

## اثر زبری تاج و بدنه بر ضریب تخلیه و شرایط هیدرولیکی جریان در سرریزهای

### تاج دایره‌ای با استفاده از مدل فیزیکی

رسول قبادیان<sup>1\*</sup>، میلاد فرمانی فرد<sup>2</sup> و علیرضا کریمی<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 90/2/2 تاریخ پذیرش: 90/8/23

1- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی کرمانشاه

2- دانشجو، کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی کرمانشاه

\* مسئول مکاتبه: E-mail: [rsghobadian@gmail.com](mailto:rsghobadian@gmail.com)

#### چکیده

شناسایی پارامترهای تاثیر گذار بر ضریب تخلیه سرریزهای تاج دایره‌ای در بهره برداری بهینه و کاربرد بهتر از آن‌ها از اهمیت بسزائی برخوردار می باشد. از آنجائی که در اجرای سرریزهای تاج دایره‌ای ممکن است از مصالح ساختمانی مختلف با زبری‌های متفاوت استفاده شود بنابراین در این تحقیق تاثیر اندازه زبری بر ضریب تخلیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات در شرایط بدون اعمال زبری که بر روی سرریزهای تاج دایره‌ای با پنج شعاع مختلف از 2/5 تا 7/5 سانتی متر انجام گردید نشان داد که بیشترین عامل تاثیرگذار بر ضریب آبگذری نسبت بار آبی بالا دست به شعاع سرریز می باشد. همچنین با افزایش این نسبت ضریب تخلیه نیز افزایش یافت. از طرفی تغییرات نسبت ارتفاع تاج به بار کل روی سرریز تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ضریب تخلیه نگذاشت. تاثیر چهار اندازه زبری متفاوت بر روی ضریب تخلیه و خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای که کمتر مورد توجه تحقیقات قبلی بوده نیز در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش‌های اخیر نشان داد با افزایش زبری نسبی ضریب تخلیه دبی کاهش می‌یابد و تاثیر زبری نسبی کمتر بر کاهش ضریب تخلیه دبی بیشتر است. در نهایت دو رابطه ریاضی بر حسب پارامترهای تاثیر گذار برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز تاج دایره‌ای ارائه شد. در رابطه اول که مربوط به شرایط بدون اعمال زبری است ضریب تخلیه تنها تابعی از نسبت بار آبی بالا دست به شعاع سرریز می باشد. با اعمال یک ضریب اصلاحی که تابعی نمائی از زبری نسبی است رابطه نهائی برای محاسبه ضریب تخلیه که در برگیرنده اثر زبری نیز باشد، بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات هیدرولیکی جریان، رابطه دبی - اشل، زبری، سرریز تاج دایره‌ای، ضریب تخلیه

## Effects of Crest and Body Roughness on Discharge Coefficient and Flow Conditions of Circular Crest Weir by Physical Model

R Ghobadian<sup>1\*</sup>, M Farmanifard<sup>2</sup> and A Karimi<sup>2</sup>

Received: 22 April 2011 Accepted: 14 November 2011

<sup>1</sup>Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Razi Kermanshah, Iran

<sup>2</sup>MSc Student, Irrig. and Drain. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Razi, Kermanshah, Iran

\*Corresponding author E-mail: [rsghobadian@gmail.com](mailto:rsghobadian@gmail.com)

### Abstract

Identifying the parameters affecting discharge coefficient of circular crest weir in an optimum application is very important. Since circular weir crest may be constructed by different materials with different roughness. So in this research influence of roughness on discharge coefficient has been investigated. Without present of roughness, the result of the experimental test on weirs with five different curvature radii ( from 2.5 to 7.5 cm) indicated that the most effective parameter on discharge coefficient was the ratio of upstream total head to crest radius. Also discharge coefficient increased with increasing this ratio. On the other hand variation of weir height to upstream total head ratio had no significant effect on the discharge coefficient. The effect of four different sizes of roughness on discharge coefficient, which had been overlooked in previous researches, was also evaluated. Results of the tests showed that with increasing relative roughness, discharge coefficient reduced and lower relative roughness, had the higher influence on reducing the discharge coefficient. Two mathematical relationships based on the affected parameters on discharge coefficient were presented. The first relation that is for the conditions imposed without roughness, discharge coefficient is just a function of upstream total head to crest radius ratio. Applying a correction factor, which is an exponential function of the relative roughness, the final relationship for calculating the coefficient of discharge including the effects of roughness, was obtained.

**Keywords:** Circular crest weir, Discharge coefficient, Flow conditions, Roughness, Stage-discharge relation

متداولترین نوع سرریزها، سرریزهای لبه پهن، لبه تیز، سرریزهای اوجی، سرریزهای استوانه‌ای، سرریزهای تاج‌دایره‌ای و... هستند، اما برتری سرریزهای استوانه‌ای و تاج‌دایره‌ای نسبت به بیشتر سازه‌های اندازه‌گیری و کنترل جریان آب، الگوی جریان ریزشی پایدار، راحتی عبور اجسام شناور از روی آنها،

مقدمه

سرریزها از قدیمی‌ترین سازه‌های هیدرولیکی ساخته بشر هستند که در ابعاد، اشکال و کاربردهای متفاوت جهت اندازه‌گیری و کنترل دبی و تنظیم سطح آب، در سامانه‌های آبیاری استفاده می‌شوند.

قرار دادند. هر دو تحقیق نشان دادند که در شرایط بدون هوادهی جداشدگی جریان بوجود نمی‌آید و ضریب تخلیه سرریز 15 تا 20 درصد افزایش می‌یابد. چانسن و مونتس (1998) تاثیر شرایط بالادست را بر روی خصوصیات جریان در روی سرریز تاج دایره‌ای در شرایط مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که نسبت  $\frac{P}{R}$  وجود شیب بالادست تاثیری روی ضریب تخلیه، عمق جریان در تاج سرریز و اتلاف انرژی ندارد. در حالی که شرایط جریان در بالادست روی خصوصیات جریان در روی تاج تاثیر می‌گذارد. در یک بار ثابت سرریزهای تاج دایره‌ای دارای ظرفیت تخلیه دبی بیشتری در مقایسه با سرریزهای لبه تیز و لبه پهن می‌باشد. آنها رابطه زیر را برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز تاج دایره‌ای برای شرایط جریان توسعه یافته در بالادست سرریز ارائه نمودند:

$$C_d = 1.185 \left( \frac{H_w}{R} \right)^{0.136}, \quad 0.45 < \frac{H_w}{R} < 1.9 \quad [1]$$

که در آن  $H_w$  بار کل روی تاج سرریز و  $R$  شعاع انحناء تاج سرریز می‌باشد.

