

## استخراج معادله دبی جریان مستغرق و تعیین ضریب دبی در سرریز لولایی با فشردگی های جانبی مختلف

ندا شیخ رضازاده نیکو<sup>1</sup>، محمد جواد منعم<sup>2\*</sup>، خداداد صفوی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1394/3/19 تاریخ پذیرش: 1394/9/11

### چکیده

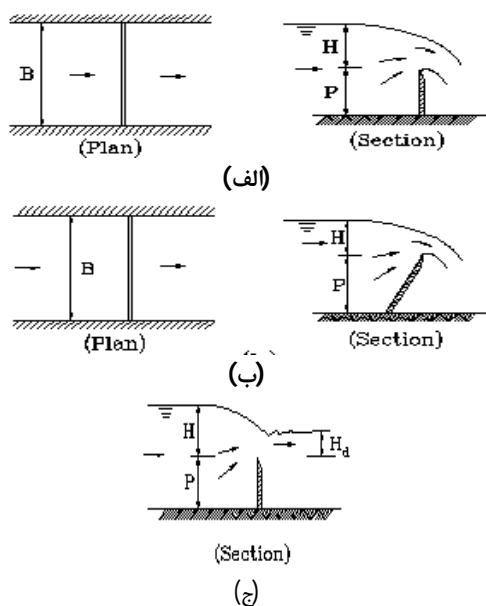
سرریزهای لولایی در شبکه های آبیاری به منظور کنترل، تنظیم تراز سطح آب و اندازه گیری دبی جریان به کار می روند. پژوهش های کمی در خصوص روابط دبی-اشل این سازه در شرایط جریان مستغرق ارائه شده است. در این پژوهش، یک معادله تئوری پایه برای جریان عبوری از سازه با استفاده از رابطه انرژی و جریان بحرانی ارائه گردید. به منظور تعیین ضرایب معادله جریان در شرایط مستغرق، داده های حاصل از یک مدل آزمایشگاهی با سه سرریز لولایی در سه فشردگی جانبی مختلف به همراه داده های USBR با چهار فشردگی جانبی مختلف اندازه گیری شد و رابطه ای برای محاسبه دبی جریان از سرریزهای لولایی در شرایط جریان مستغرق ارائه شد. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج رابطه بدست آمده، دقت رابطه شاخص استغراق بین 0/2 و 0/9 در حدود  $\pm 20\%$  است که در مقایسه با رابطه ویلمونته (دقت  $\pm 40\%$ ) از دقت قابل قبولی برخوردار است.

**واژه های کلیدی:** آنالیز ابعادی، اندازه گیری دبی جریان، ضریب دبی مدل آزمایشگاهی، معادله تحلیلی

### مقدمه

سرریزها از جمله سازه های متداول اندازه گیری دبی، کنترل سطح آب و انحراف جریان می باشند. تاکنون انواع مختلفی از سرریزها در کانال های آبیاری مورد استفاده قرار گرفته اند. اگرچه تعریف بسیاری از انواع سرریزها ساده و مشابه است اما کاربرد و رفتار هیدرولیکی هر یک، متفاوت است (Borghei et al., 2003). سرریز لبه تیز قائم، شامل صفحه ای عمود بر جهت جریان در کانال (شکل 1، الف)، سرریز لبه تیز مایل شامل صفحه ای زاویه دار نسبت به کف کانال بوده که در حالت قائم مشابه سرریز لبه تیز قائم می باشد (شکل 1، ب). سرریزهای لولایی از جمله سرریزهای لبه تیز بوده که در بهره برداری های توان آن را در زوایای مختلف نسبت به کف کانال تنظیم نمود. از جمله مزایای سازه سرریز لولایی، امکان استفاده از سازه به عنوان آبگیر و آب بند، امکان تخلیه رسوبات، نیاز به انرژی کم و مکانیزم ساده چرخ دنده و ریسمان جهت تنظیم آسان سازه، سهولت اتوماسیون و قابلیت اتصال به شبکه SCADA (Supervisory

Control and Data Acquisition) می باشد. در حالت جریان آزاد، تراز پایاب دبی عبوری از روی سرریز را تحت تأثیر قرار نمی دهد. اگر تراز پایاب، جریان عبوری از سازه را تحت تأثیر قرار دهد، جریان مستغرق می باشد (شکل 1، ج و شکل 2).



شکل 1- انواع سرریزها الف) لبه تیز قائم، ب) سرریز لبه تیز

مایل (Borghei et al., 2003)

1- دانشجوی دکتری علوم مهندسی آب، سازه های آبی دانشگاه فردوسی مشهد و

فارغ التحصیل دانشگاه تربیت مدرس

2- دانشیار گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

3- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب موسسه تحقیقات آب تهران

\* نویسنده مسئول: (Email: monem\_mj@modares.ac.ir)

$n$  و ضرایب تجربی هستند. این مقادیر تجربی را برای محدوده‌های  $\frac{h}{p}$  کوچک‌تر از 1 و  $\theta$  بین  $16/2-63/4$  درجه می‌توان از روابط 4، 5 و 6 بدست آورد. با مقایسه داده‌های محاسبه شده از رابطه و داده‌های اندازه‌گیری شده مشخص شد که خطای روابط ارائه شده برای شرایط مستغرق تا 10 درصد می‌باشد.

