


Prediction of Discharge for Arced Labyrinth Weirs with Trapezoidal Cross Section

Ehsan Parsi ^{1*}, Masoumeh Zeinali ², Kazem Allahdadi ¹, Mohammad Ansari Ghojghar ²

1- PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

2- PhD Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

* Ehsan-parsi@iauahvaz.ac.ir

Received: 5 October 2020, Accepted: 1 December 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Labyrinth design of weirs is a good way to increase their capacity, which is a trapezoidal plan of the most common types of weirs. The first hydraulic studies were presented by Taylor (1968) and later by Hay and Taylor (1970) and Darvas (1971). Kumar et al. (2011). Crookston and Tullis (2012) experimentally studied the properties of blade interference and local immersion in congressional overflows. Sangsefidi et al. (2017) examined the hydraulic performance of arched zigzag overflows. Bijan Khan and Ferro (2017) determined the relationship for triangular congressional overflows in free and submerged flow conditions. Azimi and Hakim (2018) analysed the hydraulic flow on rectangular congressional overflows. Kumar et al. (2020) showed that the overflow discharge efficiency of a standard rectangular piano key was improved by trapezoidal geometry of 2 to 15%. Allahdadi and Shafaei Bajestan (2019), provided a relationship to calculate the flow rate using critical depth by studying arc zigzag overflows with rectangular cross section.

The object of the present study is to obtain a relationship to calculate the flow rate from arc zigzag overflows with trapezoidal cross section, using the geometric parameters of the weirs and the critical depth parameter.

Methodology: The study used 145 laboratory data from the University of Utah in the form of eight models. In this research, for the first time, the critical depth is used to calculate the discharge. In this study, using the geometric characteristics of the coefficient overflow as the shape coefficient (β) was presented. The parameters affecting the shape coefficient in zigzag arc overflows are Ht , Lct , Lt , W and P . The critical depth is related to the flow and width of the downstream canal and is characterized by a longitudinal dimension. Therefore, it will be used to dimension the water depth parameter on the weir crest or weir height. Having the geometric characteristics of the weir and the general head on the weir crest, the flow rate can be calculated. It should be noted that the maximum critical depth can be equal to the height of the weir and can be used to calculate the maximum capacity of arc weirs in the free flow mode. In this case it will be $yc=p$ and the flow rate through Equation will be calculated.

Results and Discussion: The relationship between the coefficient β and the ratio of critical depth to weir height yc/p is presented for two types I and II. Results shows that the greater the angle of the weir walls, the greater the critical depth. The reason for this result is less interference of the flow layers, more aeration of the flow and increased flow through the

overflow. y_c/P is in the range of 0.00 and 1.00 for all models.

The Ht/P parameter has been used by many researchers in previous studies. Ht/P is a simple parameter to measure. In contrast, the parameter $y_{c(Lct)}$ determines the critical depth based on the total length of the weir, and the flow rate of this parameter can be measured directly. Using the parameter $y_{c(Lct)}$, the resulting equation is presented for all models without limitation of the central arch angle and the angle of the weir walls. In the resulting equation, $R^2 = 0.990$ indicates the high accuracy of the relationship.

Conclusion: In this study, 145 laboratory data were used, including four types of arc labyrinth weirs with different arc radius and tangent lengths. The discharge efficiency was introduced as a dimensionless parameter β using dimensional analysis. The relationships between β and the critical depth of flow (y_c/P) were obtained using graphs for two different types with accuracy of $R^2 = 0.983$ and $R^2 = 0.998$. Then, a graph between ($y_{c(Lt)}/P$) and Ht/P was presented to calculate the critical depth. The results showed that the calculated flow rate obtained using y_c is consistent with laboratory values so that the relationship between them has high accuracy, $R^2 = 0.982$.

Keywords: Labyrinth Weirs, Discharge Efficiency, Hydraulic Model, Regression.