در ادامه پنج روش تئوری برای محاسبه ضریب تخلیه سرریزهای تاج دایره‌ای تشریح می‌شود:

محاسبه ضریب تخلیه بر اساس رابطه انرژی

با نوشتن معادله انرژی برنولی بین سطح آب بالادست و تاج سرریز و صرفنظر نمودن از افت انرژی رابطه 2 بدست می‌آید (چانسن و مونتس (1998):

$$y_1 + \frac{V_{\max}^2}{2g} = P + y_{\text{crest}} + \frac{V_s^2}{2g} \quad [2]$$

که در آن  $V_s$  و  $V_{\max}$  به ترتیب سرعت در سطح آب در بالادست و تاج سرریز می‌باشد. سایر پارامترها در شکل 1a نشان داده شده است. با فرض توزیع توانی سرعت:

$$\frac{V}{V_{\max}} = \left( \frac{y}{d} \right)^{\frac{1}{N}} \quad [3]$$

که در آن  $d$  ضخامت لایه مرزی می‌باشد.

سادگی طراحی، زیاد بودن ضریب جریان، داشتن پایداری جریان، و از همه مهم‌تر قابلیت طراحی در مقیاس بزرگ و هزینه اجرا و بهره‌برداری کمتر می‌باشد. سرریزهای استوانه‌ای و تاج‌دایره‌ای برای اندازه‌گیری جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربرد وسیعی در مهندسی هیدرولیک به عنوان ساختمان‌های تخلیه آب داشته و می‌توانند برای کنترل سطح آب در کانال‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند (بیگی پور و بینا 1384). سرریزهای تاج‌دایره‌ای از سرریزهایی هستند که در شبکه‌های آبیاری، آبرسانی و فاضلاب، برای انتقال، تخلیه و یا پخش کاربرد زیادی دارند، از جمله سازه‌های مرتبط با سرریزهای دایره‌ای سدهای لاستیکی و دریچه‌های سیلندری می‌باشد. سرریزهای تاج دایره‌ای در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم قبل از معرفی سرریزهای اوجی شکل متداول بودند. در طی قرن نوزدهم تلاش‌ها برای افزایش ظرفیت تخلیه سرریزها منجر به طراحی سرریزهای تاج دایره‌ای شد. برای مثال می‌توان به کار بازین (1898) در فرانسه اشاره نمود. کار بازین روی سرریزها به خاطر دقت وی در مشاهدات روی سرریزهای لبه پهن شناخته شده است که بعدها به وسیله کریگر (1917) برای توسعه پروفیل سرریز اوجی مورد استفاده قرار گرفت. او همچنین تحقیقاتی روی پروفیل‌های تاج دایره‌ای انجام داد که در طراحی سد پونت<sup>1</sup> در فرانسه بکار برده شد. عمده تحقیقات انجام شده روی سرریزهای تاج دایره‌ای شامل کارهای ربوک (1929)، فور (1937) و سارجینسن (1972) می‌باشد. این تحقیقات نشان دادند که ضریب تخلیه  $C_d$  نزدیک به یک و معمولاً بزرگتر از یک می‌باشد. ضریب تخلیه در ابتدا تابعی از نسبت  $\frac{H_w}{R}$  می‌باشد و با افزایش  $\frac{H_w}{R}$  مقدار  $C_d$  افزایش می‌یابد که  $H_w$  بار کل روی تاج سرریز و  $R$  شعاع انحناء تاج سرریز می‌باشد. دو تحقیق مربوط به اسکاند و سناس (1959) و روو و ایندلوکفر (1974) تاثیر هوادهی و عدم هوادهی را روی ضریب تخلیه سرریز مورد بررسی

<sup>1</sup>Pont

نوشت:

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5} = \int_0^{y_{crest}} u dy \quad [8]$$

که در آن  $u$  مولفه افقی سرعت در عمق  $y$  بالای تاج سرریز می‌باشد. با در نظر گرفتن  $U = \sqrt{2gH_w}$  رابطه فوق بصورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\frac{q}{y_{crest} U} = \int_0^1 \frac{u}{U} d\left(\frac{y}{y_{crest}}\right) \quad [9]$$

با مقایسه رابطه 9 و 7 می‌توان نتیجه گرفت که:

$$C_d = \frac{3\sqrt{3}}{2} \left(\frac{y_{crest}}{H_w}\right) \int_0^1 \frac{u}{U} d\left(\frac{y}{y_{crest}}\right) \quad [10]$$

رابطه فوق نشان می‌دهد برای محاسبه ضریب تخلیه دبی لازم است که توزیع سرعت روی تاج سرریز اندازه‌گیری شود.