(4)

$$A = -0.0013\theta + 1.0663$$

$$A=1 \text{ for } \theta > 60^\circ$$

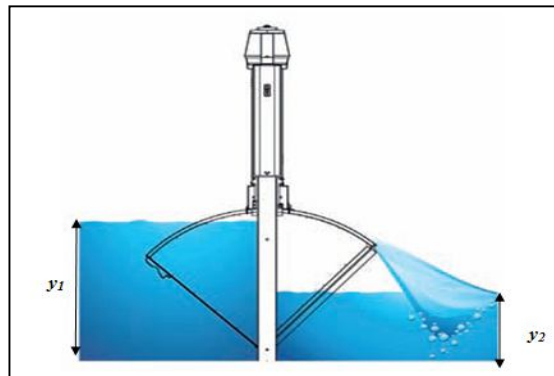
$$n = 0.1525 + 0.006077\theta - 0.000045\theta^2$$

حسین‌زاده و همکاران بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و کاربرد معادله مرسوم سرریزهای قائم، روابطی برای محاسبه ضریب دبی سرریز لولایی بدون فشردگی برای جریان مستغرق به دست آوردند. پژوهش ایشان در یک فلوم به عرض  $0/3$  متر، ارتفاع  $0/45$  متر، طول  $1$  متر و دبی‌های بسیار کم ( $1/4-5/5$  لیتر در ثانیه) انجام شده است، خطای رابطه ارائه برای شرایط مستغرق  $13/57$  درصد می‌باشد. (حسین‌زاده و همکاران، 1389).

شیخ رضازاده نیکو و همکاران (1392) به بررسی اثر تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی بر روی ضریب دبی عبوری از سرریزهای لولایی در شرایط جریان آزاد پرداختند. آزمایش‌ها در یک کانال بتنی مستطیلی شکل با پهنای یک متر با سه سرریز لولایی با ابعاد  $0/80 \times 0/65$ ،  $0/60 \times 0/55$  و  $0/40 \times 0/40$  متر (طول تیغه و عرض) انجام شد. مقایسه آنگذری سرریز لولایی با تبدیل و بدون تبدیل بررسی شد. ضریب دبی، با وجود تبدیل نسبت به عدم وجود تبدیل، بین 10 تا 15 درصد افزایش می‌یابد و این افزایش برای تبدیل تدریجی بیش از تبدیل ناگهانی می‌باشد.

ارونقی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی و عددی جریان عبوری از سرریزهای لولایی در شرایط جریان آزاد پرداختند. معادله دبی-اشل سرریز لولایی را برای هریک از زوایای  $0$ ،  $15$ ،  $30$  و  $45$  درجه در یک مدل آزمایشگاهی کوچک که شامل کانال مستطیلی به عرض  $0/25$  متر و عمق  $0/7$  متر و ارتفاع سرریز  $0/2$  متر بوده تعیین کردند (Arvanaghi et al., 2014).

اکثر پژوهش‌های انجام شده بر روی سرریزهای لولایی با فشردگی جانبی  $0/925$  و در زوایای  $16/2-63/4$  بوده است و مقادیر آزمایشگاهی دبی-اشل تعیین شده است و در نهایت با اعمال ضریب تصحیح زاویه و استغراق بر روی معادله دبی-اشل سرریز مستطیلی قائم، معادله دبی ارائه شده است (در فشردگی جانبی  $0/84$ ،  $0/59$  و  $0/51$  تنها یک یا دو زاویه مورد بررسی شده است). در پژوهش حاضر با انجام آزمایش بر روی سرریزهای لولایی با فشردگی جانبی  $0/4$ ،  $0/6$  و  $0/8$  در زوایای مختلف ( $0$ ،  $20$ ،  $40$ ،  $60$ ،  $80$  و  $90$  درجه) به



شکل 2- نمایی از یک سرریز لولایی در حالت افزایش پایاب

تاکنون مطالعات بسیاری بر روی انواع سرریزهای لبه‌تیز قائم هم‌عرض کانال و با فشردگی جانبی در شرایط مستغرق توسط پژوهشگران مختلف از جمله ره‌بوک (Rehbock., 1929)، ویلمونته (Villemonte., 1947)، کیندسواتر و کارتر (Kindsvater and Carter., 1957)، باس (Bos., 1976)، وئو و راجاراتنام (Wu and Rajaratnam., 1996)، دیپارتمان عمران آمریکا (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation., 2001) برقی و همکاران (Borgheti et al., 2003)، انجام شده است.

هالسینگ (Hulsing., 1967) رابطه دبی-اشل سرریز مستطیلی لبه‌تیز مایل هم‌عرض کانال را با نسبت شیب‌های  $3:3$ ،  $2:3$  و  $1:3$  به سمت پایین دست تعیین نموده و با سرریز مستطیلی لبه‌تیز قائم مقایسه نمود. فاکتور تصحیح جریان مستغرق با نسبت بارآبی به ارتفاع سرریز  $0/20-2/0$  ارائه شده است.

واهلین و رپلوگل در پروژه‌ای از سوی موسسه USBR، مطالعات آزمایشگاهی را بر روی کانال روباز مستطیلی به طول  $15$  متر و عرض  $1/229$  متر برای دو سرریز لولایی به عرض‌های  $1/2$  و  $1/14$  متر و طول‌های  $0/61$  و  $0/46$  متر انجام دادند (Wahlin and Replogle., 1994).