© 2021 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the
Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ارزیابی روشی جدید جهت محاسبه دبی عبوری سرریزهای زیگزاگی قوسی با مقطع دوزنقه‌ای

احسان پارسی^{۱*}، معصومه زینعلی^۲، کاظم اله‌دادی^۱، محمد انصاری قوجقار^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز.
۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

* Ehsan-parsi@iauhvaz.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: سرریزهای زیگزاگی از جمله سازه‌های هیدرولیکی هستند که جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها احداث می‌شوند. این سازه، برای انتقال جریان‌های بزرگ در هدهای کم، با افزایش طول مؤثر تاج سرریز، طراحی می‌گردد. محور تاج این نوع سرریزها، به صورت غیر مستقیم بوده و در نمایش سطح افقی، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل شده است. سرریزهای زیگزاگی با هندسه مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و قوسی با تناوب در عرض جریان تکرار می‌گردد. معیار اصلی در طراحی زیگزاگی سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است. در این تحقیق از ۱۴۵ داده آزمایشگاهی، شامل چهار تیپ سرریز زیگزاگی قوسی با شعاع قوس و طول تانژانت مختلف استفاده شد. ضریب دبی به صورت پارامتری بعد β با استفاده از آنالیز ابعادی معرفی گردید. روابط بین β و عمق بحرانی جریان (y/P) با استفاده از ترسیم نمودار مربوطه برای دو تیپ متفاوت و $R^2=0.998$ و $R^2=0.983$ بدست آمد. سپس با ترسیم نمودار مربوط به H/P و Y_{CL}/P رابطه‌ای برای محاسبه عمق بحرانی ارائه شد. نتایج نشان داد که مقدار دبی محاسباتی با استفاده از yc بدست آمده، با مقادیر آزمایشگاهی همخوانی دارد به طوری که رابطه بین آن‌ها دارای $R^2=0.982$ است.

کلید واژگان: سرریز زیگزاگی، ضریب دبی، مدل هیدرولیکی، رگرسیون.

۱- مقدمه

(راندمان) بالا طراحی شوند که در هر لحظه بتوانند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد. به طور کلی، مبنای طرح سرریزهای سدهای مخزنی و معیارهای طراحی آن‌ها از جمله مسئله‌های مهم سدسازی به شمار می‌آید و نقش عمده‌ای در کاهش خطر سیل گرفتگی شهرها یا اراضی بالادست سدهای مخزنی دارد. متأسفانه به دلیل رعایت نشدن معیارهای فنی و در زمینه مدیریت سیلاب، گاهی انتخاب نادرستی در زمینه نوع سرریز سدهای مخزنی صورت می‌پذیرد. اغلب افزایش هزینه سرریز، رابطه خطی با افزایش ظرفیت آن ندارد. در بسیاری از طرح‌ها، هزینه یک سرریز با ظرفیت بالا تنها کمی بیشتر از سرریزی است که ظرفیت بسیار کمتری دارد. یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت سرریزها، افزایش طول مؤثر سرریز در یک عرض

برای عبور جریان مازاد آب از سراب (بالادست) به پایاب (پایین دست) سدها، از سازه‌ای به نام سرریز استفاده می‌شود. سرریز یکی از کلیدی‌ترین اجزاء تشکیل دهنده سدها به شمار می‌رود. معیار اصلی در طرح زیگزاگی سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالا دست سرریز بوده است. ایمنی سدها به طور مهم، ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با کیفیت ظرفیت سرریز دارد. بنا بر گزارش‌های منتشر شده توسط کنفرانس بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD) حدود یک سوم شکست سدها از کافی نبودن سرریز نشأت گرفته است (ICOLD, 1998). در نتیجه، سرریزها باید به صورت سازه‌ای قوی، مطمئن و با بازده

۲- پیشینه تحقیق

نخستین بررسی‌های هیدرولیکی در زمینه طراحی و کاربرد این سرریزها توسط Taylor (1968) و بعدها توسط Hay and Taylor (1970) برای تاج لبه تیز و طرح دوزنقه ای و مثلثی ارائه شد. (Darvas (1971) نیز پس از انجام آزمایش‌هایی روی مدل فیزیکی به رابطه زیر برای طراحی سرریزهای زیگزاگی دست یافتند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که ضریب دبی با افزایش بار آب روی تاج سرریز، کاهش و با افزایش طول سرریز افزایش می‌یابد. حاصل نتایج تحقیقات (Tullis et al., 1995) در موسسه تحقیقات UTAH ارائه معادله عمومی سرریزها به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) می‌باشد:

$$Q = C_d L \frac{2}{3} \sqrt{2gH_0} \quad (1)$$

(2)

در رابطه (۱) و (۲)، C_d ضریب دبی و H_t هد کلی روی تاج سرریز است ضریب‌های A_1 تا A_5 برای هر زاویه دیواره‌های هادی به صورت جدول (۱) می‌باشد.

