharge coefficient of rectangular and triangular sharp crested side weirs and identifies the effective factors on this parameter by using dimensional analysis and statistical approaches. In addition to calculating the discharge coefficient, equations with 5 percent error for rectangular and 3 percent error for triangular shape have been proposed. For checking the effect of factors on this parameter sensitivity analysis is performed. The results demonstrate that the most important effective factors on discharge coefficient of the rectangular and triangular weirs are Froude number and dimensionless ratio of the main channel wide to the depth of flow in the upstream of the weir, respectively. Error of discharge coefficient (Cd) can be increased up to 7 percent for rectangular weir and 4 percent for triangular side weir with ignoring these factors. Also accurate estimation of discharge coefficient, merely with considering the upstream hydraulic condition, is not correct. The geometry of the cross section should be considered as an effective factor for determination of discharge coefficient, and this approach, decreases error of the calculation up to 3 percent.

**Keywords:** Dimensional analysis, Discharge coefficient, Sensitivity analysis, Sharp crest weir, Side weir

کننده جریان نامیده می‌شود (خرمی ۱۳۷۹). بخش اعظم کار متخصصان هیدرولیک، طراحی، تجزیه و تحلیل سازه‌های هیدرولیکی است که جریان آب رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی را کنترل می‌کنند. سرریزها و دریچه‌ها نمونه‌ای از سازه‌های هیدرولیکی هستند که طی قرن‌ها به عنوان ابزاری جهت تنظیم و تعیین شدت

### مقدمه

اندازه‌گیری و کنترل جریان در کانال‌های روباز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هر سازه طبیعی یا ساخته دست بشر، که در مسیر جریان قرار گیرد در شرایطی که بتوان در آن مقطع رابطه مشخص و ثابتی بین دبی و عمق جریان تعریف نمود یک سازه کنترل

استفاده از معادله برنولی معادلاتی را برای سرعت جریان خروجی از سرریز جانبی به دست آوردند که نتایج این معادله با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی نشان می‌داد. قدسیان (۲۰۰۳) رفتار سرریزهای مستطیلی شکل را تحت جریان فوق‌بحرانی مطالعه نمود، وی همچنین روابط مختلفی برای محاسبه ضریب جریان سرریزهای مثلثی شکل در شرایط زیربحرانی به دست آورد. آقایی و هنر (۱۳۸۷) تأثیر ارتفاع و پهناى تاج سرریز جانبی بر تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی در جریان‌های زیر بحرانی برای شرایط مختلف جریان در کانال‌های منشوری مستطیلی بررسی نمودند. بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات ضریب شدت جریان در حالت با کنترل در پایین دست کانال اصلی تابعی از نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز به طول سرریز و نسبت فاصله از ابتدای سرریز به طول سرریز می‌باشد. همان‌طور که از گزارش تحقیقات مشخص است تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه سرریزهای لبه‌تیز با شکل‌های مستطیلی و مثلثی صورت گرفته است اما مقایسه ضریب جریان شکل‌های مختلف سرریز لبه‌تیز در شرایط هیدرولیکی یکسان و بررسی عوامل تأثیرگذار و اولویت اثر آن‌ها بر روی این پارامتر مطالعه نشده است. هدف از تحقیق حاضر بررسی خصوصیات جریان در دو نوع سرریز لبه‌تیز با مقاطع مستطیلی و مثلثی و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات ضرایب جریان با استفاده از تحلیل ابعادی و تحلیل آماری می‌باشد. در ادامه با بهره‌گیری از بهینه‌سازی و رگرسیون غیرخطی روابط مورد نظر برای محاسبه ضریب جریان مربوط به هر نوع سرریز به دست خواهد آمد. در نهایت با کمک برخی پارامترهای آماری میزان تأثیر هر یک از این عوامل بر ضریب جریان بررسی می‌شود.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در فلومی با مقطع مستطیلی به طول ۲۰، عرض ۰/۶ و ارتفاع ۰/۶ متر با شیب ۰/۰۰۱ انجام شد (شکل ۱). جنس دیواره این فلوم از پلاکسی‌گلاس به ضخامت ۲ سانتی‌متر و کف آن

