

## ارائه یک معادله دبی اشل ساده برای سرریزهای لولایی با فشردگی‌های جانبی مختلف

ندا شیخ رضازاده نیکو<sup>1</sup> - محمد جواد منعم<sup>2\*</sup> - علی نقی ضیائی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1393/04/16

تاریخ پذیرش: 1394/01/26

### چکیده

سرریزهای لولایی در شبکه‌های آبیاری به منظور کنترل، تنظیم تراز سطح آب و اندازه‌گیری دبی جریان به کار می‌روند. مطالعات محدودی در خصوص روابط دبی - اشل این نوع سرریز ارائه شده است، با توجه به اهمیت و قابلیت خودکارسازی این سازه در شبکه‌های آبیاری، لازم است روابط ساده‌تری از دبی - اشل در شرایط مختلف برای آن استخراج گردد. در این پژوهش، با کاربرد قانون فررو، رابطه دبی برای کلیه سرریزهای لولایی با فشردگی‌های 0/4، 0/6، 0/8 و 0/925 ارائه گردید. به منظور تعیین ضرایب معادله دبی از داده‌های آزمایشگاهی با سه سرریز لولایی در هندسه‌های مختلف و داده‌های USBR برای سرریز لولایی با فشردگی 0/925 استفاده شده است. با مقایسه معادله استخراج شده با نتایج آزمایشگاهی، دقت رابطه ارائه گردیده برای جریان آزاد در محدوده  $\pm 15\%$  درصد به دست آمد که در کاربردهای عملی مطلوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زاویه سرریز، قانون فررو، مدل آزمایشگاهی

### مقدمه

افزایش انعطاف‌پذیری تقاضای آب از طریق خودکارسازی عملیات و سهولت در مدرنیزاسیون آبیاری ثقلی می‌گردد؛ بنابراین، ارائه روابط دبی - اشل ساده، به منظور خودکارسازی سازه بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

تاکنون روابط دبی مختلفی با کاربرد معادلات و اصول متفاوت توسط بسیاری از پژوهش‌گران برای سازه‌های آبی استخراج ارائه شده است. کیندسواتر و کارتر (2) معادله دبی را از معادله انرژی و پیوستگی در سرریزها استخراج نموده‌اند. فررو (11) بر اساس معادله دبی بحرانی و رابطه رگرسیونی عمق بحرانی به بار آبی روی سرریز و بار آبی به ارتفاع سرریز در دریچه‌های کشویی و قطاعی رابطه دبی ارائه داد. باقری و حیدرپور (14) از تئوری گردابی، معادله دبی برای سرریزهای مستطیلی قائم را تعیین نموده‌اند. باقری و همکاران (15) معادله دبی دریچه‌های کشویی را با کاربرد تئوری پتانسیل ارائه نموده‌اند. دقت و سهولت کاربرد هریک از این معادلات در تعیین دبی، معیار انتخاب می‌باشد.

هالسنینگ (4) نمودار دبی - اشل سرریز مستطیلی لبه تیز مایل ثابت هم‌عرض کانال را با نسبت شیب‌های  $V:H = 3:3$ ،  $2:3$  و  $1:3$  به سمت پایین دست تعیین نموده و با سرریز مستطیلی لبه تیز قائم مقایسه نمود. ایشان مشخص نمود که ضریب دبی با کاهش شیب سرریز برای یک بار آبی ثابت، نسبت به سرریز قائم افزایش می‌یابد.

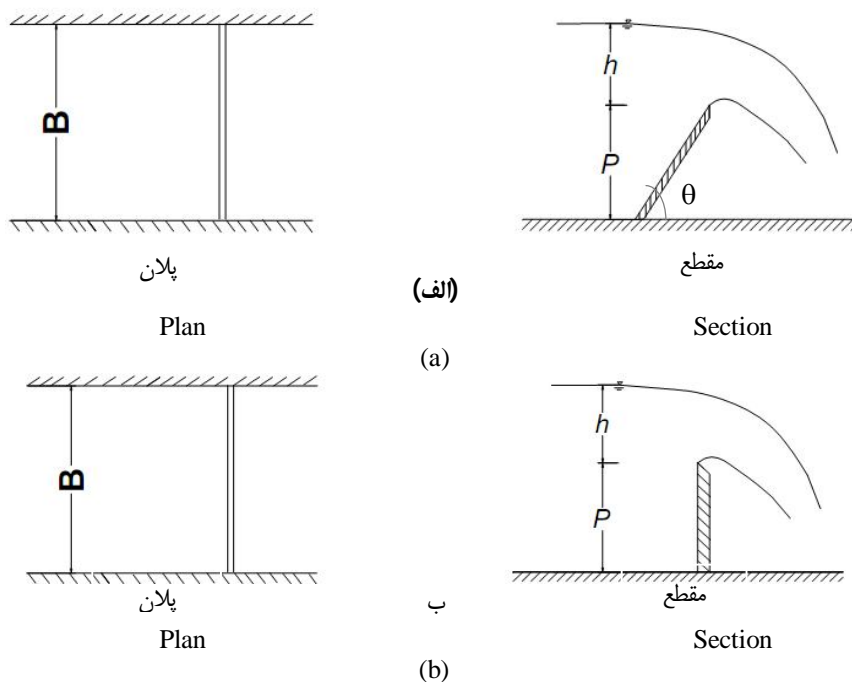
سرریزها از جمله سازه‌های متداول اندازه‌گیری دبی، کنترل سطح آب، انحراف جریان می‌باشند. انواع سرریزها از نظر شکل سرریز، طول تاج، نوع لبه سرریز در کانال‌های آبیاری مانند سرریزهای مستطیلی لبه تیز و لبه پهن، سرریز تاج دایره‌ای، سرریز لبه تیز و لبه پهن مایل نسبت به کف کانال، سرریز مورب نسبت به کانال، سرریز منقاری، تاکنون مورد استفاده قرار گرفته و با توجه کاربرد و رفتار هیدرولیکی متفاوت سرریزها، روابط مختلفی برای آن‌ها ارائه گردیده است. سرریز لبه تیز مایل (شکل 1، الف) شامل صفحه‌ای زاویه‌دار نسبت به کف کانال بوده که در حالت قائم مشابه سرریز لبه تیز قائم می‌باشد (شکل 1، ب). سرریزهای لولایی از جمله سرریزهای لبه تیز مایلی بوده که در بهره برداری‌ها می‌توان آن را در زوایای مختلف نسبت به کف کانال تنظیم نمود. از جمله مزایای این سازه، امکان استفاده از سازه هم به عنوان آبگیر و هم به صورت آب بند، امکان تخلیه رسوبات، نیاز به انرژی کم و مکانیزم ساده تنظیم سازه، طراحی روگذر بودن سازه در عملکرد بهتر کنترل سطح آب، سهولت اتوماسیون و قابلیت اتصال به شبکه<sup>4</sup> SCADA می‌باشد. اتوماسیون سرریزهای لولایی منجر به