محاسبه ضریب تخلیه بر اساس رابطه اندازه حرکت

با در نظر گرفتن حجم کنترل نشان داده شده در شکل 1d و فرضیاتی مانند (1) جریان ماندگار، دوبعدی و زیر بحرانی، (2)  $\frac{P}{H_w} > 3$ ، (3) کانال افقی، (4) توزیع فشار در مقطع 1 هیدرواستاتیک و ضرب اندازه حرکت  $b' = 1$ ، (5) افت اصطکاک بین مقاطع بالادست و تاج سرریز ناچیز، (6) ضخامت لایه مرزی در تاج بسیار ناچیز  $\frac{d}{H_w} \ll 1$  و (7) در روی تاج در ناحیه بالای لایه مرزی  $y > d$  جریان غیر چرخشی و بار کل ثابت، معادله اندازه حرکت بین مقطع 1 و 2 عبات است از (رامامورتی و همکاران (1992):

$$y_1^2 + \frac{2}{g} q V_1 = y_{crest}^2 K_2 + \frac{2}{g} V_2 \beta_2' + (2P y_1 - P^2) K_W \quad [11]$$

که در آن  $V$  سرعت متوسط و  $K$  ضریب تصحیح فشار است. زیر نویس‌های 1، 2 و  $w$  اشاره به مقاطع 1، 2 و سطح قائم سرریز دارد. سایر پارامترها در روابط قبلی معرفی شده‌اند. با توجه به اینکه  $q = VY$  و با استفاده از رابطه 6 ضریب  $C_d$  بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

با فرض اینکه سرعت سطحی در تاج سرریز برابر است با:

$$V_S = k \frac{q}{y_{crest}} \quad [4]$$

با جایگزینی روابط 3 و 4 در رابطه 2 نهایتاً رابطه زیر بدست می‌آید:

$$q = C_d \sqrt{g} \left(\frac{2}{3}(y_1 - p)\right)^{\frac{2}{3}} \quad [5]$$

در آن:

$$C_d = \frac{y_{crest}}{y_c} \sqrt{\frac{3\left(1 - \frac{2}{3} \frac{y_{crest}}{y_c}\right)}{k^2 - \frac{y_{crest}^2}{y_1^2} \left(\frac{n+1}{n+1 - \frac{d}{y_1}}\right)^2}} \quad [6]$$

$y_c$  عمق بحرانی جریان در کانال مستطیلی می‌باشد. رابطه 6 نشان می‌دهد ضریب تخلیه سرریز بستگی به پارامترهایی از قبیل  $\frac{y_{crest}}{y_c}$  و ضخامت لایه مرزی و ضرائب  $k$  و  $n$  دارد. برای جریان کاملاً توسعه یافته در بالادست،  $\frac{d}{y_1} = 1$  و برای سایر شرایط کوچکتر از یک است. نسبت  $\frac{y_{crest}}{y_c}$  خود بستگی به شرایط جریان در بالا دست سرریز از جمله نسبت  $\frac{H_w}{R}$  دارد که در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

محاسبه ضریب تخلیه بر اساس اندازه‌گیری سرعت روی تاج سرریز

بصورت مرسوم ضریب سرریز با اندازه‌گیری دبی و استفاده از رابطه باس (1978) محاسبه می‌شود:

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5} \quad [7]$$

با در نظر گرفتن فرضیاتی از قبیل (1) جریان ماندگار دوبعدی و زیر بحرانی، (2)  $\frac{P}{H_w} > 3$ ، (3) افت اصطکاک ناچیز، (4) ضخامت لایه مرزی در تاج بسیار ناچیز  $\frac{d}{H_w} \ll 1$  و (5) در روی تاج در ناحیه بالای لایه مرزی  $y > d$  جریان غیر چرخشی و بار کل ثابت می‌توان

شماره 3). برای  $d < y < y_{crest}$  مولفه افقی سرعت بصورت رابطه زیر تقریب می‌شود:

$$u \approx \frac{U_1}{\left(1 + \frac{y - \delta}{R + \delta}\right)} \quad [15]$$

با نوشتن معادله انرژی بین مقطع 1 بالادست سرریز و نقطه C'' مقطع 2 در شکل 1c خواهیم داشت:

$$H_w = d + \frac{U_1^2}{2g} + \left[ \left(\frac{p}{g}\right) - \frac{dp}{gdy} d \right] \approx \frac{U_1^2}{2g} + \left(\frac{p}{g}\right)_{crest} \quad [16]$$

بنابر این معادله بصورت رابطه 17 مجدداً نوشته می‌شود:

$$U_1 = \sqrt{2g(H_w - \left(\frac{p}{\gamma}\right)_{crest})} \quad [17]$$

با در نظر گرفتن  $U = \sqrt{2gH_w}$  و استفاده از روابط 17 و 14 سرعت نرمال شده عبارت است از:

$$\frac{u}{U} = \frac{\left[1 - \left(\frac{p}{gH_w}\right)_{crest}\right]^{0.5}}{\left(1 + \frac{y}{R}\right)} \quad [18]$$

با استفاده از روابط 17، 13 و 7 ضریب تخلیه سرریز بصورت زیر بدست می‌آید:

$$Cd = \frac{3\sqrt{3}}{2} \left[1 - \left(\frac{p}{gH_w}\right)_{crest}\right]^{0.5} \frac{\ln\left(1 + \frac{y_{crest}}{R}\right)}{\left(\frac{H_w}{R}\right)} \quad [19]$$

محاسبه ضریب تخلیه بر اساس کاربرد تابع جریان اطراف استوانه

فرضیات بکار گرفته شده در این روش همانند آنچه است که در روش قبل بدان اشاره شد. تابع جریان اطراف یک سیلندر استوانه‌ای (شکل 2) با رابطه زیر توصیف می‌شود (حیدرپور و همکاران 1381):

$$\Psi = U \left(1 - \frac{R^2}{r}\right) \sin q \quad [20]$$

$$C_d = \left[ \frac{27}{16} \left( \frac{\frac{y_{crest}}{H_w} \left(1 + \frac{P}{H_w}\right)}{b_2 \left(1 + \frac{P}{H_w}\right) - \frac{y_{crest}}{H_w}} \right) \left( 1 - \left(\frac{y_{crest}}{H_w}\right)^2 K_2 + \frac{P}{H_w} \left(2 + \frac{P}{H_w}\right) (1 - K_w) \right) \right]^{0.5} \quad [12]$$

همانگونه که رابطه 12 نشان می‌دهد برای تعیین ضریب تخلیه باید توزیع سرعت در تاج سرریز به منظور محاسبه  $b_2'$  و توزیع فشار در تاج و روی وجه بالا دست سرریز به منظور محاسبه  $K_2$  و  $K_w$  اندازه‌گیری شود.