براتر و کینگ (Brater and King., 1976) رابطه ضریب دبی مستغرق ویلمونته را برای سرریزهای لولایی تصحیح کردند. معادله جریان در شرایط مستغرق برای سرریزهای لولایی، از معادله مرسوم سرریزهای قائم (معادله 1) بوده که با اعمال ضریب تصحیح استغراق براتر و کینگ (Brater and King., 1976) تعیین می‌گردد (روابط 2-6).

$$Q = CsCaCe \frac{2}{3} \sqrt{2gbh}^{3/2}$$

(1)

$$Cs = A \left[ 1 - \left( \frac{h_s}{h} \right)^{1.5} \right]^n$$

(2)

$$Ca = 1.0333 + 0.00384 \theta + 0.000045 \theta^2$$

(3)

جدول 1- دامنه تغییرات پارامترها در این پژوهش

دامنه تغییرات مقدار پارامتر	پارامتر مورد نظر
$10^4 - 2 \times 10^5$	Re
16/2-90	$\Theta(^{\circ})$
0/4-0/925	b/B
0/19-0/72	h/R
0/01-0/98	hs/h
0/128-0/601	P (m)

در این پژوهش برای رسیدن به یک معادله پایه هیدرولیکی، از مفهوم عمق بحرانی استفاده شده است. در این رویکرد، فرض می‌شود که جریان با شرایط بحرانی از روی لبه سرریز عبور می‌کند (شکل 4). بدین ترتیب با نوشتن معادله انرژی بین مقطع بالادست و روی لبه سرریز لولایی و صرف نظر از افت انرژی روابط انرژی به صورت رابطه 7 نوشته می‌شود.

$$H_1 = y_U + \frac{Q^2}{2gB^2 y_U^2} = y_c + \frac{Q^2}{2gB^2 y_c^2} + P \quad (7)$$

از طرفی برای شرایط جریان بحرانی در مقاطع مستطیلی روابط (8 تا 11) برقرار است.

$$QB = gA^3 \quad (8)$$

$$P = R \sin \theta \quad (9)$$

$$y_U - R \sin \theta - y_c = \frac{y_c^3}{2} \left( \frac{1}{y_c^2} - \frac{1}{y_U^2} \right) \quad (10)$$

$$\frac{y_c^3}{2y_U^2} - \frac{3}{2} y_c + (y_U - R \sin \theta) = 0 \quad (11)$$

در این روابط،  $y_c$  عمق بحرانی،  $Q$  دبی عبوری سرریز. با حل معادله 11 و جایگزینی در معادله 8، شکل کلی رابطه تعیین دبی به صورت معادله 12 تعیین گردید. در این معادله که به عنوان معادله جریان پایه برای سرریز لولایی به کار می‌رود به جای استفاده از بار آبی بالادست سرریز از عمق آب جریان در مقطع بالادست سرریز استفاده شده است.

$$Q = C_{IS} \left[ 2\sqrt{2gBy_U^{3/2}} \left( \cos \left( \frac{1}{3} \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{y_U^2 - (y_U - P)^2}}{(y_U - P)} \right) \right) \right)^3 \right] \quad (12)$$

در شرایط جریان مستغرق،  $C_{IS}$  ضریب دبی معادله بوده که می‌بایست با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تعیین شود. به منظور تعیین رابطه ضریب دبی معادله 12 از آنالیز ابعادی استفاده گردید. پارامترهای مستقل مؤثر بر ضریب دبی سرریز لولایی به صورت رابطه 13 می‌باشند.

$$Q = f_1(h, hs, b, B, R, \rho, \mu, g, \sigma, \theta) \quad (13)$$

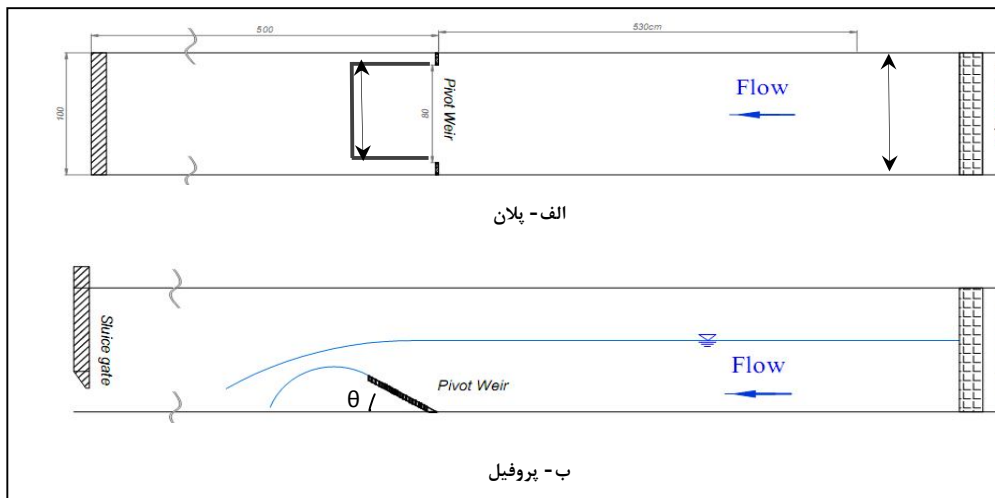
بررسی آزمایشگاهی اثر فشردگی جانبی و زاویه در شرایط جریان مستغرق پرداخته شده و معادله‌ای بر پایه ترکیب معادله‌های انرژی و عمق بحرانی و پارامترهای هندسی سرریز لولایی و کانال ارائه گردیده که دارای دقت قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با معادله دبی اصلاح شده برای سرریزهای مستطیلی قائم است. در نهایت، نتایج آزمایش‌های کنونی با نتایج آزمایش‌های USBR برای سرریز لولایی با فشردگی جانبی 0/925 مقایسه گردیده است.