1 و 3 - دانشجوی دکتری سازه‌های آبی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2 - دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

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

4-Supervisory Control and Data Acquisition



شکل 1- پلان مقطع الف) سرریز لبه تیز مایل ، ب) لبه تیز قائم  
Figure1- Plan and section of a) inclined sharp crested weir and b) normal sharp crested weir

1/229 متر برای دو سرریز لولایی به عرض های 1/2 و 1/14 متر و طول های 0/61 و 0/46 متر انجام داده و با مقایسه داده های محاسبه شده از رابطه و داده های اندازه گیری شده مشخص شد که خطای روابط ارائه شده برای شرایط آزاد 6/4 درصد گزارش شده است (8). لازم بذکر است که معادلات ارائه شده برای فشردگی واحد ارائه شده است. با اعمال ضریب تأثیر زاویه سرریز در معادله دبی کیندسواتر و کارتر برای سرریز مستطیلی قائم لبه تیز، معادله دبی جریان سرریزهای لولایی به صورت رابطه 1 تعیین گردیده است (8).

$$Q = C_a C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_e h_e^{1.5} \quad (1)$$

که در آن،  $Q$  دبی سرریز لولایی،  $C_a$  ضریب تصحیح زاویه،  $C_e$  ضریب دبی سرریز مستطیلی قائم،  $g$  شتاب ثقل،  $b_e$  عرض موثر سرریز،  $h_e$  هد موثر سرریز.

منز با استفاده از مدل ICSS<sup>1</sup> رابطه 2 را برای تعیین  $C_a$  ارائه نموده است (6).

$$C_a = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left( \frac{-5.89\theta^6 \times 10^{-12} + 1.202\theta^5 \times 10^{-9} - 8.35\theta^4 \times 10^{-8} + 3.422\theta^3 \times 10^{-6} - 2.217\theta^2 \times 10^{-4} + 9.035\theta \times 10^{-3} + 1}{10^{-6}} \right) \quad (2)$$

همچنین، مقدار ضریب  $C_a$  برای برای  $h/p$  کوچک تر از 1 و

پارکاش و شیواپور (10 و 12) جریان روی سرریزهای مستطیلی را بررسی و رابطه ای برای تعیین دبی-اشل آن ها ارائه دادند. همچنین، شیشا پارکاش و همکاران (14) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی جریان بر روی سرریزهای مستطیلی مایل ثابت را مطالعه نموده و روابط دبی-اشل برای هریک از زوایای 0، 15، 30، 45 و 60 درجه ارائه نمودند. پژوهش ایشان در یک فلوم کوچک با عرض 30 سانتی متر و دبی های کم (12-20 لیتر بر ثانیه) انجام و برای هر زاویه معادله جداگانه ای ارائه شده است.

بازن آزمایش های صحرائی در فاصله سال های 1886-87 در فرانسه بر روی سرریزهای لولایی بدون فشردگی و با فشردگی جزئی 0/88 آزمایش هایی انجام داد، آزمایش ها در کانالی به طول 213 متر و عرض 2 متر صورت گرفت. نتایج وی با نتایج سایر پژوهش گران تفاوت چشمگیر دارد. اسکادر و ترنر دلیل این مسئله را لبه تیز نبودن سرریزها عنوان کرده اند (8).

اولین گزارش ارائه شده از سوی مؤسسه USBR در زمینه سرریزهای لولایی در پروژه Boulder Canyon بوده است که در آن مقادیر دبی جریان و اشل بر روی سرریزهای لولایی مستطیلی با فشردگی اندک (0/925) در کانالی به طول 5/5 متر، عمق 2/9 متر و عرض 0/61 متر اندازه گیری نمودند (8).

واهلین و رپلوگل در پروژه ای از سوی موسسه USBR، مطالعات آزمایشگاهی را بر روی کانال روباز مستطیلی به طول 15 متر و عرض

حداقل 40 میلی-متر باشد (7). در پژوهش کنونی برای پرهیز از خطاهای مقیاسی، از یک مدل نسبتاً بزرگ استفاده شد. ابعاد هندسی و مقادیر متغیرهای هیدرولیکی باندازه‌ای در نظر گرفته شد که خارج از محدوده‌های تعریف شده برای بروز خطاهای مقیاسی باشند (جدول 1).

#### استخراج معادلات

رابطه دبی - اشل پیشنهادی توسط فررو (11) برای تخمین دبی جریان از دریچه‌های کشویی و قطاعی در شرایط جریان آزاد و مستغرق به صورت رابطه رگرسیونی  $y_c/P$  و  $h/P$  بوده که برای سرریز لولایی با تعیین پارامترهای مؤثر بر دبی و آنالیز ابعادی پارامترها، قابل کاربرد برای تعیین معادله دبی - اشل می‌باشد. مجموعه پارامترهای مؤثر بر دبی عبوری از سرریز لولایی هم‌عرض کانال به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Q = F(h, B, R, \theta, g, \mu) \quad (4)$$