محاسبه ضریب تخلیه بر اساس کاربرد تئوری درس‌لر در سرریزهای تاج دایره‌ای

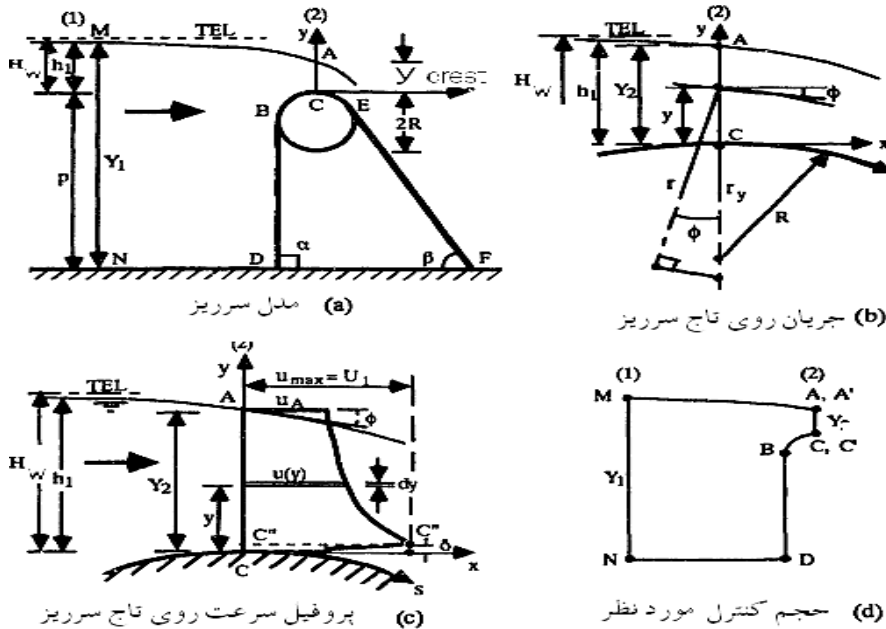
در توسعه تئوری درس‌لر (1978) فرضیات زیر در نظر گرفته شده است: 1) جریان ورودی به سرریز ماندگار، دوبعدی و زیر بحرانی می‌باشد، 2) تاثیر کشش سطحی و لزجت سیال نادیده گرفته شده است و 3) ضخامت لایه مرزی  $d$  در مقایسه  $y_{crest}$  و  $H_w$  ناچیز است. معمولاً نسبت  $\frac{d}{H_w}$  از مرتبه 0/02 می‌باشد (رامامورتی و وو 1993b). درس‌لر (1978) رابطه زیر را برای دبی جریان در واحد عرض سرریز ارائه نمود:

$$q = U_1 R \ln\left(1 + \frac{y_{crest}}{R}\right) \quad [13]$$

که در آن  $U_1 = \sqrt{2g(H_w - \left(\frac{p}{\gamma}\right)_{crest})}$  حداکثر سرعت در تاج سرریز می‌باشد. سرعت  $u$  در عمق  $y$  بالای تاج سرریز بر اساس تحقیق درس‌لر (1978) بصورت زیر بدست می‌آید:

$$u = \frac{U_1}{\left(1 + \frac{y}{R}\right)} \quad [14]$$

در جریان واقعی روی سرریز، حداکثر سرعت در تاج اتفاق نمی‌افتد بلکه در لبه لایه مرزی رخ می‌دهد (فرض



شکل 1- جریان در روی سرریز به همراه پروفیل سرعت روی تاج

$$\frac{u}{U} = 1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{y}{R}\right)^2} \quad [22]$$

$$\frac{u}{U_1} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{y}{R}\right)^2}\right) \quad [23]$$

با قراردادن مقدار  $u$  از رابطه فوق در معادله

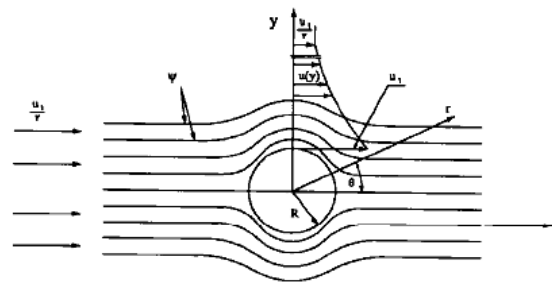
$$q = \int_d^{y_{crest}} u dy \quad \text{مقدار دبی برابر است با:}$$

$$q = \frac{U_1 R}{2} \left( \frac{2 + \frac{y_{crest}}{R}}{1 + \frac{y_{crest}}{R}} \right) \quad [24]$$

مقدار سرعت در تاج سرریز  $U_1$  با استفاده از رابطه 17 محاسبه می‌شود. با قرار دادن رابطه 17 در رابطه 24 و مساوی قرار دادن رابطه مذکور با رابطه 7 مقدار ضریب تخلیه در این روش بدست می‌آید:

$$C_d = \frac{3}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{P_{crest}}{H_w}\right) \times \frac{y_{crest}}{H_w} \times \frac{\left(2 + \frac{y_{crest}}{R}\right)}{\left(1 + \frac{y_{crest}}{R}\right)}} \quad [25]$$

که در آن  $U$  سرعت نزدیک شدن جریان به استوانه، شعاع سرریز،  $r$  فاصله از مرکز استوانه در جهت شعاع و  $q$  خلاف جهت عقربه ساعت مثبت در نظر گرفته شده است.



شکل 2- خطوط جریان اطراف سیلندر استوانه‌ای

با استفاده از تابع جریان سرعت مماسی بصورت رابطه 21 بدست می‌آید:

$$V_q = \frac{1}{r} \frac{\partial y}{\partial r} = U \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) \sin q \quad [21]$$

به ازای  $q = 90$  و در  $r = R$  مقدار  $U_1 = 2U$  می‌باشد. بنابراین توزیع سرعت در روی تاج سرریز دایره‌ای با رابطه زیر بدست می‌آید:

شبیه‌سازی شده توسط مدل فلونتت مقایسه کردند. نتایج حاکی از تطابق مناسب الگوی جریان اندازه‌گیری شده روی سرریز در آزمایشگاه و شبیه‌سازی مدل بود. آنها همچنین مشاهده نمودند که محل تشکیل عمق بحرانی قبل از نقطه اوج سرریز و جدایش جریان از روی سرریز در ناحیه انتهایی آن صورت می‌گیرد.