## مواد و روش‌ها

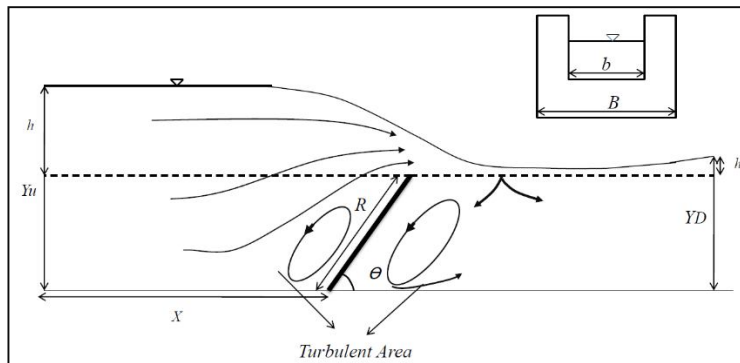
کلیه آزمایش‌های پژوهش فوق، در آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تحقیقات آب انجام شد. جهت انجام آزمایش‌ها، از یک کانال مستطیلی بتنی با ابعاد 10/30، 1 و 1 متر به ترتیب طول، عرض و ارتفاع استفاده شد (شکل 3). اجزای تشکیل دهنده این مدل آزمایشگاهی شامل کانال، سامانه تامین آب، آرام کننده‌ها (کاهش تلاطم جریان قبل از سرریز لولایی)، سرریزهای لولایی و دریچه کشویی (در انتهای کانال) می‌باشند. سه سرریز لولایی با ابعاد 0/80×0/65، 0/60×0/55 و 0/40×0/40 متر (طول تیغه و عرض) واقع در فاصله حدود 5/5 متری از ابتدای کانال نصب و مورد آزمایش واقع شدند. در تعدادی از آزمایش‌های انجام شده، با قرار دادن یک دریچه کشویی در انتهای کانال، عمق آب به اندازه‌ای بالا آورده شد که شرایط جریان مستغرق رخ دهد. برای اندازه‌گیری دبی جریان از یک سرریز از پیش کالیبره شده در بالادست، سرریز لولایی استفاده شد و بار آب، در بالادست و پایین دست سرریز نیز با استفاده از یک عمق سنج با دقت 0/2 میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

در شرایط آزمایشگاهی می‌بایست اعداد رینولدز جریان جهت حصول آشفتگی جریان بیش از  $10^{3/5}$  باشد (Henderson., 1966). هم چنین برای پرهیز از اثرات کشش سطحی، ارتفاع تیغه آب روی سرریز لبه تیز بایستی حداقل 0/04 متر باشد (Novak and Cabelka (1981). برای پرهیز از اثرات مقیاسی، در مدل‌سازی فیزیکی سرریزها حداقل عرض کانال 0/60 متر توصیه شده است (یاسی، 1390) و بار آبی روی سرریز در فاصله 4-5 برابر، بار آبی در بالادست سرریز اندازه‌گیری گردد (ISO, 1980). در پژوهش کنونی برای پرهیز از خطاهای مقیاسی، از یک مدل نسبتاً بزرگ استفاده شد. ابعاد هندسی و مقادیر متغیرهای هیدرولیکی به اندازه‌ای در نظر گرفته شد، که خارج از محدوده تعریف شده برای بروز خطاهای مقیاسی است (جدول 1).

که در آن،  $Re$  عدد رینولدز،  $We$  عدد وبر،  $P$  ارتفاع سرریز از کف کانال،  $B$  عرض کانال،  $\theta$  زاویه سرریز نسبت به کف،  $b$  عرض سرریز،  $h$  بار آبی بالادست سرریز،  $hs$  بار آبی پایین دست سرریز و  $R$  طول سرریز می‌باشد (شکل 4).



شکل 3- پلان و پروفیل کانال آزمایشگاهی



شکل 4- پارامترهای سرریز لولایی

$$RE = \frac{X_{measured} - X_{proposed}}{X_{measured}} \times 100 \quad (15)$$

$$MAE = \frac{\sum \left( 1 - \frac{X_{proposed}}{X_{measured}} \right)}{N} \times 100 \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_{measured} - X_{proposed})^2}{N}} \quad (17)$$

که در آن،  $X_{measured}$  داده‌اندازه‌گیری شده و  $X_{proposed}$  داده محاسبه شده‌است.

### نتایج و بحث

در شرایط جریان مستغرق با تغییر عمق پایاب، عمق آب بالادست نیز تغییر می‌کند و بنابراین برای تعیین ضریب دبی لازم است که

که در آن،  $\rho$  جرم حجمی سیال،  $\mu$  لزجت دینامیکی سیال،  $\sigma$  کشش سطحی،  $Q$  دبی جریان و  $g$  شتاب ثقل است. با صرف نظر از اثرات کشش سطحی و لزجت، رابطه جریان آزاد (شکل 4) به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$Cs = f_2 \left( \frac{b}{B}, \frac{h}{p}, S \right) \quad (14)$$

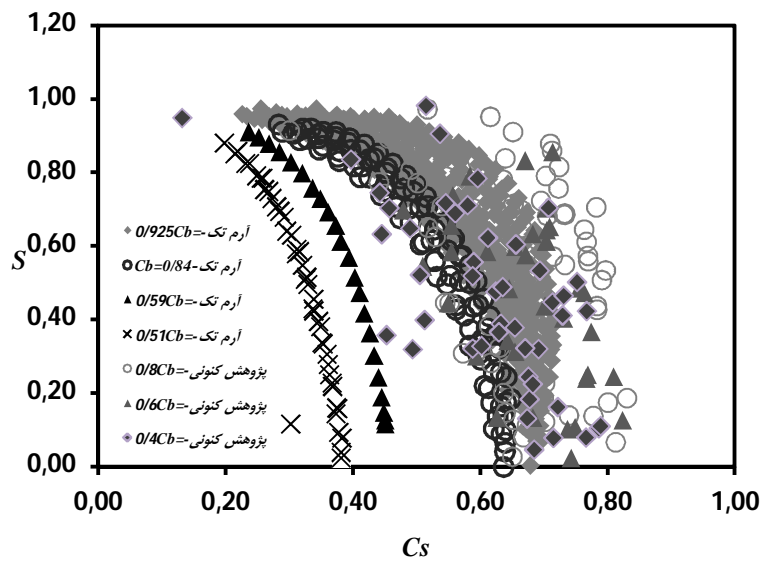
برای تعیین ضرایب روابط برازشی پیشنهادی، خطای نسبی ( $RE$  رابطه 15) به عنوان تابع معیار در نظر گرفته شد. همچنین، میانگین خطای نسبی برآورد ( $MAE$  (Mean Absolute Error) (رابطه 16) و جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$  (Root Mean Square Error) (رابطه 17) نیز محاسبه و گزارش گردید. ضریب  $RMSE$  نشان دهنده درجه وابستگی خطی دو پارامتر نسبت به یکدیگر می‌باشد،  $RMSE$  میزان انطباق مقادیر ضریب دبی بالا و  $MAE$  دید کلی تری از میزان انطباق مقادیر ضریب دبی متوسط را نشان می‌دهد (Karunanithi et al., 1994).