جریان و کنترل آن در کانال‌های روباز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (حسینی و ابریشمی ۱۳۸۵). سرریز جانبی سازه‌های هیدرولیکی است که در حاشیه یا کنار سازه انتقال یا منبع آب احداث می‌شود. همچنین به‌عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس و زیر-گذر جاده‌ها و به‌عنوان سرریز انتهایی برای تخلیه آب مازاد ناشی از بهره‌برداری نادرست آبیگرهای بالادست در انتهای کانال اصلی قرار می‌گیرد. تخمین دقیق شدت جریان در سرریزهای جانبی به طراحی دقیق طول، ارتفاع و شیب جانبی سرریزهای جانبی کمک شایانی می‌نماید و نقش مؤثری در توزیع عادلانه آب در اراضی زیر پوشش سدها و تحویل حجمی آب دارد. در طراحی پخش سیلاب و یا پروژه‌های آبیاری، چنانچه تخمین دقیقی از شدت جریان انجام نگیرد و طراحی سازه بر اساس مقادیر نادرست صورت پذیرد، سیلاب‌های عبوری می‌توانند موجب فرسایش سطح خاک و یا تخریب سازه‌ها شوند (هنر و طرازکار ۱۳۸۶). رفتار هیدرولیکی این سرریزها پیچیده‌تر از آن است که به وسیله روش‌های ساده دقیقاً قابل پیش‌بینی باشد. برای مطالعه و تعیین دبی سرریزهای جانبی و به‌منظور شناخت بیشتر رفتار هیدرولیکی و بررسی تأثیر ارتباط پارامترهای مؤثر بر روی آبگذری این سازه‌ها انجام آزمایشات تجربی الزامی است. با توجه به کاربرد بودن این سازه هیدرولیکی و تغییر ضریب شدت جریان در طول سرریز شناخت خصوصیات آن نظیر حساسیت ضریب تخلیه نسبت به عوامل تعیین کننده بالادست مانند تغییرات شیب، دبی و سرعت در شکل-های مختلف سرریز احساس می‌شود. ناسامورتی و تامسون (۱۹۷۲)، سویرامانیا و آواشتی (۱۹۷۲)، رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹)، هاگر (۱۹۸۷)، سینگ و همکاران (۱۹۹۴)، برقعی و همکاران (۱۹۹۹) بر اساس نتایج آزمایشگاهی روابط مختلفی برای محاسبه ضریب شدت جریان سرریزهای مستطیلی لبه‌تیز ارائه نمودند. اولیوتو و همکاران (۲۰۰۱) خصوصیات جریان از روی سرریزهای جانبی را در شرایطی که جریان روی سرریز فوق بحرانی و بالادست سرریز زیربحرانی باشد را در مقاطع دایره‌ای مورد مطالعه قرار دادند و با

انجام گرفت. برای اندازه‌گیری عمق جریان از یک عمق-سنج با دقت  $0/2$  میلی‌متر استفاده شد که این عمق‌سنج قابلیت جابجایی در طول و عرض کانال را داشت. اندازه‌گیری سه بعدی سرعت جریان آب با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج صوتی<sup>۱</sup> انجام گرفت. به طور کلی این دستگاه شامل یک محفظه اصلی، یک فرستنده و سه یا چهار گیرنده صوتی می‌باشد. این دستگاه با استفاده از اثر داپلر<sup>۲</sup>، سرعت جریان را اندازه‌گیری می‌کند. برداشت داده‌های سرعت در عمق شکل‌گیری سرعت متوسط یا  $0/6$  متر از سطح آب انجام شد. برای هر نقطه مدت زمان برداشت ۲ دقیقه و فرکانس ۲۰۰ هرتز انتخاب گردید. فرکانس ۲۰۰ هرتز نشان می‌دهد که دستگاه در هر ثانیه قادر به اندازه‌گیری ۲۰۰ داده سرعت است.

### تحلیل ابعادی

با استفاده از تحلیل ابعادی ضریب شدت جریان را می‌توان به خصوصیات جریان، سیال و ویژگی‌های هندسی مدل فیزیکی وابسته دانست. پارامترهای مربوط به خصوصیات جریان عبارتند از، سرعت جریان در بالادست سرریز ( $V_1$ )، سرعت جریان در پایین‌دست سرریز ( $V_2$ )، عمق آب در بالادست سرریز ( $y_1$ )، عمق آب در پایین‌دست سرریز ( $y_2$ ) و شتاب ثقل ( $g$ ). از خصوصیات سیال که در تعیین ضریب جریان تأثیر گذار هستند می‌توان به لزجت دینامیکی ( $\mu$ )، کشش سطحی ( $\sigma$ )، جرم حجمی سیال ( $\rho$ ) اشاره نمود و سرانجام عرض کانال اصلی ( $B$ )، شیب کف کانال ( $S_0$ )، ارتفاع سرریز ( $P$ )، طول سرریز در نوع مستطیلی ( $L$ )، زاویه رأس سرریز مثلثی ( $\theta$ ) و طول روگذری جریان در سرریز مثلثی ( $T$ )، پارامترهای مربوط به خصوصیات هندسی مدل فیزیکی می‌باشند.