که در آن، عرض کانال ( $B$ )، طول سرریز ( $R$ )، زاویه سرریز نسبت به کف کانال ( $\theta$ )، بار آبی بالادست سرریز ( $h$ )، نیروی وزن با شاخص شتاب ثقل ( $g$ )، نیروی لزجت با شاخص ویسکوزیته دینامیکی سیال ( $\mu$ )، متغیرهای مستقل تکرار شونده شامل  $R$ ،  $\mu$  و  $g$  می‌باشند. بر اساس نظریه  $\pi$  باکینگهام پارامترهای بدون بعد عبارتند از:

$$F\left(\frac{h}{R}, \frac{B}{R}, \theta, \frac{Q^2}{gR^5}\right) \quad (5)$$

از آنجایی که  $P=R\sin\theta$ ،  $P=R\sin\theta$ ،  $y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2g}}$  پارامترهای بی‌بعد عبارتند از:

$$F\left(\frac{h}{P}, \frac{B}{P}, \frac{y_c^3 B^2 g}{gP^5} \times \frac{P^2}{B^2}\right) = F\left(\frac{h}{P}, \frac{y_c}{P}\right) = 0 \quad (6)$$

با توجه به این که روند تغییرات دبی - اشل به صورت نمایی بوده، بنابراین رابطه کلی از معیار فررو به صورت رابطه 7 می‌باشد:

$$\frac{y_c}{P} = \alpha \left(\frac{h}{P}\right)^\beta \quad (7)$$

آزمایش‌های انجام شده بر روی سرریزهای لولایی با فشردگی‌های جانبی مختلف می‌باشند، بنابراین،  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب رابطه برای فشردگی‌های مختلف با رگرسیون گیری از داده‌ی آزمایشگاهی تعیین می‌گردند.

#### معیارهای صحت‌سنجی

برای تعیین میزان دقت معادله ارائه گردیده از پارامترهای آماری  $RMSE$  جذر میانگین مربعات خطا،  $MRE$  میانگین خطای نسبی برآورد و  $RE$  خطای نسبی استفاده شد.

زاویه‌های بین  $16/2-63/4$  درجه به صورت رابطه 3 تعیین گردیده است (8).

$$Ca = 1.0333 + 0.003848\theta - 0.0000\theta^2 \quad (3)$$

حسین‌زاده و همکاران بر اساس مطالعات آزمایشگاهی روابطی برای محاسبه ضریب دبی سرریز لولایی بدون فشردگی برای حالت آزاد به دست آوردند. پژوهش ایشان در یک فلوم به عرض  $0/30$  متر، ارتفاع  $0/45$  متر، طول  $10$  متر و دبی‌های کم ( $1/375-5/494$ ) لیتر بر ثانیه انجام شده است (13).

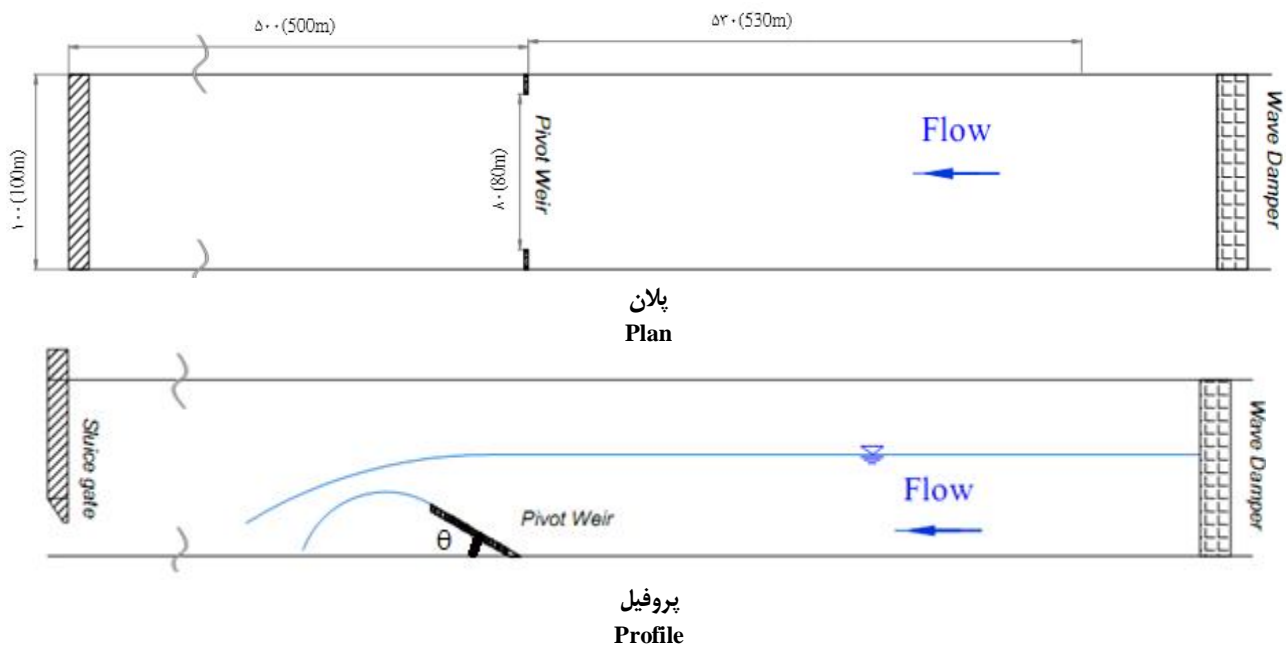
در سال‌های اخیر، شرکت *RUBICON* استرالیا نسبت به توسعه کاربرد سرریزهای لولایی در کانال‌های آبیاری و اتوماسیون آن اقدامات گسترده‌ای انجام داده است. عمده مطالعات قبلی معطوف به یک نوع فشردگی بوده و با توجه به کاربرد سازه در سال‌های اخیر، در پژوهش حاضر از داده‌های آزمایشگاهی سرریز لولایی با فشردگی‌های مختلف استفاده گردیده است (17). از این سریزها می‌توان با توجه به قابل حمل بودن آن‌ها برای تنظیم دبی در شرایط مدیریتی متفاوت استفاده نمود. با کاربرد داده‌های آزمایشگاهی و قانون فررو در تعیین دبی، رابطه دبی سرریزهای لولایی با 4 فشردگی جانبی مختلف  $0/4$ ،  $0/6$ ،  $0/8$  و  $0/925$  ارائه می‌گردد. در این مطالعه سعی می‌شود معادله‌ای بسیار ساده برای زوایای مختلف و فشردگی‌های متفاوت ارائه گردد که در اتوماسیون این سازه به راحتی قابل استفاده باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش، آزمایش‌ها شامل نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تحقیقات آب و نتایج آزمایشگاهی USBR برای سرریزی به عرض  $1/14$  متر و طول تیغه  $0/46$  متر می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده در موسسه تحقیقات آب در کانال مستطیلی بتنی با ابعاد  $10/30$  متر طول،  $1$  متر عرض و  $1$  متر ارتفاع صورت گرفته است (شکل 2). اجزای تشکیل‌دهنده این مدل آزمایشگاهی شامل کانال، سامانه تأمین آب، آرام‌کننده‌ها (کاهش تلاطم جریان قبل از سرریز لولایی) و سرریزهای لولایی بوده است. سه سرریز لولایی با ابعاد  $60 \times 65$ ،  $80 \times 65$  و  $40 \times 40$  سانتی‌متر (طول تیغه و عرض) واقع در فاصله حدود  $5/5$  متری از ابتدای کانال نصب و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. برای اندازه‌گیری دبی جریان از یک سرریز از پیش واسنجی شده در بالادست سرریز لولایی استفاده شده و بار آب بالادست سرریز نیز با استفاده از یک عمق سنج با دقت  $0/2 \pm$  میلی‌متر اندازه‌گیری شده است (18).