Kumar et al. (2011) بررسی آزمایشگاهی بر ضریب سرریز کنگره‌ای با طرح مثلثی انجام دادند. مقایسه نتایج نشان داد که با کاهش زاویه راس سرریز، طول ناحیه تداخل جریان افزایش یافته و ضریب دبی جریان سرریز کاهش محسوسی می‌یابد. همچنین در این تحقیق رابطه‌هایی برای محاسبه ضریب دبی جریان با زاویه‌های راس مختلف ارائه شده است.

Crookston and Tullis (2012) ویژگی‌های تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای راس مختلف را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیشتر بوده و بتدریج با افزایش دبی جریان شدت تداخل بیشتر می‌گردد. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و میزان آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن می‌شود.

معین می‌باشد. استفاده از سرریزها با نقشه و طرح (پلان) غیرخطی مانند مثلثی، دوزنقه‌ای، دایره‌ای، سهموی و غیره که به آنها سرریزهای چندوجهی، زیگزاگی و یا زیگزاگی می‌گویند، راهکار مناسبی برای افزایش طول مؤثر سرریز است. این نوع سرریزها اغلب به صورت یک چرخه (Cycle) یا چند سیکل ساخته می‌شوند. سرریزهای زیگزاگی به عنوان یک گزینه اقتصادی و فنی برای مهار جریان در موارد مختلف از جمله سرریز سدها استفاده قرار می‌شوند. آنها ممکن است برای کنترل دبی، کاهش شیب سطح آب کانال‌ها و توزیع آب بین آبراهه‌های آبیاری و غیره استفاده شوند. (Neveen Sad and Fattouh Ehab, 2017)

محور تاج سرریزهای زیگزاگی، به صورت غیر خطی بوده و در یک عرض معین، طول تاج بیشتری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارد. به طوری که در نمایش سطح افقی، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل شده است و با هندسه مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و یا قوسی و با تناوب در عرض جریان تکرار می‌شود (Majedi Asl and Fuladipanah, 2018). در شکل (۱) نمایش سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت نشان داده شده است.

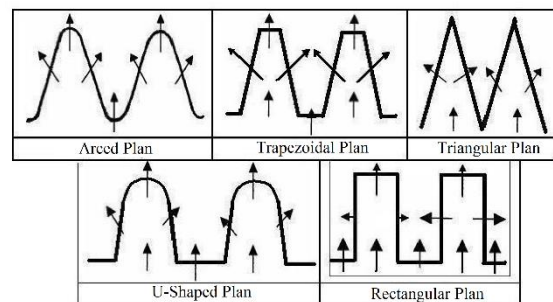


Fig. 1 Labyrinth Weirs with different geometric plan (Yasi and Mohammadi, 2007)

شکل ۱ سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت (Yasi and Mohammadi, 2007)

طرح دوزنقه‌ای از متداول‌ترین انواع این سرریزها می‌باشد. اگر ارتفاع آب روی تاج سرریز کم باشد، این سرریز عملکرد خوبی دارد. با افزایش ارتفاع تیغه جریان ریزشی به دلیل تداخل امواج در دماغه سرریز، از کارایی آن کاسته شده و دبی عبوری کاهش می‌یابد.