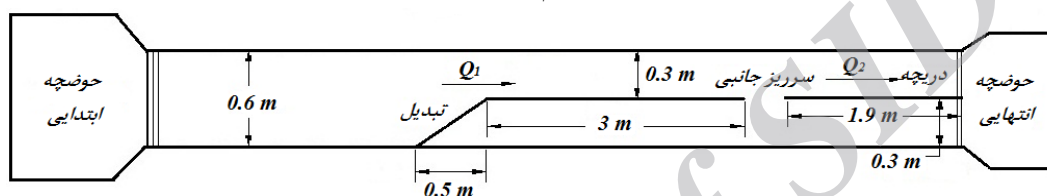
فلزی می‌باشد. این فلوم توسط یک پمپ سانتریفوژ با بیشینه دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌شد. عمل تنظیم دبی به وسیله شیر، که در انتهای لوله خروجی قرار دارد انجام گرفت. به منظور آرام‌سازی جریان در مخزن ورودی از ۳ شبکه توری که به صورت متوالی با فاصله ۵ سانتی‌متر از هم قرار دارند استفاده شد. جریان پس از طی مسیر فلوم وارد حوضچه انتهایی شده و این چرخه به صورت مداوم تکرار می‌شد. اندازه‌گیری دبی پمپاژ شده به داخل فلوم به وسیله کنتور حجمی انجام گرفت. با توجه به محدودیت‌های موجود در آزمایشگاه برداشتن دیواره فلوم برای تعبیه سرریزها و ساخت کانال جانبی امکان‌پذیر نبود. لذا ساخت مدل در داخل فلوم انجام پذیرفت. به این منظور در طولی معادل  $5/8$  متر از انتهای فلوم با استفاده از ورق آلومینیم به ضخامت ۲ میلی‌متر، فلوم به دو قسمت تقسیم شده و کانال‌های اصلی و جانبی با عرض  $0/3$  متر ساخته شد. سرریزهای جانبی نیز در این جداره فلزی نصب شدند که به صورت کشویی قابلیت تعویض داشتند. در ابتدای مدل نیز تبدیل یک طرفه‌ای برای حفظ روند آرام جریان قرار گرفت به منظور تنظیم عمق جریان در طول فلوم، دریچه‌ای به عرض  $0/3$  متر در انتهای آن قرار گرفت که قابلیت ثابت نگه‌داشتن عمق جریان در سطوح دلخواه را دارا بود. اندازه‌گیری دبی انحرافی توسط سرریزهای جانبی به وسیله سرریز مستطیلی شکلی به عرض  $0/3$  متر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر که در انتهای کانال جانبی قرار گرفت انجام شد. همچنین این سرریز قبل از شروع آزمایش واسنجی شده و ضریب جریان مورد نظر آن به دست آمد. برای انجام آزمایشات تعداد ۱۸ عدد سرریز جانبی به شکل‌های مستطیلی و مثلثی در نظر گرفته شد که همگی آن‌ها از جنس آلومینیم، به ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شدند. شکل ۲ شمای کلی مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه را نشان می‌دهد که ابعاد آن به متر می‌باشد. همچنین مشخصات هندسی سرریزها در جدول ۱ قابل مشاهده بوده و جدول ۲ محدوده شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. بر طبق جدول ۲ کلیه آزمایش‌ها در جریان زیر بحرانی

1- ADV

2- Doppler effect



شکل ۱- فلوم آزمایشگاهی.



شکل ۲- نمای کلی از مدل فیزیکی.

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزها.

سرریز	ارتفاع (cm)	طول (cm)	زاویه (درجه)
مستطیلی	۴۰-۳۰-۲۰	۴۰-۳۰-۲۰	-
مثلی	۴۰-۳۰-۲۰	-	۹۰-۶۰-۴۵

جدول ۲- محدوده شرایط هیدرولیکی آزمایشات.

شرایط آزمایش	
محدوده تغییرات	خصوصیات هیدرولیکی
$Fr < 0.9$	عدد فرود کانال اصلی
$Q < 70$	دبی ورودی ( $L s^{-1}$ )
$20 < y < 60$	عمق در کانال اصلی (cm)

دستیابی به متغیرهای مستقل به منظور محاسبه ضریب شدت جریان با به کارگیری تحلیل ابعادی و شناخت پارامترها و ابعاد اصلی صورت پذیرفت و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS معنی داری این متغیرها بررسی شده و در نهایت متغیرهای مؤثر بر ضریب جریان به تفکیک شکل سرریز به صورت زیر به دست آمد:

سرریز مستطیلی:

بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققان از برخی پارامترها به علت کم بودن تأثیرشان بر ضریب شدت جریان می توان چشم پوشی نمود. به این ترتیب که می توان اثر کشش سطحی را نادیده گرفت (خرمی ۱۳۷۹). همچنین با توجه به وجود جریان آزاد غیر قابل تراکم و ضخامت ناچیز لایه مرزی می توان از اثرات تغییر جرم مخصوص، لزجت و خصوصیات جریان در پایین دست صرف نظر کرد. به هر ترتیب

روابط ۶ و ۷ به ترتیب مربوط به سرریز مستطیلی و مثلثی می‌باشند

$$C_d = 0.01(Fr)^{1.764} + 0.4081\left(\frac{P}{y_1}\right)^{0.78} + 0.4142\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.518} \quad [۶]$$

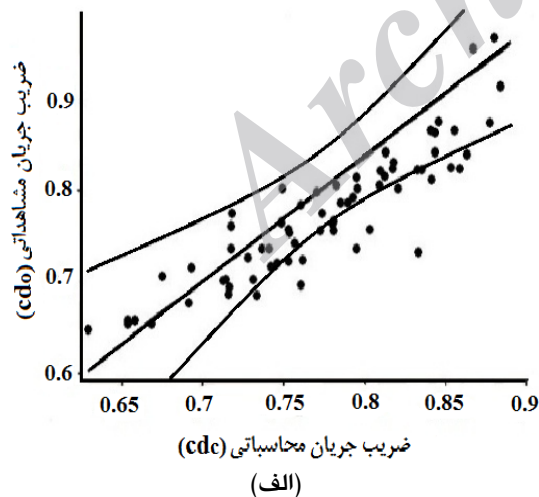
$$+ 0.0318\left(\frac{H-P}{P}\right)^{1.72} - 0.6415\left(\frac{B}{y_1}\right)^{0.305} + 0.66$$

$$C_d = 0.008(Fr)^{1.624} - 0.491\left(\frac{B}{y_1}\right)^{0.599} - 0.281\left(\frac{P}{y_1}\right)^{0.924} \quad [۷]$$

$$- 0.295(\sin\theta) + 0.1771\left(\frac{L}{y_1}\right)^{2.02} + 1.144$$

با توجه به شکل ۳ و جدول ۳ می‌توان دقت روابط ارائه شده در تحقیق را بررسی نمود. که شکل ۳ نشان‌دهنده مقادیر محاسبه‌ای ضریب جریان در برابر مقادیر مشاهده‌ای در سطح احتمال ۹۵ درصد می‌باشند. بررسی صحت روابط غیرخطی ارائه شده، با محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا  $RMSE$  انجام گرفت.  $RMSE$  نکویی برازش مقادیر ضریب جریان را نشان می‌دهند که با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_d(\text{observed}) - C_d(\text{computed}))^2} \quad [۸]$$



$$C_d = f \left\{ Fr, \frac{P}{y_1}, \frac{B}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{H-P}{P} \right\} \quad [۱]$$

سرریز مثلثی:

$$C_d = f \left\{ Fr, \theta, \frac{P}{y_1}, \frac{B}{y_1}, \frac{T}{y_1} \right\} \quad [۲]$$

### نتایج و بحث

#### ضریب شدت جریان

ضریب شدت جریان یکی از عوامل مؤثر بر رفتار هیدرولیکی سرریزهای جانبی است. شناسایی پارامترهای دخیل در برآورد این ضریب که تغییرات هرکدام دلیلی بر نوسان این ضریب خواهد بود بسیار مهم و تأثیرگذار می‌باشد. محاسبه ضریب شدت جریان آزمایشگاهی سرریز مستطیلی با استفاده از رابطه دی-مارچی (۱۹۳۴) انجام گرفت:

$$C_d = \frac{\frac{3}{2} Q_w}{\sqrt{2g(y_1 - p)^2} L} \quad [۳]$$

که در رابطه بالا  $C_d$  ضریب جریان،  $Q_w$  دبی انحرافی توسط سرریز جانبی،  $y_1$  عمق جریان در مقابل سرریز،  $p$  ارتفاع سرریز،  $L$  طول سرریز می‌باشد. محاسبه این پارامتر در سرریز مثلثی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$C_M = \frac{2}{3} \frac{B}{L} (\varphi_2 - \varphi_1) \quad [۴]$$