در کارهای آزمایشگاهی می‌بایست اعداد رینولدز جریان برای حصول اشفتگی جریان بیش از  $10^{3/5}$  باشد (5). همچنین برای پرهیز از اثرات کشش سطحی ارتفاع تیغه آب روی سرریز لوله‌تیز بایستی



شکل 2- پلان و پروفیل کانال آزمایشگاهی  
Figure 2- Plan and profile of experimental canal

جدول 1- دامنه تغییرات پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش

Table 1- Range of changing parameters in present study

پارامتر مورد نظر Parameters in present study	دامنه تغییرات یا مقدار پارامتر Range of changing parameters
Re	10000-330000
$\Theta(^{\circ})$	20-90
b/B	0.4, 0.6, 0.8
h/R	0.186-0.536
$H_{Edge}(cm)$	5.16-18.6
P (cm)	17.7-69

### نتایج و بحث

در ابتدا، رابطه دبی اشل سرریز لولایی با فشردگی‌های مختلف با دبی-اشل سرریز قائم از معادله دبی سرریز مستطیلی قائم و رابطه ضریب دبی رهوک (1) برای ارتفاع متناظر سرریزهای لولایی مقایسه گردیده است. در شکل 3 ملاحظه می‌گردد برای یک بار آبی ثابت، دبی سرریز لولایی با فشردگی جانبی 0/925 بیش از سرریز قائم بدون فشردگی جانبی است. به عبارت دیگر در شیب‌های کمتر ضریب دبی بخاطر هموارتر شدن خطوط جریان عبوری از روی سرریز افزایش می‌یابد که موید مطالعات پیشین نیز می‌باشد.

در حالتی که صفحه سرریز مایل باشد، به دلیل تشکیل منطقه سکون، انرژی خطوط جریان در برخورد به صفحه سرریز کاهش یافته و جریان در نزدیکی سرریز، به سمت مجرای عبور جریان، مایل می‌شود. تأثیر جریان‌های ثانویه در زوایای بیشتر بالا است، به عبارتی ضریب دبی سرریز لولایی در زوایای کم بالاست و با افزایش زاویه، کاهش می‌یابد.

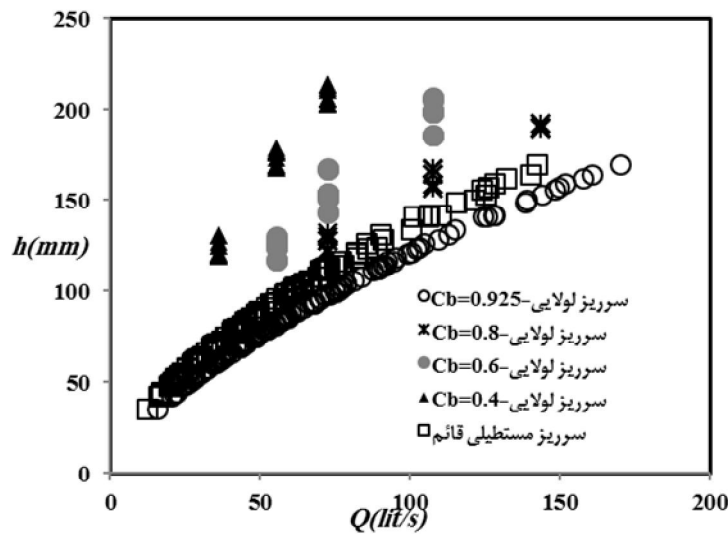
RE میزان اختلاف بین مقدار واقعی و مقدار تخمینی را نشان می‌دهد RMSE میزان انطباق مقادیر ضریب دبی بالا و MRE دید ملموس‌تری از میزان انطباق مقادیر ضریب دبی متوسط را نشان می‌دهد.

$$MRE = \frac{\sum (|X_m - X_r| / X_m)}{N} \times 100 \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{\sum (X_m - X_r)^2}{N} \right)} \quad (9)$$

$$RE = \frac{X_m - X_r}{X_m} \times 100 \quad (10)$$

که در آن،  $X_m$  ضریب دبی اندازه‌گیری شده و  $X_r$  ضریب دبی معادله پیشنهادی است.



شکل 3- مقایسه منحنی دبی - اشل سرریز لولایی برای فشردگی‌های مختلف با منحنی سرریز قائم  
Figure 3-Comparison of rating curve of pivot weirs with different contractions by normal sharp crested weir

آزمایشات انجام شده در این پژوهش در کانالی با عرض 1/0 متر انجام شده است. برای برآورد ضرایب معادله 13 در سایر فشردگی‌ها از یک رابطه رگرسیونی استفاده شده است که دارای برآزش بسیار خوبی نیز هست (شکل 6). محدود بودن تعداد نقاط از ضعف‌های این معادله می‌باشد که لازم است در آزمایشات مستقلى با فشردگی‌های دیگری مورد مطالعه قرار گیرد.