قبادیان و همکاران (1389) پس از بررسی روابط تئوری- تحلیلی محاسبه ضریب تخلیه سرریز با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه‌ای کلی برای محاسبه ضریب تخلیه ارائه نمودند و با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نشان دادند که موثرترین پارامتر بر روی ضریب تخلیه نسبت ارتفاع آب روی تاج به شعاع تاج سرریز می‌باشد. همچنین عمق جریان روی تاج سرریز بصورت متوسط  $0/844$  برابر عمق بحرانی بدست آمد.

بررسی تحقیقات انجام شده بر روی سرریزهای تاج دایره‌ای نشان می‌دهد، تاکنون عموماً تاثیر شرایط جریان بالادست و ابعاد سرریز، به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی ضریب تخلیه مورد توجه قرار گرفته است. از آنجائیکه در عمل سرریزهای تاج دایره‌ای ممکن است از مصالحی با زبری متفاوت ساخته شوند از این‌رو هدف از این تحقیق بررسی تاثیر زبری تاج و بدنه سرریز بر روی ضریب تخلیه سرریز می‌باشد که کمتر مورد توجه محققین قبلی بوده است علاوه بر آن تاثیر پارامترهای دیگر همانند ارتفاع تاج و شعاع قوس بر ضریب تخلیه و شرایط هیدرولیکی جریان نیز در نظر گرفته شده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق پس از شناسائی پارامترهای مهم تاثیر گذار بر ضریب سرریز با استفاده از روش آنالیز ابعادی رابطه‌ای بدون بعد استخراج و نهایتاً با استفاده از نتایج آزمایشگاهی رابطه ریاضی نهائی معرفی گردید. نتایج آنالیز ابعادی نشان می‌دهد که:

$$C_d = \frac{q}{\frac{2}{3}\sqrt{\frac{2}{3}gH_w^{1.5}}} = f\left(\frac{H_w}{R}, \frac{P}{H_w}, \frac{K_s}{H_w}, F_r, R_e, W_e, a, b\right) \quad [26]$$

رامامورتی و همکاران (1993a) همچنین با به کارگیری تئوری درسلسر، توزیع سرعت روی تاج سرریز تاج دایره‌ای را به دست آوردند و رابطه بدون بعدی را برای ضریب جریان ارائه دادند.

حیدرپور و همکاران (1384) خصوصیات هیدرولیکی مانند ضریب دبی، عمق روی تاج و افت انرژی را در سرریزهای تاج دایره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که در سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با افزایش بار آبی ضریب دبی افزایش می‌یابد و افت انرژی در سرریزهای استوانه‌ای بیشتر از تاج دایره‌ای است. همچنین حیدرپور و همکاران (1381) با بکارگیری تابع جریان در اطراف یک استوانه، توزیع سرعت روی تاج را تعیین و یک مدل ریاضی برای تعیین ضریب جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه دادند.

حیدرپور و همکاران (1385) به منظور بررسی تغییرات فشار روی تاج سرریز، آزمایشاتی با استفاده از یک مدل سرریز استوانه‌ای و یک مدل سرریز تاج دایره‌ای با ارتفاعات مختلف صفر،  $12/5$ ،  $15/7$ ،  $18/7$  سانتی‌متر و  $\alpha=\beta=90$  انجام دادند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داد که برای سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با افزایش بار روی سرریز، توزیع فشار از حالت هیدرواستاتیک خارج می‌شود. همچنین ارتفاع سرریز تاثیر زیادی بر توزیع فشار نداشته و با تغییر ارتفاع سرریز توزیع فشار تقریباً به صورت هیدرواستاتیک باقی می‌ماند.

فرسادی‌زاده و همکاران (1387) با کمک مدل عددی فلونتت<sup>1</sup> جریان عبوری از روی سرریز استوانه‌ای را شبیه‌سازی نمودند و اثر بار هیدرولیکی را بر ضریب تخلیه جریان بررسی کردند. نتایج آنالیز عددی به صورت منحنی‌های فشار و سرعت ارائه شده و ضریب جریان در این سرریز با دبی‌های متفاوت محاسبه گردید.

اسماعیلی و همکاران (1389) با آزمایش روی مدل‌های مختلف سرریز استوانه‌ای، مقادیر فشار و سرعت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه را با مقادیر

<sup>1</sup> Fluent

ضریب تخلیه آزمایش‌های بر روی سرریزهای با 5 شعاع قوس مختلف از 2/5 تا 7/5 سانتیمتر و ارتفاع تاج مختلف و 4 اندازه زبری مختلف (1/18، 1/40، 3/35 و 4/75 میلیمتر) در شرایط هیدرولیکی متعددی انجام شد. تعداد 190 آزمایش در دبی‌های مختلف روی این سرریزها در فلوم آزمایشگاهی به طول 10 متر، پهنای 30 و ارتفاع 55 سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه رازی انجام شد. رقوم سطح آب بالای سرریز توسط یک دستگاه رقوم سنج نقطه‌ای با دقت 0/1 میلیمتر اندازه‌گیری شد. دبی فلوم پس از تخلیه جریان درون یک مخزن مکعبی فلزی مجهز به یک سرریز مثلثی 53 درجه اندازه‌گیری شده است. حداکثر دبی 15 لیتر بر ثانیه توسط سیستم پمپاژ تامین می‌شود. در شکل 3 بخشی از تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است.