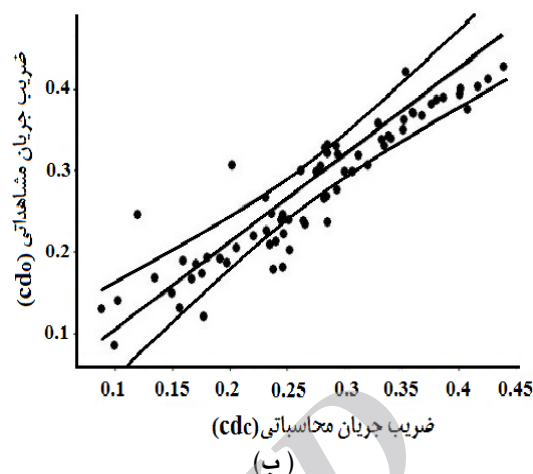
که در این رابطه  $\varphi$  برابر است با:

$$\varphi = \frac{2E-3P}{E-P} \sqrt{\frac{E-y}{y-P}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-P}} \quad [۵]$$

در روابط ذکر شده  $L$  طول دو مقطع اندازه‌گیری و اندیس‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده مقاطع ابتدا و انتهای سرریز،  $\varphi$  تابع دیمارچی،  $E$  میزان انرژی و  $y$  عمق جریان می‌باشند (دی‌مارچی ۱۹۳۴).

در ادامه با استفاده از مقادیر به دست آمده آزمایشگاهی برای پارامترهای بی‌بعد مؤثر و ایجاد رگرسیون غیرخطی، روابط بهینه مورد نظر برقرار شد.

روابط با روابط ۶ و ۷ مقایسه شوند. مقادیر خطای این دو رابطه نسبت به جدول شماره ۳ افزایش چشمگیری داشته‌اند به طوری که مقدار  $RMSE$  برای رابطه ۹،  $۰/۰۷۰۹۳۳$  و برای رابطه ۱۰،  $۰/۰۶۶۲۰۳$  به دست آمده است که این افزایش به دلیل در نظر نگرفتن عوامل مؤثر دیگر و تکیه بر ارائه رابطه تنها با استفاده از عدد فرود است. بنابراین ارائه روابط تجربی و آزمایشگاهی برای محاسبه ضریب شدت جریان با در نظر گرفتن تمامی شرایط اثرگذار معرفی شده در این تحقیق و سایر تحقیقات از دقت مناسب‌تری برخوردار خواهد بود. جهت کسب اطمینان بیشتر از صحت نتایج حاصل از معادلات به دست آمده برای ضریب شدت جریان سرریزهای جانبی مستطیلی و مثلثی لبه‌تیز، از داده‌های اندازه‌گیری شده محققان دیگر استفاده شده و ضریب شدت جریان برای شرایط نسبتاً یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل ۴ و ۵ به ترتیب ضریب جریان سرریز مستطیلی و مثلثی با تحقیقات قبلی مقایسه شده است. در تحقیق حاضر نسبت  $\frac{L}{B}$  یا طول سرریز به عرض کانال اصلی برابر با  $۰/۶۶۷$ ،  $۱$  و  $۱/۶۶$  بوده است. با جستجو در منابع نزدیک‌ترین میزان برای مقایسه داده‌ها انتخاب شد که طبق نمودار شکل زیر این مقادیر برابر با  $۰/۳$  و  $۱/۵$  می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است داده‌های تحقیق حاضر به ازای مقادیر  $۰/۳$  و  $۱/۵$  با نتایج سوامی (۱۹۸۸) و سینگ و همکاران (۱۹۹۴) همخوانی مطلوبی داشته است. قدسیان (۲۰۰۳) در تحقیقات خود ضریب جریان در سرریز مثلثی لبه‌تیز را تابعی از عدد فرود و نسبت بی‌بعد ارتفاع سرریز به عمق جریان در بالادست سرریز دانسته است. و روابط متعددی به صورت خطی در زوایای  $۳۰$ ،  $۶۰$ ،  $۹۰$  و  $۱۲۰$  درجه به این منظور ارائه کرده است. نتایج وی نشان می‌دهد که ارائه روابط با در نظر گرفتن همزمان عدد فرود و ارتفاع سرریز به عمق جریان با خطای کمتری همراه است. مقادیر متغیرهای آزمایشی وی در زاویه  $۶۰$  درجه برای ارتفاع سرریز کمتر از  $۱۵$  سانتی‌متر، عمق آب در کانال اصلی  $۱۲$  -  $۴۰$  سانتی‌متر و دبی جریان بین  $۲۰$  تا  $۹۰$  لیتر بر ثانیه و برای زاویه  $۹۰$



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای ضریب جریان، الف: سرریز مستطیلی، ب: سرریز مثلثی.

جدول ۳- میزان خطای روابط ارائه شده جهت محاسبه ضریب جریان.