با رگرسیون گیری از  $\alpha$  و  $\beta$  نسبت به  $(b/B)$  روابط زیر حاصل شده است:

$$\alpha = -3.453 \left(\frac{b}{B}\right)^3 + 6.119 \left(\frac{b}{B}\right)^2 - 3.214 \left(\frac{b}{B}\right) + 1.23 \quad (11)$$

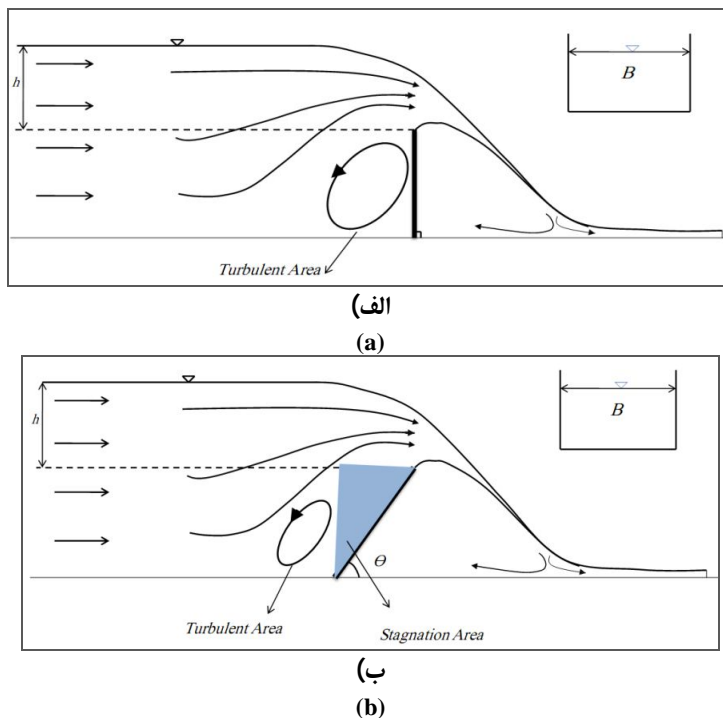
$$\beta = -0.984 \left(\frac{b}{B}\right)^2 + 1.452 \left(\frac{b}{B}\right) + 0.508 \quad (12)$$

$$Q = b \sqrt{\left[ \alpha \left(\frac{h}{P}\right)^\beta P \right]^3} g \quad (13)$$

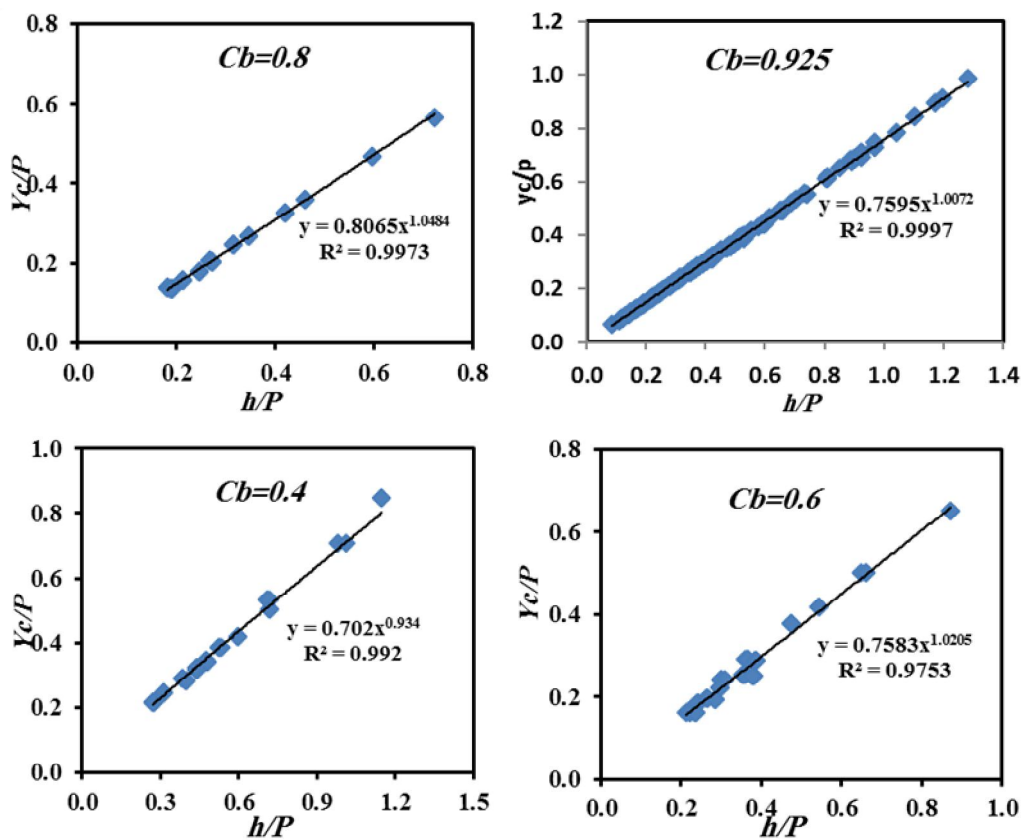
تعداد داده‌های آزمایشگاهی 300 داده بوده که 75 درصد داده‌ها برای رگرسیون گیری انتخاب شده و 25 درصد باقیمانده برای تعیین دقت روابط استفاده شده‌اند. در شکل 7، همبستگی دبی اندازه‌گیری شده در مقابل دبی رابطه پیشنهادی جریان آزاد، ارائه گردیده و خطای نسبی رابطه 13 کمتر از  $\pm 15$  درصد است.