جدول ۱ ضریب‌های رابطه تولیس برای محاسبه ضریب دبی C_d

$\alpha = \text{Angle (degree)}$	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
6	0.49	-0.24	-1.20	2.17	-1.03
8	0.49	1.08	-5.27	6.79	-2.83
12	0.49	1.06	-4.43	5.18	-1.97
15	0.49	1.00	-3.57	3.82	-1.38
18	0.49	1.32	-4.13	4.24	-1.50
25	0.49	1.51	-3.83	3.40	-1.05
35	0.49	1.69	-4.05	3.62	-1.10
90	0.49	1.46	-2.56	1.44	0.00

و دریافتند که معیار پرهیز از تاثیرگذاری اندازه مقیاس بسته به اندازه مدل و میزان خطا، قابل چشمپوشی است. Kumar et al. (2011) با انجام مقایسه‌ای بین میزان اهمیت نسبت طول تاج به عرض (L/W) و ارتفاع سرریز (P)، نشان دادند که بازده تخلیه سرریز کلید پیاپویی مستطیلی استاندارد با دوزنقه‌ای شدن هندسه خود به میزان ۲ تا ۱۵ درصد، بهبود یافته است. همچنین تأثیر ارتفاع سرریز کلید پیاپویی دوزنقه بر ضریب دبی، کمتر از مدل استاندارد مستطیلی گزارش شد.

Azhdary Moghaddam et al. (2010) به بهینه‌یابی هندسه سرریز زیگزگی مثلثی با استفاده از مدل فازی-عصبی والگوریتم ژنتیک پرداختند. این بررسی به ارزیابی استفاده از بهینه‌ترین شکل هندسی که بیشترین گذردهی جریان را تحت شرایط خاص هیدرولیکی به همراه کاهش هزینه ساخت را داشته باشد می‌پردازد. به این منظور در این تحقیق از قابلیت سامانه استنتاج فازی والگوریتم ژنتیک برای هت بهینه کردن هندسه سرریز و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب استفاده گردید. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و نیز محاسبه ضریب گذردهی جریان بر پایه الگوهای ورودی-خروجی در دسترس، از مدل سامانه استنتاج فازی-عصبی ANFIS استفاده شد. در این بخش در مدل ANFIS به آموزش داده‌های ورودی، زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان (α) و نسبت ارتفاع کل آب روی سرریز به ارتفاع سرریز H_t/p و خروجی ضریب گذردهی جریان C_d با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی پرداخته شد. در نهایت با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و نیز استفاده از خروجی مدل ANFIS به بهینه‌یابی هندسه سرریز با تعریف تاج هدف کمینه‌سازی هزینه‌های (حجم بتن‌ریزی) سرریز

Christensen (2012) ویژگی‌های جریان سرریز زیگزگی قوسی را برای ۱۱ مدل مختلف، در مقیاس آزمایشگاهی در آزمایشگاه گروه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه ایالتی یوتا ارزیابی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که دیواره‌های کناری با زاویه‌های بیش از ۲۰ درجه، ضریب دبی بیشتری نسبت به زاویه‌های کمتر از آن دارند.

Sangsefidi et al. (2015) عملکرد هیدرولیکی سرریزهای زیگزگی قوس‌دار را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج این بررسی‌های نشان داد که با افزایش زاویه قوس کارایی سرریز زیگزگی تا ۵۰٪ افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مشخص گردید که کارایی این نوع سرریزها حدود ۴/۵ برابر سرریزهای همانند خطی می‌باشد.

Bijankhan and Ferro (2017) به تعیین رابطه‌ای برای سرریزهای زیگزگی مثلثی در شرایط جریان آزاد و مستغرق پرداختند. وضعیت جریان توسط یک چند داده تجربی که در این بررسی گردآوری شد، ارزیابی شد. آنان با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی به روش باکینگهام نسبت به تعیین فرمول دبی سرریز مثلثی زیگزگی اقدام نمودند. در نهایت نیز با استفاده از روش گام‌به‌گام، فرمول ضریب دبی را صحت سنجی کردند.

Azimi and Hakim (2018) به بررسی هیدرولیک جریان بر روی سرریزهای زیگزگی مستطیلی پرداختند، نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های تجربی نشان داد که در شرایط جریان مستغرق، سرریز زیگزگی مستطیلی نسبت به سرریز خطی لبه تیز دارای حساسیت بیشتری است.