ب) سرریز مثلثی 53 درجه اندازه‌گیری دبی جریان

که در آن  $C_d$  ضریب تخلیه،  $H_w$  بار کل روی تاج سرریز،  $R$  شعاع تاج سرریز،  $P$  ارتفاع تاج سرریز،  $K_s$  اندازه زبری تاج و بدنه سرریز ( $D_{50}$ )،  $F_r = \frac{V}{\sqrt{g\lambda}}$  عدد فرود،  $R_e = \frac{2R\sqrt{2gH_w}}{n}$  عدد رینولدز و  $W_e = \frac{gH_w^2}{S}$  عدد وبر جریان نزدیک شونده به سرریز می‌باشد.  $a$  و  $b$  زوایای وجه بالادست و پائین‌دست سرریز می‌باشد. در این تحقیق زوایای وجه بالادست و پائین‌دست بصورت قائم در نظر گرفته شده است. با توجه به محدوده عمق جریان روی تاج سرریز از تاثیر عدد وبر صرفنظر شده است. همچنین جریان بالادست سرریز همواره زیر بحرانی و آشفته می‌باشد. بنابراین تاثیر عدد فرود و رینولدز نیز قابل صرفنظر نمودن می‌باشد. بنابراین تنها اثر سه پارامتر اول سمت راست تساوی رابطه فوق مورد توجه قرار گرفته است. به منظور بررسی تاثیر پارامترهای مورد نظر این تحقیق بر



الف) سرریز تاج دایره‌ای بدون زبری در حال آزمایش



د) سرریز نصب شده در فلوم با زبری  $D_{50} = 4/75 \text{ mm}$



ج) سرریز تاج دایره‌ای با زبری  $D_{50} = 1/18 \text{ mm}$  در حال آزمایش

شکل 3- تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر



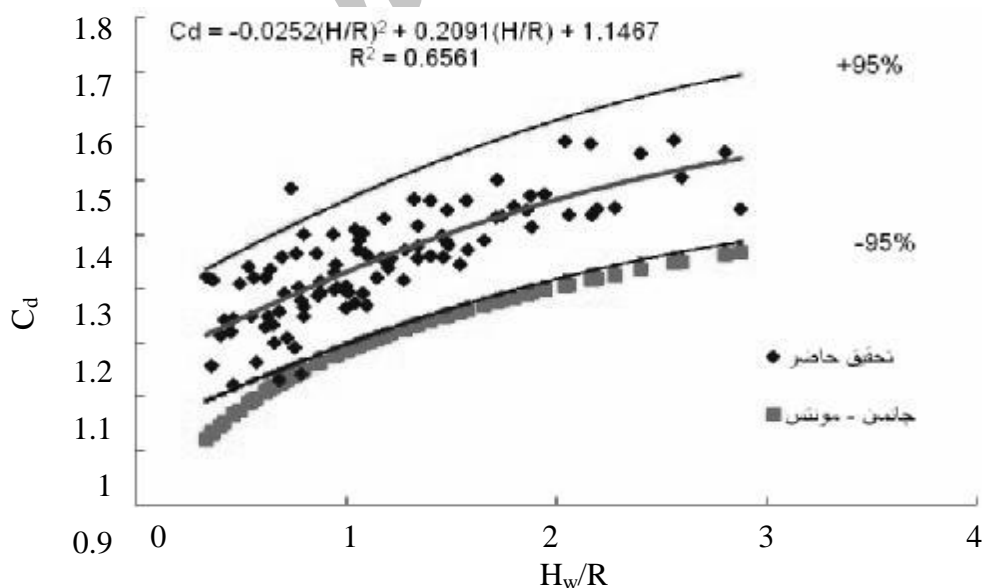
$$0.33 \leq \frac{H_w}{R} \leq 3, \quad R^2 = 0.66 \quad [27]$$

در شکل 4 تغییرات مقدار ضریب تخلیه در مقابل نسبت بار کل روی تاج سرریز به شعاع تاج ( $\frac{H_w}{R}$ ) ترسیم شده است. همانگونه که نشان داده شده است اکثر مقادیر در باند اعتماد 95% واقع شده‌اند که نشان از دقت رابطه 27 در برآورد ضریب تخلیه سرریز تاج دایره‌ای در شرایط بدون اعمال زبری دارد. همچنین شکل مذکور نشان می‌دهد که با افزایش نسبت  $\frac{H_w}{R}$  در محدوده 0/33 تا 2/876 مقدار ضریب تخلیه افزایش می‌یابد ولی شدت افزایش در محدوده بالای نسبت مذکور شروع به کاستن می‌نماید. روند تغییرات در تحقیق اخیر با نتایج چانسن و مونتس (1998) همخوانی خوبی دارد ولی در حالت کلی مقادیر ضریب تخلیه بدست آمده در این تحقیق حدود 5 درصد بیشتر از مقادیر ارائه شده توسط محققین مذکور می‌باشد.

### نتایج و بحث

همانگونه که قبلاً اشاره شد در این تحقیق ابتدا به منظور ارائه رابطه کاربردی برای تخمین ضریب آبگذری سرریز حدود 100 آزمایش بر روی سرریزهای تاج دایره‌ای با پنج شعاع مختلف از 2/5 تا 7/5 سانتی‌متر با ارتفاع تاج متفاوت بدون اعمال زبری انجام گردید. پس از آن حدود 90 آزمایش دیگر با اعمال 4 زبری مختلف بر روی سرریزی با شعاع 7/5 سانتی‌متر و ارتفاع تاج 26 سانتی‌متر انجام شد. در شرایط بدون اعمال زبری نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین عامل تاثیرگذار بر ضریب آبگذری نسبت بار آبی بالادست به شعاع سرریز می‌باشد که با افزایش این نسبت ضریب آبگذری نیز افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات نسبت ارتفاع تاج به بار کل روی سرریز ( $\frac{P}{H_w}$ ) تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ضریب تخلیه ندارد. نهایتاً رابطه ریاضی زیر با استفاده از رگرسیون غیر خطی توسط نرم افزار SPSS برای محاسبه ضریب تخلیه ارائه گردید:

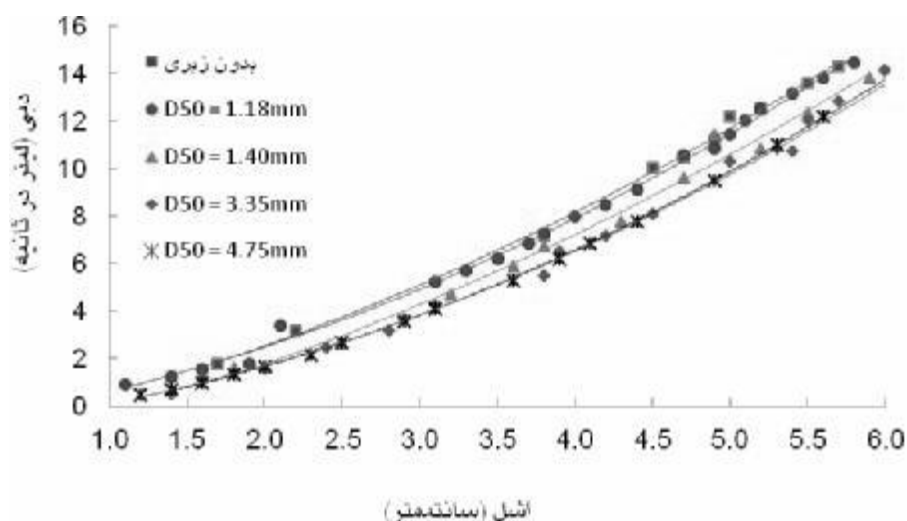
$$C_d = -0.205\left(\frac{H_w}{R}\right)^2 + 0.209\left(\frac{H_w}{R}\right) + 1.147$$



شکل 4- تغییرات ضریب تخلیه سرریز در مقابل نسبت  $\frac{H_w}{R}$  در تحقیق حاضر و تحقیق چانسن و مونتس (1998)

به ازای دبی ثابت با افزایش اندازه زبری ارتفاع آب روی تاج سرریز افزایش می‌یابد.

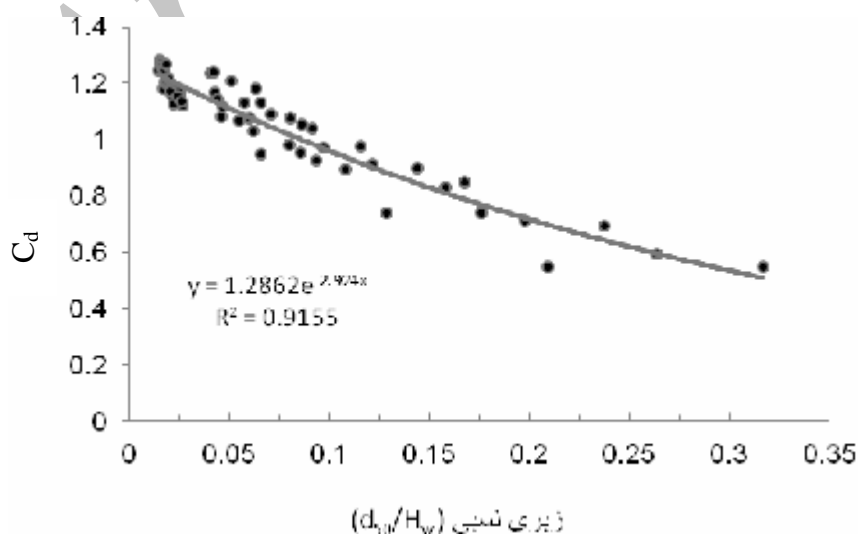
در شکل 5 تاثیر اندازه زبری ( $D_{50}$  یا  $K_s$ ) بر روی رابطه دبی - اشل سرریز نشان داده شده‌است. همانگونه که انتظار می‌رود شکل مذکور نشان می‌دهد



شکل 5 - رابطه دبی - اشل روی تاج سرریز برای زبری‌های مختلف

و بدنه سرریز، جریان به طرف بستر زبرگرایش پیدا می‌نماید و انتظار می‌رود پروفیل سرعت روی تاج سرریز یکنواخت‌تر و وسعت منطقه فشار منفی روی تاج کاهش یابد. علاوه بر این منحنی برازش داده شده از بین داده‌ها در شکل 6 نشان می‌دهد تاثیر زبری نسبی کمتر بر کاهش ضریب تخلیه دبی اندکی بیشتر است.

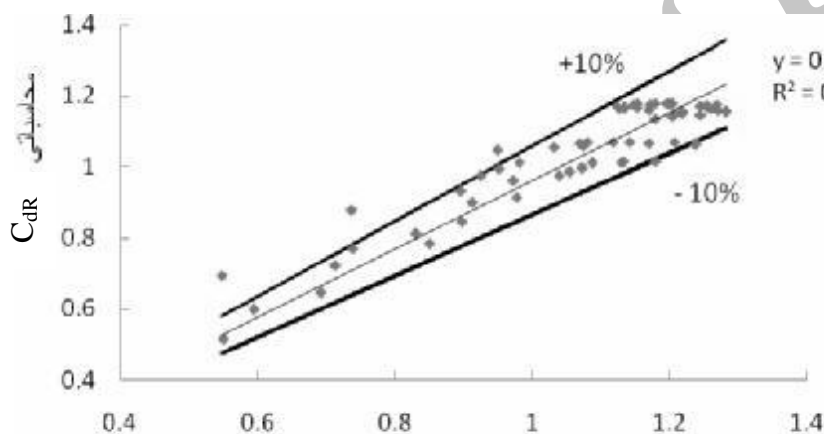
تغییرات ضریب تخلیه ( $C_d$ ) در مقابل زبری نسبی ( $\frac{D_{50}}{H_w}$ ) در صورت ثابت نگه داشتن سایر شرایط از جمله رقم تاج سرریز و شعاع انحناي آن در شکل 6 نشان داده شده‌است. با توجه به شکل مذکور هرچه زبری نسبی سرریز افزایش می‌یابد ضریب تخلیه کاهش می‌یابد. دلیل این تغییرات را باید در میزان تأثیر زبری بر شرایط جریان دانست. چرا که با افزایش زبری جدار



شکل 6- تغییرات ضریب تخلیه در مقابل زبری نسبی ( $\frac{D_{50}}{H_w}$ )

$$C = 1.052e^{-2.787\frac{D_{50}}{H_w}}, R^2 = 0.90 \quad [29]$$

به منظور بررسی دقت رابطه 28 مقادیر ضریب تخلیه اندازه‌گیری شده در شرایط اعمال زبری (تعداد 90 آزمایش) در مقابل مقادیر محاسبه شده با رابطه 28 ترسیم و در شکل 7 به همراه باند اعتماد 90 درصد ترسیم شده‌است. بیشتر داده‌ها در نوار اعتماد قرار دارند که نشان از دقت مناسب رابطه 28 دارد.