درحالی‌که برای سرریز لبه تیز قائم (زاویه 90 درجه)، خطوط جریان، با صفحه سرریز برخورد نموده و جریان‌های ثانویه قوی در پشت صفحه ایجاد می‌گردد که منجر به برگشت آب می‌گردد و بار آبی بالادست افزایش می‌یابد، در نتیجه ضریب دبی کاهش می‌یابد (شکل 4). علت ایجاد برگشت آب، تبدیل گرادیان سرعت به گرادیان فشار در نتیجه برخورد جریان آب به صفحه سرریز بوده که در سرریز قائم شدیدتر است.

علاوه بر این، با افزایش فشردگی جانبی ( $Cb < 0.8$ ) برای یک بار آبی ثابت، دبی کاهش می‌یابد و با مقایسه با دبی سرریز مستطیلی قائم، دبی آن کمتر می‌باشد و این به دلیل تأثیر کاهش عرض سرریز می‌باشد. با کاهش عرض سرریز لولایی، عرض مؤثر مجرای عبور جریان، کاهش یافته و ضریب دبی کاهش می‌یابد (شکل 3). آزمایش‌های جریان آزاد با پایاب‌های مختلفی صورت گرفته است به همین دلیل نمودار دبی-اشل داده‌های اندازه‌گیری شده برای فشردگی‌های 0/8 و 0/6، 0/4 و 0/8 دارای اندکی پراکندگی است. با رگرسیون گیری از داده‌های آزمایشگاهی برای معادله 7 (شکل 5) و تعیین ضرایب معادله دبی-اشل (شکل 6)، رابطه دبی (معادله 13) تعیین گردید. در جدول 2 مقدار ضرایب برای فشردگی‌های مختلف ارائه گردیده است. تغییرات  $\alpha$  و  $\beta$  در این جدول برای فشردگی‌های 0/4، 0/6 و 0/8 دارای سیر صعودی بوده و برای فشردگی 0/925 دوباره کاهش یافته است. این کاهش حاصل تغییر عرض کانال می‌باشد. در آزمایشات USBR عرض کانال 1/2 متر بوده در حالی‌که



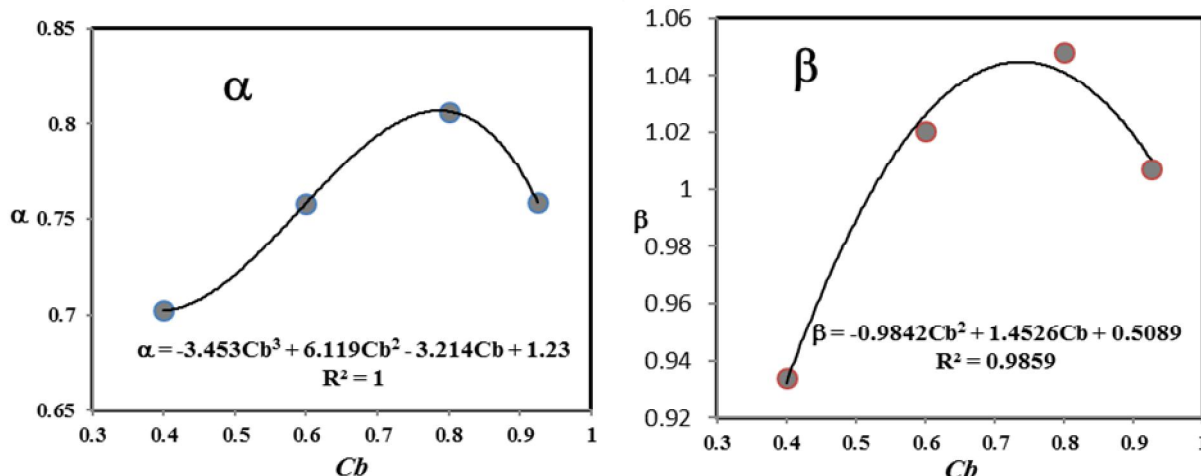
شکل 4- رفتار جریان در پشت صفحه سرریز قائم و لولایی (الف) سرریز مستطیلی قائم و (ب) سرریز لولایی  
Figure 4-Flow behavior behind the a) normal and b) inclined sharp crested weir



شکل 5- رابطه نسبت عمق بحرانی به ارتفاع سرریز ( $y_c/P$ ) در مقابل بار آبی بالادست سرریز بر ارتفاع سرریز ( $h/P$ )  
Figure 5-Relation of critical depth to weir height ratio ( $y_c/P$ ) with upstream depth to weir height ratio ( $h/P$ )

جدول 2- ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  با نسبت عرض سرریز به عرض کانال مختلف  
Table 1-  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients respect to different ratio of weir width to canal width

b/B	$\alpha$	$\beta$
0.925	0.759	1.007
0.8	0.807	1.048
0.6	0.758	1.021
0.4	0.702	0.934



شکل 6- ضرایب معادله دبی اشل سرریز لولایی  
Figure 6- Coefficients of head-discharge equation

قائم بدون فشردگی جانبی است. در نتیجه کاربرد سرریزهای لولایی در شبکه‌های آبیاری علاوه بر امکان اتوماسیون آسان و امکان تغییر عمق آب بالادست، افزایش دبی عبوری در تراز ثابت را نیز فراهم می‌سازند.

2. با افزایش فشردگی جانبی ( $Cb < 0.8$ ) برای یک بار آبی ثابت، دبی کاهش می‌یابد و با مقایسه با دبی سرریز مستطیلی قائم، دبی آن کمتر می‌باشد و این به دلیل تأثیر کاهش عرض سرریز می‌باشد.  
3. برای هریک از سرریزهای لولایی با فشردگی متفاوت، رابطه ای برای تعیین ضرایب معادله دبی-اشل، ارائه گردید که این رابطه با تعداد محدودی داده های آزمایشگاهی بدست آمده است که علی‌رغم برآش مطلوب مستلزم مطالعات بیشتر می‌باشد.