مستغرق ( $C_s$ ) نسبت به تغییرات شاخص استغراق ( $S$ ) ترسیم گردید (شکل 5). ملاحظه می‌گردد که با افزایش نسبت استغراق، ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. با تعیین رابطه ضریب دبی از معادله‌های 2 ملاحظه گردید که خطای نسبی در محدوده  $\pm 40\%$  می‌باشد که برای فشردگی جانبی کمتر از  $0/925$  خطا بیش از  $\pm 20\%$  است. این به دلیل آن است که رابطه رگرسیونی تعیین شده برای ضریب تصحیح فقط برای فشردگی جانبی  $0/925$  قابل کاربرد است (شکل 6).

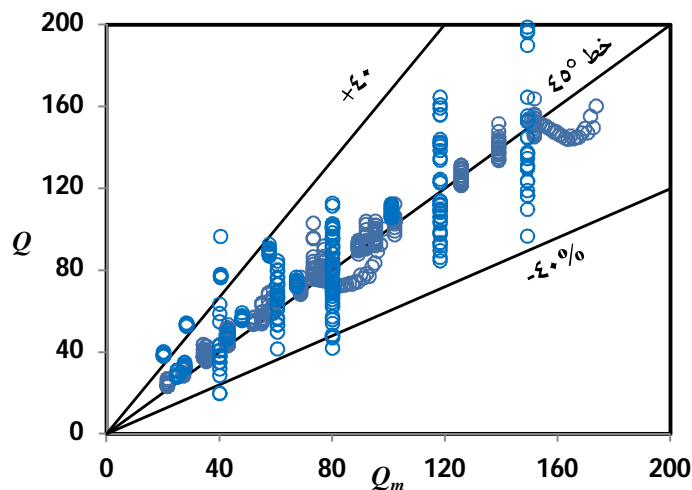
هر دو عمق آب بالادست و پایین دست تعیین گردد. داده‌های آزمایشگاهی برای شرایط جریان مستغرق بر روی سرریز لولایی با فشردگی‌های جانبی  $0/4, 0/51, 0/59, 0/6, 0/8, 0/84$  و  $0/925$  بررسی گردید که در زیر نتایج پژوهش ارائه می‌گردد.

**الف - کاربرد معادله عمومی دبی جریان عبوری از سرریزهای مستطیلی (معادله 1)**

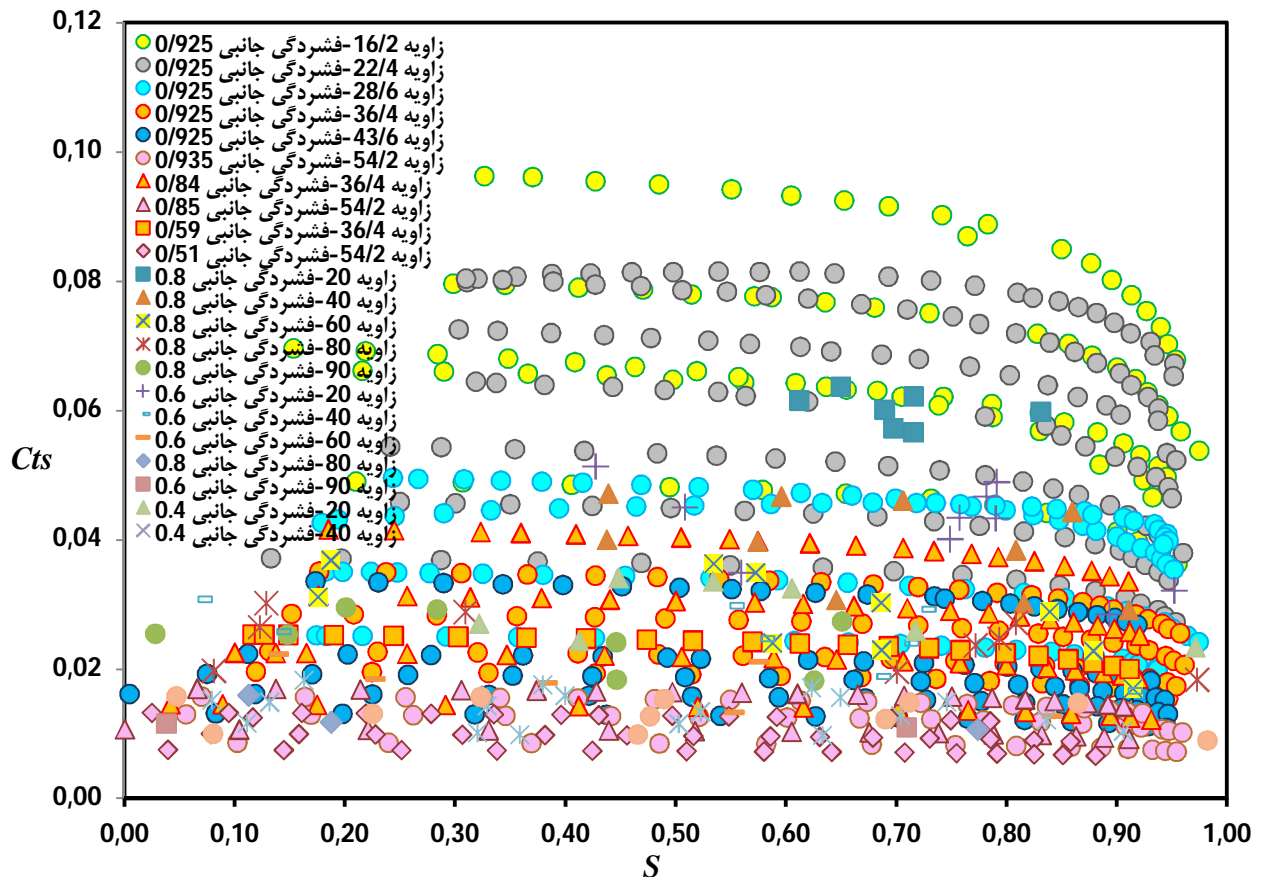
با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها و کاربرد معادله عمومی دبی سرریزهای مستطیلی، تغییرات ضریب دبی جریان