سرریز	RMSE
مستطیلی	$۰/۰۵۱۹۲۸$
مثلثی	$۰/۰۳۳۳۳۴$

همان‌طور که از شکل ۳ و جدول ۳ مشخص است روابط ارائه شده با عوامل تأثیرگذار بر ضریب جریان بدست آمده از دقت مناسبی برخوردار هستند. در سرریز مستطیلی و مثلثی به ترتیب تا  $۵$  و  $۳$  درصد خطا وجود دارد. همچنین در شکل ۳ خطوط منحنی شکل نشان‌دهنده سطح احتمال  $۹۵$  درصد می‌باشند.

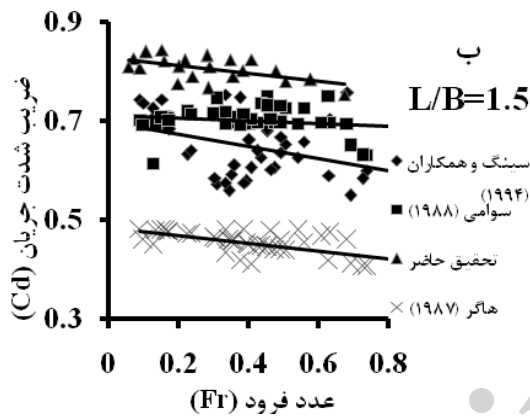
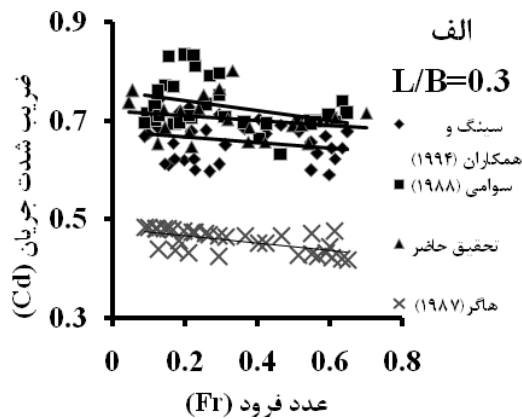
#### رابطه ضریب جریان و عدد فرود

از آن‌جا که پژوهشگران در تحقیقات قبلی ضریب جریان را تابعی از عدد فرود دانسته‌اند در این تحقیق نیز روابطی بین ضریب جریان و این عامل بی‌بعد برقرار شده است که روابط ۹ و ۱۰ به ترتیب مربوط به سرریزهای مستطیلی و مثلثی می‌باشند:

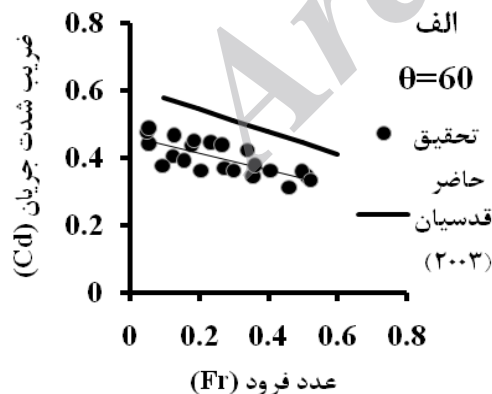
$$C_d = 0.0124(Fr)^{1.411} + 0.7651 \quad [9]$$

$$C_d = -0.3092(Fr)^{1.381} + 0.348 \quad [10]$$

به منظور بررسی دقت برازش روابط ارائه شده در این قسمت، مقادیر آماری محاسبه شده تا دقت این



شکل ۴- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات قبلی در سرریز مستطیلی.



درجه، ارتفاع سرریز ۲۰-۰ سانتی‌متر، عمق آب در کانال اصلی ۱۰-۳۵ سانتی‌متر و دبی جریان بین ۱۱-۱۱۵ لیتر بر ثانیه بوده است. شکل ۵ مقایسه بین مقادیر ضریب جریان بدست آمده در تحقیق حاضر و نتایج قدسیان (۲۰۰۳) به‌ازای زاویه‌های ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان می‌دهد.