4. با توجه به رابطه ارائه شده ملاحظه می‌شود رابطه دبی-اشل پیشنهادی از قانون فررو دارای دقت مناسبی در تعیین دبی بوده و کاربرد آن در شرایط عملی آسان است.  
فهرست علائم

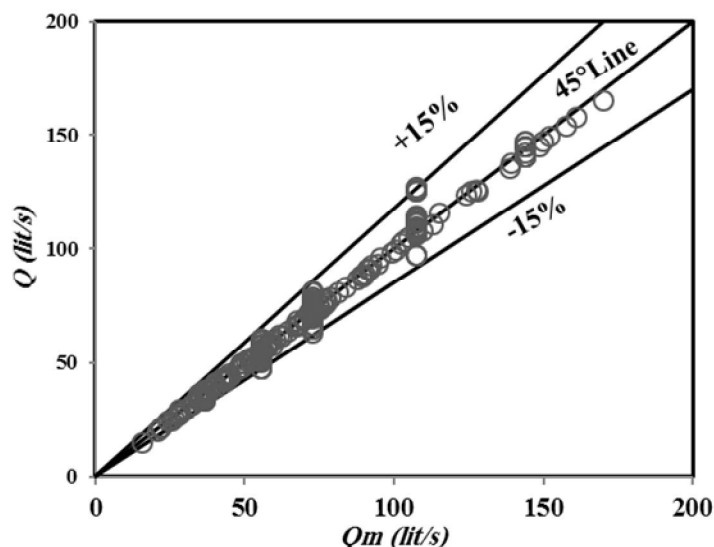
- زاویه سرریز لولایی نسبت به افق ( $\theta$ )
- دبی جریان ( $Q$ )
- دبی اندازه‌گیری شده ( $Q_m$ )

همچنین با محاسبه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و میانگین خطای نسبی برآورد ( $MRE$ ) به ترتیب در  $3/18$  و  $3/92$  برای داده‌های آزمایشگاهی کنونی می‌باشد. با توجه به تنوع دبی (15-170 لیتر بر ثانیه)، تفاوت فشردگی‌ها و همچنین زوایای مختلف سرریز خطای معادله مذکور در حد مطلوب می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه رابطه ساده‌ای برای دبی-اشل سرریزهای لولایی با فشردگی‌های مختلف و زوایای متفاوت ارائه گردید. در این معادله بدون نیاز به تعیین ضریب دبی می‌توان برحسب بار آبی بالادست و ارتفاع سرریز مقدار جریان عبوری را برآورد نمود. این معادله برای زوایای مختلف قرارگیری سرریز و فشردگی‌های متفاوت براحتی قابل استفاده بوده و براساس داده‌های آزمایشگاهی آزمون شده و با حداکثر خطای 15 درصد دبی را برآورد نموده است. همچنین طبق بررسی‌های انجام شده ملاحظه گردید:

1. دبی-اشل سرریز لولایی با فشردگی‌های مختلف با دبی-اشل سرریز قائم (از معادله دبی سرریز مستطیلی قائم (2) و رابطه ضریب دبی ره‌بوک (1)) مقایسه گردیده است. ملاحظه گردید برای یک بار آبی ثابت، دبی سرریز لولایی با فشردگی جانبی  $0/925$  بیش از سرریز



شکل 7- دبی اندازه‌گیری شده در مقابل دبی تعیین گردیده از رابطه پیشنهادی 13  
Figure 7-measured discharge to calculated discharge from equation (13)

- |  |   |
|--|---|
| (g) نیروی وزن با شاخص شتاب ثقل                   | ضریب دبی سرریز مستطیلی قائم ( $C_e$ )     |
| نیروی لزجت با شاخص ویسکوزیته دینامیکی سیال $\mu$ | ضریب تصحیح زاویه سرریز لولایی ( $C_a$ )   |
| خطای نسبی ( $RE$ )                               | عرض کانال ( $B$ )                         |
| سرعت جریان ( $u$ )                               | عرض سرریز ( $b$ )                         |
| جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )                | طول سرریز ( $R$ )                         |
| عمق بحرانی ( $y_c$ )                             | زاویه سرریز نسبت به کف کانال ( $\theta$ ) |
| میانگین خطای نسبی برآورد ( $MAE$ )               | ارتفاع سرریز ( $p$ )                      |
| مقدار اندازه‌گیری شده ( $X_m$ )                  | عمق آب بالادست سرریز ( $Y_u$ )            |
| ضریب دبی معادله پیشنهادی ( $X_r$ )               | عدد رینولدز ( $Re$ )                      |
| ضریب فشردگی ( $C_b$ )                            | عمق آب بالادست سرریز ( $Y_D$ )            |
|  | بار آبی بالادست سرریز ( $h$ )             |

## منابع

- 1- Rehbock T. 1929. Discussion of 'Precise Measurements. By K. B. Turner. Trans., ASCE, 93:1143-1162.
- 2- Kindsvater C. E., and Carter R. W. 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. J. Hydraulics Division, 83: 1-36.
- 3- Henderson F.M. 1966. "Open Channel Flow", MacMillan Company, New York, USA.
- 4- Hulsing H. 1967. Measurement of peak discharge at dams by indirect methods: U.S. Geol. Survey Techniques Water-Resources Inv., book 3, chap. A5, pp. 29.
- 5- Novak P., and Cabelka J. 1981. Models in Hydraulic Engineering. 460pp.
- 6- Manz D.H. 1985. Systems Analysis of Irrigation Conveyance Systems, Thesis as Part of Requirements of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, 435pp.
- 7- Bos M. G. 1989. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Third Edition, Wageningen, the Netherlands.
- 8- Wahlin B.T., and Replogle J.A. 1994. Flow Measurement Using an Overshot Gate. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 111: 298-102.
- 9- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. Water Resources Research Laboratory: Water Measurement Manual. Washington DC, 2001. Lindeburg, Michael R. 1992. Engineer In Training eference Manual. Professional



Publication, Inc. 8th Edition.