شکل 5- مقایسه ضریب دبی جریان مستغرق داده‌های آزمایشگاهی و ضریب دبی معادله 1 الف) داده‌های USBR (آرم تک) و ب) پژوهش حاضر



شکل 6- خطای نسبی فشردگی جانبی  $0/51, 0/59, 0/84$  و  $0/925$  برای داده‌های USBR و  $0/6, 0/8$  و  $0/4$  برای داده‌های کنونی



شکل 7- تغییرات ضریب دبی جریان مستغرق از معادله 12 در مقابل شاخص استغراق برای فشردگی‌های مختلف

$$C_{tsm} = Q_m / \left[ 2\sqrt{2g} B y_U^{3/2} \left( \sqrt{\cos\left(\frac{1}{3} \cos^{-1}((y_U - P)y_U)\right)} \right) \right]^3 \quad (19)$$

در شکل 8 خطای نسبی رابطه 18 برای داده‌های آزمایشگاهی در محدوده 30%± می‌باشد. لازم به ذکر است که خطای نسبی معادله 18 برای محدوده استغراق  $0.2 < S < 0.9$  کم‌تر از 20%± است. برای فاکتور استغراق  $0.2 < S < 0.9$  خطای نسبی افزایش می‌یابد و این به دلیل آن است که در شرایط  $S < 0.2$ ، جریان گذرا (transitional flow) می‌باشد و برای  $S > 0.9$  فاکتور استغراق نزدیک به 1 می‌باشد که خطا افزایش می‌یابد. همچنین با محاسبه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای نسبی برآورد (MAE) به ترتیب در 0/0054 و 11/52% برای داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مطالعات آزمایشگاهی بر روی جریان عبوری از سرریز لولایی در زوایای مختلف (20-90 درجه) و فشردگی‌های جانبی مختلف (0/4-0/925) برای دامنه وسیعی از دبی (20-174 لیتر

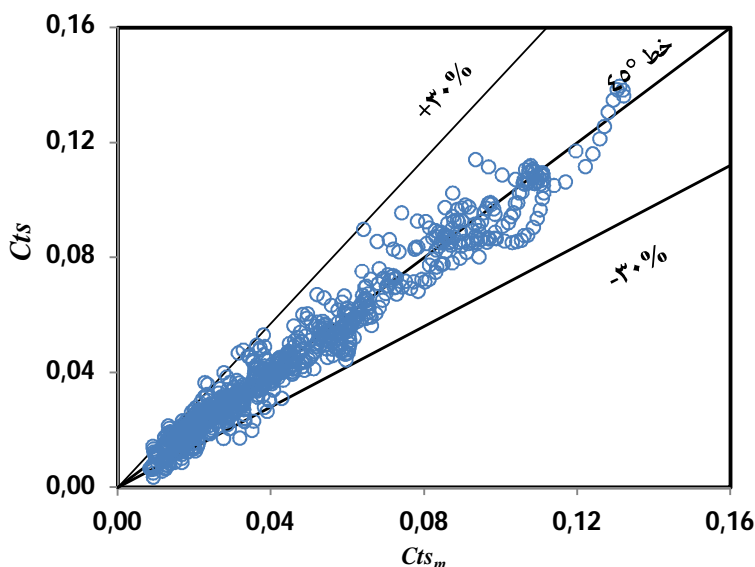
### ب- رابطه ضریب دبی سرریز لولایی با کاربرد معادله 12 برای سرریز لولایی با فشردگی‌های جانبی

بر پایه نتایج مدل آزمایشگاهی کنونی برای سرریزهای لولایی با فشردگی جانبی مختلف و نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط USBR با فشردگی جانبی 0/51، 0/59، 0/84 و 0/925 (Wahlin and Replogle., 1994) و استفاده از معادله 12، تغییرات ضریب دبی ( $C_{ts}$ ) در مقابل شاخص استغراق برای دبی‌های مختلف در شکل (7) ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد ضریب دبی مستغرق برای یک استغراق ثابت با افزایش  $C_b$  (کاهش فشردگی جانبی) افزایش می‌یابد و این به دلیل کاهش افت ناشی از فشردگی می‌باشد. برای یک فشردگی معین، تغییرات ضریب دبی مستغرق برای زوایای کم‌تر از 40 درجه قابل ملاحظه است و با افزایش زاویه (بیش از 40 درجه) شیب تغییرات کاهش می‌یابد. بنابراین، با افزایش زاویه سرریز لولایی، ضریب دبی مستغرق کاهش می‌یابد و این دلیل آن است که تأثیر فشردگی قائم افزایش می‌یابد.