### تحلیل حساسیت ضریب شدت جریان

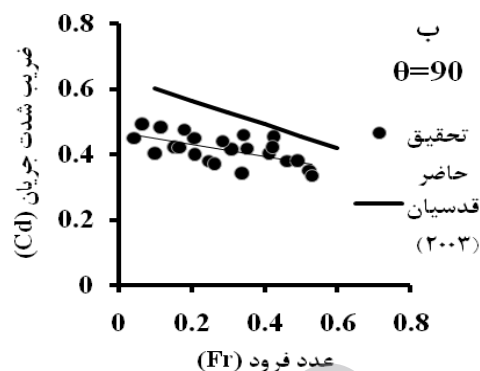
به‌منظور بررسی حساسیت ضریب شدت جریان نسبت به هر یک از این عوامل و ارزیابی این موضوع که کدامیک از این عوامل در برآورد ضریب شدت جریان اولویت بیشتری برخوردارند تحلیل حساسیت انجام گرفت. به‌منظور ارزیابی حساسیت ضریب شدت جریان نسبت به هر عامل با حذف تک‌تک عوامل بی‌بعد مؤثر در هر مرحله از روابط ۶ و ۷ روابط جدیدی ارائه شده و در نهایت برای بررسی دقت روابط، کمیت آماری  $RMSE$  محاسبه و مورد ارزیابی واقع گردید. نتایج به‌دست آمده از سرریزهای مستطیلی و مثلثی به‌ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. محاسبه مقادیر خطا در سرریز مستطیلی شکل، با توجه به جدول ۶، نشان می‌دهد بیشترین مقدار  $RMSE$  به‌ترتیب برای رابطه  $A_5$ ،  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $A_4$  و  $A_2$  به‌دست آمده است که در رابطه  $A_5$  عدد فرود از رابطه کلی حذف شده است بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که ضریب جریان در سرریز مستطیلی بیشترین میزان حساسیت را به عدد فرود کانال بالادست خواهد داشت و بیشترین تأثیر را از این عامل خواهد پذیرفت. همچنین در رابطه  $A_2$  ارتفاع جریان روی سرریز به ارتفاع سرریز از رابطه اصلی حذف شده است که کمترین میزان خطا نیز در نبود این عامل رخ داده است. بنابراین ضریب جریان حساسیت کمتری نسبت به ارتفاع جریان روی سرریز به ارتفاع سرریز خواهد داشت. همچنین جدول ۵ نیز به‌منظور تحلیل حساسیت ضریب جریان سرریز مثلثی ارائه شده است.



بیشتری به این عامل داشته و حضور آن در محاسبات به نظر ضروری تر می‌نماید.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به آزمایشات انجام شده، بررسی و طبقه‌بندی داده‌ها، کسب اطلاعات و محاسبه پارامترهای کمی و سپس استفاده از نرم‌افزارهای آماری، نتایج زیر حاصل شد که می‌تواند مکمل تحقیقات پیشین و راهگشایی برای تحقیقات آینده در این زمینه باشد. براساس آنچه تاکنون ارائه گردید ضریب شدت جریان سرریزهای جانبی به عوامل مختلفی بستگی داشته که با توجه به تحلیل محققان دیگر، روابط ارائه شده و شکل آن‌ها متفاوت می‌باشد و با توجه به شکل سرریز این روابط متغیر خواهد بود.



شکل ۵- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات قدسیان (۲۰۰۳) در سرریز مثلثی.

محاسبه خطای برآورد در روابط نشان می‌دهد

که میزان خطا در رابطه  $B_3$ ، که در آن عامل  $\frac{B}{y_1}$  حذف شده است در مقایسه با روابط دیگر بیشتر است و ۳ رابطه دیگر در مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بنابراین روابط ارائه شده در تخمین ضریب جریان، حساسیت

جدول ۴- روابط ارائه شده به منظور تحلیل حساسیت ضریب جریان سرریز مستطیلی.

ضریب ثابت	$B/y_1$		$H-P/P$		$L/y_1$		$P/y_1$		$Fr$		رابطه
	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	
۰/۲۵۵	-	-	۱/۴۲۱	۰/۰۳۴	۰/۷۰۲	۰/۲۰۶۲	۱/۳۳	۰/۳۱۹	۱/۴۰۶	-۰/۰۴۱۱	$A_1$
۰/۸۵۹	۰/۲۰۲	۰/۰۳۴	-	-	۰/۳۰۱	۰/۷۳۴	۱/۲۴۹	۰/۲۷۲	۱/۳۹۷	۰/۰۰۸۲	$A_2$
۰/۷۲۷	۰/۶۳۸	۰/۰۰۳	۱/۳۵۶	-۰/۱۱۶	-	-	۱/۳۷۹	۰/۰۸۶۸	۱/۵۸۴	-۰/۰۳۵۱	$A_3$
۱/۱۷۸	۰/۱۷۵	۱/۰۹	۰/۶۵۴	-۰/۱۸۱	۰/۲۶۵	۰/۷۶۴	-	-	۲/۹۴۹	۰/۰۲۵۴	$A_4$
۰/۶۲۸	۰/۳۷۷	-۰/۵۵	۱/۶۴	-۰/۰۰۵	۰/۴۵۲	۰/۴۸۴	۱/۰۹۸	۰/۲۷۶	-	-	$A_5$

جدول ۵- روابط ارائه شده به منظور تحلیل حساسیت ضریب جریان سرریز مثلثی.