اندازه‌گیری  $C_{dR}$

شکل 7- مقادیر ضریب تخلیه سرریز اندازه‌گیری شده در شرایط اعمال زبری و محاسبه شده بر اساس رابطه 28

افزایش این نسبت ضریب تخلیه نیز افزایش می‌یابد. در نهایت یک رابطه ریاضی برای محاسبه ضریب تخلیه ارائه گردید.

2- با افزایش زبری نسبی ( $\frac{D_{50}}{H_w}$ ) سرریز ضریب تخلیه جریان کاهش می‌یابد و تأثیر زبری نسبی کمتر بر کاهش ضریب تخلیه دبی بیشتر است.

3- در شرایط اعمال زبری مصنوعی نیز رابطه‌ای برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز بدست آمد.

نهایتاً با توجه به مجموع داده‌های اندازه‌گیری شده رابطه نهائی زیر برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز بدست آمد:

$$C_{dR} = C \times C_d \quad [28]$$

که در آن:

$C_{dR}$  ضریب تخلیه نهائی که در برگیرنده اثرات زبری نیز می‌باشد.  $C_d$  ضریب تخلیه محاسبه شده برای شرایط بدون اعمال زبری که از رابطه 27 محاسبه می‌شود.  $C$  ضریب اصلاحی است که تابعی از اندازه زبری نسبی می‌باشد و بر اساس محاسبات انجام شده برابر است با:

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از شناسائی پارامترهای مهم تأثیر گذار بر ضریب تخلیه سرریز تاج دایره‌ای با استفاده از روش آنالیز ابعادی رابطه‌ای بدون بعد استخراج و نهایتاً با انجام حدود 190 آزمایش بر روی سرریزهای تاج دایره‌ای با مشخصات هندسی مختلف و 4 زبری اعمال شده متفاوت نتایج زیر بدست آمد:

1- در شرایط بدون زبری نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین عامل تأثیرگذار بر ضریب تخلیه نسبت بار آبی بالادست به شعاع سرریز ( $\frac{H_w}{R}$ ) می‌باشد که با

## منابع مورد استفاده

- اسماعیلی ک، نقوی ب، کورش وحید ف و یزدی ج. 1389. مدل سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه‌ای، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 24، شماره 1. صفحه‌های 166 تا 179.
- بیگی پور غ و بینا م. 1384. هیدرولیک جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای و استوانه‌ای. صفحه‌های 239 – 246. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 17 تا 19 آبان، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.
- حیدرپور م، افضل‌ی مهر ح و خرمی ا، 1381. کاربرد تابع جریان در اطراف سیلندر دایره‌ای شکل در سرریزهای تاج دایره‌ای، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره سوم. صفحه‌های 51-61.
- حیدرپور م، چمنی م ر و خرمی ا، 1384. بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ششم. صفحه‌های 21-30.
- حیدرپور م، ایزدی‌نیا ا و سعادت‌پور ع، 1385. بررسی توزیع فشار روی تاج سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با ارتفاعات مختلف. صفحه‌های 345-351. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، 12 تا 14 اردیبهشت، دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- فرسادی‌زاده د، خسروی نیا پ و ورجاوند پ، 1387. بررسی ضریب جریان در سرریزهای استوانه‌ای با استفاده از مدل عددی فلونت. صفحه 33، مجموعه مقالات (CD). چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، 17 تا 20 اردیبهشت، دانشگاه تهران.
- قبادیان ر، معصومی ز و رستمی ر، 1389. تخمین ضریب آبگذری سرریزهای تاج دایره‌ای در شرایط جریان آزاد با استفاده از مدل فیزیکی، صفحه‌های 343-354. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، 21 تا 23 اردیبهشت، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه.
- Bazin H, 1898. Expériences Nouvelles sur l'Écoulement par Déversoir ('Recent Experiments on the Flow of Water over Weirs.'). Mémoires et Documents, Annales des Ponts et Chaussées, Paris, France. Sér 7, 15: 151-264.
- Bos MG, 1978. Discharge Measurement Structures. Publ. 20, Int Inst for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Creager WP, 1917. Engineering of Masonry Dams. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Chanson H and Montes JS. 1998. Overflow characteristics of circular weir. J Irrig & Drain Engin, ASCE 124(3):152-162.
- Dressler RF, 1978. New nonlinear shallow flow equations with curvature. J Hydr Res, IAHR 16(3): 205-222.
- Fawer C, 1937. Etude de Quelques Ecoulements Permanents a Filets Courbes [Study of some steady flows with curved streamlines). Thesis, Lausanne, Switzerland. Imprimerie La Concorde (in French).

- Ramamurthy AS, Vo ND and Vera G, 1992. Momentum model of flow past weir. J Irrig & Drain Engin, ASCE 118(6):988-994.
- Ramamurthy AS and Vo ND, 1993a. Characteristics of circular crested weir. J Hydr Engin, ASCE 119(9): 1055-1063.
- Ramamurthy AS and Vo ND, 1993b. Application of dressler theory to weir flow. J Appl Mech Div, ASCE 60: 163-166.
- Escande L and Sananes F, 1959. Etudes des Seuils Déversants à Fente Aspiratrice. Pp: 892-902 ('Weirs with Suction Slots.') JI La Houille Blanche, Dec., No. Special B, (in French).
- Rehbok T, 1929. The River Hydraulic Laboratory of the Technical University of Karlsruhe. Pp: 111-242. Hydraulic laboratory practice, ASME, New York, NY.
- Sarginson EJ, 1972. The influence of surface tension on weir flow. J Hydr Res, Delft, The Netherlands 10(4): 431-446.
- Rouve G and Indlekofer H, 1974. Abfluss über geradlinige Wehre mit halbkreisförmigem Überfallprofil. ('Discharge over Straight Weirs with Semicylindrical Crest.'). Der Bauingenieur 49(7): 250-256 (in German).

Archive of SID