$$C_{ts} = 0.4 \left( \frac{-0.001 + 0.08 \frac{h}{R \sin \theta}}{1 - 1.5S + 1.6S^2} \right)^{0.75} \left( \frac{b}{B} \right) - 0.003 \quad (18)$$

خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

در ثانیه) تحت شرایط جریان مستغرق صورت گرفته است. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده و روابط استخراج شده به‌طور



شکل 8- خطای نسبی رابطه رگرسیونی ضریب دبی، برای فشردگی‌های مختلف

می‌یابد. تأثیر افزایش زاویه بر کاهش ضریب دبی برای زوایای بیش از 40 درجه بیش از تأثیر تغییر عرض سرریز بوده به طوری‌که حتی با افزایش عرض سرریز برای زوایای بیش‌تر از 40 درجه، روند افزایش ضریب دبی بسیار کند می‌باشد.

در انجام پژوهش بر روی مدل‌های آزمایشگاهی، هرچه تعداد آزمایش‌ها و داده‌های بیش‌تر باشد، نتایج آماری مناسب‌تری حاصل می‌شود و روابط استخراج شده اعتبار بیش‌تری خواهند داشت. در پژوهش کنونی، به نظر می‌رسد تعداد آزمایش‌ها و داده‌های اندازه-گیری شده برای ارائه رابطه کلی و تعمیم نتایج کافی نیست به همین دلیل از نتایج دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه (نتایج USBR) استفاده شد و محدوده وسیعی از داده‌ها (حدود 900) برای استخراج رابطه ارائه شده مورد استفاده قرار گرفت.

پیشنهاد می‌شود به منظور تعیین دقیق نتایج، آزمایش‌هایی بر روی سرریزهای لولایی با دامنه وسیع‌تری از زوایا و فشردگی-های جانبی انجام شود.

### فهرست علائم

- دبی جریان  $Q$
- عدد رینولدز  $Re$
- ضریب دبی مستغرق معادل هکیندسواتر - کارتر  $Cs$
- عدد وبر  $We$
- عرض کانال  $B$

با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج رابطه ارائه شده 18، دقت رابطه ارائه گردیده برای معادله پیشنهادی در حدود  $\pm 30\%$  می‌باشد و برای فاکتور استغراق بین 0/2 و 0/9 کم‌تر از  $\pm 20\%$  است که در مقایسه با رابطه استغراق 2 با دقت  $\pm 40\%$  دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. رابطه استغراق برتر و کینگ (Brater and King., 1976) فقط برای فشردگی جانبی 0/925 مناسب است ولی رابطه ارائه گردیده برای کلیه فشردگی‌های جانبی در محدوده 0/4-0/925 مناسب می‌باشد.

با توجه به نتایج آزمایشگاهی ملاحظه شد، با کاهش عرض سرریز لولایی نسبت به عرض کانال، به دلیل تأثیر فشردگی جریان و گردابه‌های تشکیل شده در نزدیکی کناره بالادست سرریز، گرادیان سرعت تبدیل به گرادیان فشار گردیده که سبب افزایش بارآبیشد و پدیده برگشت آب رخ نمود. با ایجاد فشردگی جانبی، عرض مؤثر مجرای عبور جریان، کاهش یافته و ضریب دبی کاهش می‌یابد.

کم‌ترین میزان ضریب دبی مربوط به زاویه 90 درجه می‌باشد. در زوایای بیش‌تر تأثیر مقاومت جریان‌های ثانویه بیشتر بوده و با افزایش زاویه، افت جریان افزایش یافته و بنابراین ضرایب دبی کاهش می‌یابد. از تجزیه و تحلیل نتایج مشخص شد با افزایش نسبت عرض سرریز به عرض کانال ( $C_b$ ) و لذا کاهش اثرات فشردگی جریان، ضریب دبی برای یک شاخص استغراق معین، افزایش می‌یابد. روند تغییرات ضریب دبی تا زاویه 20 درجه بالا بوده و با افزایش زاویه، از شیب آن کاسته می‌شود. برای زوایای بیش از 40 درجه، با افزایش افت، بارآبی بالادست افزایش یافته و مقدار ضریب دبی کاهش

in science.2.3: 401-406.

Borghei, S., Vatania, Z., Ghodsian, M. and Jalili, M. 2003. Oblique rectangular sharp-crested weir, Proceedings of the ICE-Water and Maritime Engineering. 156: 185-191.

Wahlin, B.T and Replogle, J.A. 1994. Flow Measurement Using an Overshot Gate. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Standard from 208 (Rev. 2-80) R&M b ANSI Sd. m-111, pp. 298-102.

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. 2001. Water measurement manual. <www.usbr.gov/pmts/hydraulics\_lab/pubs/wmm> (Aug. 2, 2012).

Rehbock, T. 1929. Discussion of precise weir measurements by EW Schoder and KB Turner, ASCE. vol. 93, pp. 1143-1162.

Villemonte, J.R. 1947. Submerged weir discharge studies, Engineering News-Record. 139:866-69.

Kindsvater, C.E and Carter, R.W. 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Journal of the Hydraulics Division. 83: 1-36.

Ramamurthy, A.S., Tim, U.S and Rao, M. 1987. Flow over sharp-crested plate weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 113 (2), pp. 163-172.