ضریب ثابت	$\sin\theta$	$T/y_1$		$P/y_1$		$B/y_1$		$Fr$		رابطه
		توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	
۰/۹۲۸	-۰/۱۷۳	-	-	۰/۹۵۷	-۰/۳۸۲	۰/۸۵۱	-۰/۲۵۶	۱/۸۰۴	-۰/۰۳۶	$B_1$
۰/۹۷۹	-۰/۵۲۸	۱/۰۷۶	-۰/۳۲۹	-	-	۰/۶۶۶	-۰/۳۹۳	۱/۸۹۲	-۰/۰۲۱۲	$B_2$
۰/۶۹۳	-۰/۲۵۸	۱/۳۲۵	-۰/۰۵۸۶	۱/۰۹۴	-۰/۲۱۵	-	-	۱/۵۷۸	-۰/۰۲۷۹	$B_3$
۱/۰۱۷	-۰/۳۴۴	۱/۷۲۶	-۰/۲۰۵	۰/۹۴۸	-۰/۲۱۸	۰/۷۵۸	-۰/۳۷۶	-	-	$B_4$

جدول ۶- میزان خطای روابط ارائه شده به منظور تحلیل حساسیت ضریب جریان سرریزهای مستطیلی و مثلثی.

رابطه	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
RMSE	۰/۰۵۳۵۶	۰/۰۵۱۲۵	۰/۰۶۱۳۴	۰/۰۵۱۶۸۷	۰/۰۷۱۶۷	۰/۰۳۷۲۶	۰/۰۳۴۸۱	۰/۰۴۲۰۴	۰/۰۳۲۷۸

در هر دو مقطع تا ۳ درصد افزایش خواهد یافت. مقطع سرریز جانبی و ساختمان آن نیز بر کاهش یا افزایش این عامل اثرگذار بوده و ضریب شدت جریان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. همچنین در تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات پیشین با توجه به مفاهیم بنیادی علم هیدرولیک، عوامل بی‌بعد بیشتری جهت تخمین ضریب شدت جریان در نظر گرفته شده‌اند که این موضوع به پیش‌بینی دقیق‌تر این عامل کمک شایانی می‌نماید.

در تحقیق حاضر دو رابطه با ۵ و ۳ درصد خطا برای سرریزهای مستطیلی و مثلثی ارائه شد. در این میان ضریب شدت جریان به برخی از پارامترهای بی-بعد بدست آمده حساسیت بیشتری داشته و بدون در نظر گرفتن این عوامل برآورد ضریب جریان برای مقطع مستطیلی و مثلثی به ترتیب تا ۷ و ۴ درصد افزایش خطا روبرو خواهد شد. روابط ارائه شده تنها با در نظر گرفتن عدد فرود در کانال بالادست در مقایسه با روابط دیگر از دقت کمتری برخوردار بوده و خطای برآورد

#### منابع مورد استفاده

- آقایی ف و هنر ت، ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی ضریب تخلیه مکانی دبی در سرریزهای جانبی لبه پهن. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه‌های ۳۶ تا ۴۶.
- حسینی م و ابریشمی ج، ۱۳۸۵. هیدرولیک کانال‌های باز (چاپ چهاردهم). انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- خرمی ح، ۱۳۷۹. بررسی خصوصیات هیدرولیکی تعدادی سرریز تاج دایره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- هنر ت و طرازکار م، ۱۳۸۶. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین ضریب آبدهی سرریزهای جانبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۴، صفحه‌های ۲۰ تا ۲۸.
- Borghei M, Jalili MR, Ghodsian M, 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 125(10): 1051-1056.
- De Marchi G, 1934. Essay on the performance of lateral weirs in Italian. L EnergiaElettrica, Milan, 11(11): 849-860.
- Ghodsian M, 2003. Supercritical flow over a rectangular side weir. Canadian Journal of Civil Engineering 30: 596-600.
- Hager WH, 1987. Lateral out flow of side weirs. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 113(HY4): 491-504.
- Nadesamoorthy T and Thomson A, 1972. Discussion of spatially varied flow over side weirs. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 98(12): 2234-2235.
- Oliveto G, Biggiero V and Fiorentino M, 2001. Hydraulic features of supercritical flow along prismatic side weirs. Journal of Hydraulic Research 39: 73-82.
- RangaRajo KG, Prasad B and Grupta SK, 1979. Side weir in rectangular channel. Journal of Hydraulics Division-ASCE 105(5): 547-554.
- Singh R, Manivannan D and Satyanarayana T, 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 120(4): 814-819.
- Subramania K and Awasthy SC, 1972. Spatially varied flow over side weirs. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 98(1): 1-10.
- Swamee PK, 1988. Generalised rectangular weir equations. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 114(8): 945-949.