Tullis (2018) به بررسی تأثیر مقیاس بر روی سرریزهای زیگزگی پرداختند. ایشان از مدل‌هایی با ارتفاع‌های ۷/۶ و ۹/۱۴ سانتی‌متر برای ارزیابی ظرفیت آبیگری استفاده کردن

مقایسه شده است. نتایج تحقیقات آنان نشان داد به ازای بار هیدرولیکی یکسان، افزایش θ منجر به کاهش ضریب آبگذری می‌شود. با این حال افزایش طول موثر سرریز در نتیجه قوسی کردن آن، می‌تواند بهبود بازده سرریزهای قوسی را تا حدود ۴۵ درصد در پی داشته باشد.

Ghaderi and Abbasi (2019) هیدرولیک جریان عبوری از سرریز پلکانی را تحت تأثیر تغییر و اصلاح شکل هندسی پله‌ها به صورت کنگره‌هایی از دوزنقه، مثلثی و مستطیلی و به کمک مدل FLOW-3D بررسی کردند. شکل زیگزگی دوزنقه‌ای عملکرد بهتری برای دستیابی به بیشترین میزان استهلاک انرژی از خود نشان می‌دهد.

Jedi et al. (2020) در تحقیقات خود، به صورت آزمایشگاهی، ضریب تخلیه سرریزهای جانبی زیگزگی مستطیلی و کلید پیاپویی ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که سرریز جانبی زیگزگی مستطیلی بازده و عملکرد بهتری نسبت به سرریز جانبی کلید پیاپویی دارند. در سال‌های اخیر پارامتر عمق بحرانی به علت وابستگی به مشخصه هندسی و هیدرولیکی جریان، جهت پیش‌بینی دبی عبوری مورد توجه محققان قرار گرفته است.

Shahrokhnia and Javan (2006) با استفاده از فراسنجه عمق بحرانی معادله‌ای را برای برآورد دبی در دریچه‌های شعاعی ارائه دادند.

Bijankhan and Ferro (2018) با کارگیری فراسنجه عمق بحرانی معادله‌ای را برای برآورد دبی در سرریزهای مستطیلی شیب‌دار ارائه دادند. آن‌ها همچنین نتایج به‌دست آمده آزمایشگاهی خود را با مدل عددی OpenFOAM مقایسه کردند.

Allahdadi and Shafai Bajestan (2019) با بررسی بر روی سرریزهای زیگزگی قوسی با مقطع مستطیلی، رابطه‌ای برای محاسبه دبی جریان با استفاده از عمق بحرانی ارائه دادند.

تحقیقات دیگری نیز بر پایه کاربرد عمق بحرانی در محاسبه دبی جریان انجام پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به Ferro (2000)، Ferro (2016)، Stefano and Ferro (2018) و Stefano et al. (2018) اشاره کرد.

با ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب پرداخته شد که نتایج به‌دست آمده از این روش کاهش هزینه‌های سرریز را نشان می‌دهد، که این مساله بیانگر نتایج بسیار مناسب این روش می‌باشد.

Yasi and Mohammadi (2007) تأثیر تغییر شعاع انحنای دماغه سرریزهای کنگره‌ای با دو چرخه و طرح‌های مثلثی، دوزنقه‌ای و مستطیلی را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که قوسی نمودن دماغه سرریز منجر به بهبود بازده هیدرولیکی سرریز می‌شود. حیدرپور و همکاران، (۱۳۸۵)، در بررسی‌های خود به ارزیابی سرریزهای چند وجهی با طرح مستطیلی و U شکل پرداختند. آزمایش‌ها روی ۱۵ مدل آزمایشگاهی سرریز انجام گرفته است. مدل‌ها شامل ۸ سرریز چند وجهی مستطیلی، ۶ سرریز چند وجهی U شکل با طول و ارتفاع‌های متفاوت و یک مدل سرریز خطی می‌باشند. این مدل‌ها در یک فلوم به طول ۷، عرض ۰/۳۲ و ارتفاع ۰/۳۵ متر آزمایش شدند. نتایج آزمایش‌های این پژوهش نشان داد که روند تغییرپذیری ضریب دبی با تغییر Ht/p در این بررسی برای سرریزهای مستطیلی و U شکل، با افزایش زاویه α ، افزایش می‌یابد. همچنین عملکرد سرریز مستطیلی کمتر از سرریزهای دوزنقه‌ای است و همچنین عملکرد سرریز U شکل بیشتر از سرریزهای دوزنقه‌ای با زاویه α برابر ۸ و ۱۲ درجه می‌باشد. سرریز مستطیلی را می‌توان یک سرریز دوزنقه‌ای در نظر گرفت که در آن زاویه α برابر صفر بوده و در این حالت تداخل سفره‌های ریزشی شدید می‌باشد و همین تداخل شدید در راس باعث کاهش ضریب دبی می‌شود ولی با افزایش زاویه α این تداخل کمتر شده و ضریب دبی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داده است که در صورتی که گوشه‌های سرریز انحنادار شوند و سرریز به صورت U شکل ساخته شود، باز هم تداخل سفره‌های ریزشی کاهش یافته و عملکرد سرریز بهبود می‌یابد.