Bos, M. G. 1976. Discharge measurement structures. NASA STI/Recon Technical Report N, 78, 31395.

Brater, E.F., and King, H.W. (1976). "Handbook of Hydraulics.", 6th ed. McGraw-Hill, New York. 584pp.

SheshaPrakash, M.N. and Shivapur, A.V. 2004, "Generalized Head-Discharge Equation for Flow over Sharp Crested Inclined Inverted V-Notch", Journal of Irrigation and Drainage Engineering Division, ASCE, Vol. 130 (4), Aug. 2004, pp 325-330.

Hulsing, H. (1967). "Measurement of peak discharge at dams by indirect method.", U.S. Geol. Survey Techniques Water- Resources Inv., Vol.3, chap. A5, pp. 29.

Henderson, F.M. 1966. Open Channel Flow, Prentice-Hall Inc. <http://www.scribd.com/doc/136483721/Open-Channel-Flow-Henderson#scribd>

ISO (1980). International Organization of Standards. ISO 1438/1-1980(E). Water flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes - Part 1: Thin plate weirs. Available from Global Engineering Documents at <http://global.ihs.com>

Novak, P and Cabelka, J. 1981. Models in Hydraulic Engineering: Physical Principles and Design Applications, Pitman Advanced Publishing, Inc.

ضرایب تجربی برای رابطه ویلمونتهجریان مستغرق  $A, n$

$b$  عرض سرریز

$C_{ts}$  ضریب دبی معادله پیشنهادی جریان مستغرق

$R$  طول سرریز

$C_e$  ضریب دبی سرریز مستطیلی قائم

زاویه سرریز نسبت به کف کانال  $\theta$

$P$  ارتفاع سرریز

ضریب تصحیح زاویه سرریز لولایی  $Ca$

عمق آب بالادست سرریز  $Y_{II}$

ضریب فشردگی (نسبت عرض سرریز به عرض کانال)  $C_b$

عمق آب بالادست سرریز  $Y_D$

نیروی وزن با شاخص شتاب ثقل  $g$

بارآبی بالادست سرریز  $h$

نیروی لزجت با شاخص ویسکوزیته دینامیکی سیال  $\mu$

بارآبی پایین دست سرریز  $h_s$

نیروی کشش سطحی با شاخص کشش سطحی  $\sigma$

جرم مخصوص  $\rho$

انرژی در مقطع 1  $H_1$

انرژی در مقطع 2  $H_2$

عمق بحرانی  $y_c$

خطای نسبی  $RE$

جذر میانگین مربعات خطا  $RMSE$

میانگین خطای نسبی برآورد  $MAE$

مقدار اندازه گیری شده  $X_{measured}$

ضریب دبی معادله پیشنهادی  $X_{proposed}$

بارآبی روی لبه سرریز  $h_E$

## منابع

حسین زاده، ز، منعم، ج. و کوچک زاده، ص. 1389. تعیین آزمایشگاهی

ضریب دبی سرریز لولایی خودکار. سومین همایش ملی مدیریت

شبکه های آبیاری و زهکشی.

شیخ رضازاده نیکو، ن، منعم، ج. و صفوی، خ. 1392. استخراج معادله

جریان آزاد و تعیین ضرایب مربوط در سرریزهای لولایی با

فشردگی های جانبی مختلف. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

یاسی، م. 1390. درسنامه مدل های فیزیکی و هیدرولیکی. دانشگاه

ارومیه.

Arvanaghi, H., Naderi, V., Azimi, V and Salmasi, F. 2014.

Determination of discharge coefficient in inclined rectangular sharp-crested weirs using experimental and numerical simulation. Journal of current research



Engineering.8: 201-220.

Wu,S., and Rajaratnam,N. 1996. Submerged flow regimes of rectangular sharp-crested weirs. Journal of Hydrology Engineering, ASCE. 122.7: 412-414.

Boston/London/Melbourne, 460 pp.

Karunanithi,N., Grenney,W.J., Whitley, D and Bovee,K. 1994. Neural networks for river flow prediction, Journal of Computing in Civil

## Extraction of flow Rate Equation under Submerged Flow Condition and Determining of Related Coefficients in Pivot Weirs with the Different Side Contractions

N. Sheikh Rezazadeh Nikou<sup>1</sup>, M.J.Monem<sup>\*2</sup>, Kh. Safavi<sup>3</sup>

Received: Jun.09, 2015

Accepted: Dec.02, 2015

### Abstract

Pivot weirs are used in irrigation networks in order to regulate water surface elevation and flow measurements. Few studies have been reported on head-discharge relation of mentioned structure under submerged flow condition. In this study, one equation based on energy and critical depth equations is proposed to determine discharge equation. To determine the coefficients of these equations, measured data in an experimental model on the three pivot weirs with different three side contractions compiled with the USBR (United States Bureau of Reclamation) experimental data of data, the discharge coefficient was estimated for and submerged flow condition. Comparisons of experimental results with presented relation indicates the range of error for the proposed equation was less than  $\pm 20\%$ , where the submergence factor was between 0.2 and 0.9, which in comparison to Brater and King' relation with  $\pm 40\%$  error has a good accuracy.

**Keywords:** Analytical Equation, Dimensional Analysis, Discharge Coefficient, Experimental Model, Flow Measurement

---

1-PhD Candidate of Water Science and Engineering -Hydraulic Structural Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and former MsCatTarbiatModaresUniversity

2-Associate Professor of Hydraulic Structural Engineering Department at Tarbiat Modares University

3 -Senior Research Engineer, Water Research Institute of Tehran

(\*- Corresponding Author Email: monem\_mj@modares.ac.ir)