- 10- Prakash S., and Shivapur S. 2002. Analysis of flow over inclined rectangular weir. in Proc., HYDRO-2002, National Conf., Hydraulics, Water Resources and Ocean Engineering, 70-74.
- 11- Ferro V. 2003. Simultaneous flow over and under a gate. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 126 (3): 190-193.
- 12- Prakash M. S., and Shivapur A. 2004. Generalized head-discharge equation for flow over sharp-crested inclined inverted V-notch weir. J. Irrigation and Drainage Engineering, 130:325-330.
- 13- Hosseinzadeh Z., Monem J., and Kochakzadeh S. 2009. Experimental study on discharge coefficient of automated pivot weir. 3th national Congress of Irrigation networks management. pp.8. (in Persian with English abstract)
- 14- Bagheri S., and Heidarpour M., 2010. Flow over rectangular sharp-crested weirs. Irrigation Science, 28: 173-179.
- 15- Bagheri S., Afzalimehr H., and Sui J. 2010. Discharge coefficient for sluise gates. Journal of ICE, 435-438.
- 16- Prakash M. S., Ananthayya M. and Kovoov G. M. 2011. Inclined Rectangular Weir-Flow Modeling. J. Earth Science India, Vol. 4(2): 57-67.
- 17- Rubicon System Australia, [http:// www.Rubicon.com](http://www.Rubicon.com)
- 18- Sheikh Rezazadeh Nikou N. 2012. Extraction of discharge coefficient for the pivot weir with different side contractions. MSc thesis, Tarbiat Modares Univerity, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)

## Developing a Simple Unique Head-Discharge Equation for Pivot Weirs with Different Side Contractions

N. Sheikh Rezazadeh Nikou<sup>1</sup> – M. J. Monem<sup>2\*</sup> - A. N. Ziaei<sup>3</sup>

Received: 07-07-2014

Accepted: 15-04-2015

**Introduction:** Pivot weirs (sharp crested inclined weirs, Fig. 1-a) is frequently used for discharge measurement, controlling water surface and flow diversion. Some typical features of pivot weirs are: (a) overshoot design for better water level control, (b) Their application as head gates, turnout or check structure which requiring low head loss and high accuracy, (c) ease of removing sediment deposit behind the weir, and (d) ability to manage and monitor on-site or operating remotely when connected to a supervisory control and data acquisition (SCADA) network. Kindsvater and Carter (8) derived a weir discharge equation based on energy and continuity equations. Hulsing (4) determined head-discharge relationship of inclined suppressed sharp crested weir with the slope of 3:3, 2:3 and 1:3 toward downstream and compared them with the equivalent normal sharp crested weir. In the USBR report on pivot weirs (regarding The Boulder Canyon Project, 1948) the head discharge data of the suppressed pivot weir were presented in a channel with 5.5m length, 2.9m depth and 0.61m width. Some field experiments were also carried out in the IID (Imperial Irrigation District) on a trapezoidal cross-section (0.61 m bottom width) channel with pivot weir of 1.7m length, and two different widths of 1.63m. The flow rate (350-880 lit/s) was held constant and different angles (15-50°) calibrated instead of holding the angle constant and varying the flow rate. Some other laboratory tests were performed with Wahlin and Replogle (1994) on two pivot weirs with 1.2 m and 1.14 m width for the 0.61 m and 0.46 m length of blade and contraction factor of 0.925. RUBICON Company established an extensive operation on the application and automation of pivot weirs in irrigation channels in Australia ([www.rubicon.com](http://www.rubicon.com)). All previous studies concentrated on modifying the normal rectangular weir head-discharge equation so that it can be used for the pivot weirs. In this study, it is trying to derive a unique head-discharge equation for pivot weirs based on dimension analysis and critical discharge equation (implementing Ferro rule). This equation can be used for different inclined angles and side contractions. The obtained unique and simple discharge equation can be used in automation of this structure.

**Material and Method:** In this research, experimental data consist of experiments carried out in hydraulic research institute of Tehran, Iran and experiments of USBR on Pivot weir with side contraction in 0.925 in the canal with 1.14 m width and 0.46 m blade length (Wahlin and Replogle, 1994). Experiments of the water institute of Tehran were carried out in the concrete rectangular weir with 10.30m long, 1m wide and 1m depth (Fig.2). Experimental model was consisted of canals, water supply system, dampers (avoided of turbulent flow upstream of pivot weir), pivot weirs, sluice gate at the end of the channel (make different tail waters). With respect to laboratory equipment's, three pivot weirs with of 80×65, 60×55 and 40×40 (cm×cm) respectively length of the blade and the width was built and set 5.5 m far from the first of the canal. Discharge was determined from the calibrated weir located at the upstream of pivot weir. A manual point gauge with ±0.01 mm sensitivity was used to measure water surface levels.

Extraction of discharge equation: Dimensional Analysis based on Ferro rule (2000 and 2001) is used to determine the discharge formula of pivot weirs. Since the h-Q function is usually exponential, the relation between dimensionless parameters could be defined as Ferro rule.

**Results and Discussion:** The rating curve of the pivot weirs with different side contractions is compared with the normal suppressed rectangular weir (equal weir height) in Fig. 3. The discharge of normal suppressed rectangular weir was calculated from the discharge equation of Kindsvater-Carter and discharge coefficient of Rehbock (1) for the equal weir height and head of pivot weirs. For a constant water head, the discharge of pivot

1, 3- Ph. D. student, Hydraulic Structural Engineering and Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, Hydraulic Structures Department, Tarbiat Modares University

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

weir with a side contraction of 0.925 is more than the normal suppressed weir. When the weir plate is inclined to the bottom of the canal, because of the stagnation area behind the weir plate, the streamlines approach the weir blade smoothly and the energy dissipation is lower than for the normal weirs. The vortex behind the weir plate increases as the inclined angle increases and subsequently the discharge coefficient decreases. Reduction of discharge for a constant water head in contract weirs is simply justified by decreasing of the weir width. The  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients were obtained based on all experimental data. Discharge equation obtained based on critical depth-discharge equation.

**Conclusion:** In this study, based on dimension analysis a unique head-discharge relation was obtained which could be used for different inclined angels and side contractions. This equation is more appropriate than previous formulas which are modifications to the normal weir head-discharge equation. The accuracy of this equation was evaluated by different data sets including different inclined angle, side contractions, weir heights and also a wide discharge range. This equation could be used in the automated irrigation network easily.

**Keywords:** Weir, Ferro Rule, Rating curve