Sangsefidi et al. (2015) در بررسی‌های خود، ضریب آبگذری و دبی عبوری سرریز قوسی قرار گرفته در درون مخزن به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. ضریب آبگذری این سرریزها به عنوان تابعی از θ و Ht/P ارائه و عملکرد هیدرولیکی این سرریزها با سرریز خطی

چرخه، ارتفاع سرریز، Θ زاویه مرکزی قوس، t_w ضخامت دیواره‌ها، H_T هد کل روی تاج سرریز، ω عرض چرخه واحد، y_c عمق بحرانی، N تعداد کل چرخه‌ها، ضریب دبی C_d . در بررسی‌های چون پژوهش (Christensen, 2012) برای هر سرریز با ویژگی‌های هندسی خاص، زاویه‌های دیواره‌های جانبی، زاویه مرکزی قوس و زاویه مرکزی هر سیکل یک نمودار ترسیم می‌شود و با توجه به H_t/p مربوطه، ضریب دبی محاسبه و نهایتاً مقدار دبی عبوری محاسبه می‌شود. بنابراین اگر سرریزی با ویژگی‌های دیگری مدنظر طراح باشد، این نمودارها کاربرد نخواهند داشت و باید مدل فیزیکی آن ساخته شود. در این تحقیق برای اولین بار از عمق بحرانی جهت محاسبه دبی عبوری استفاده می‌شود که نوآوری موضوع تحقیق عدم نیاز به محاسبه ضریب دبی است.

تحلیل ابعادی

دبی عبوری سرریزهای زیگزاگی قوسی تابعی از موارد زیر است:

الف: ویژگی‌های فیزیکی سیال: جرم مخصوص (ρ)، گرانشی پویایی (ازجت دینامیکی) (μ)

ب: ویژگی‌های هیدرولیکی جریان: عمق آب روی سرریز (H_t)، شتاب ثقل (g)

ج: ویژگی‌های هندسی: ارتفاع تاج سرریز (P)، عرض سرریز (w)، طول کل سرریز (L_{ct})، طول یک چرخه از سرریز (L_c).

رابطه ۳ متغیرهای این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$f(Q, P, w, H_t, L_{ct}, L_c, \rho, g, \mu) = 0 \quad (3)$$

هدف این تحقیق بدست آوردن رابطه‌ای جهت محاسبه دبی جریان عبوری از سرریزهای زیگزاگی قوسی با مقطع دوزنقه‌ای، با استفاده از پارامترهای هندسی سرریز و فراسنجه عمق بحرانی است. در مطالعات انجام شده در خصوص سرریزهای زیگزاگی قوسی با مقطع دوزنقه‌ای، فراسنجه عمق بحرانی تاکنون در نظر گرفته نشده است. تمایز این تحقیق حاضر با بررسی‌های پیشین انجام شده، در به‌کارگیری فراسنجه عمق بحرانی در پیش‌بینی دبی جریان در سرریزهای زیگزاگی قوسی با مقطع دوزنقه‌ای می‌باشد.

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۱۴۵ داده آزمایشگاهی که در دانشگاه یوتای آمریکا در قالب ۸ مدل برابر جدول (۲) انجام شده، استفاده شده است و خلاصه داده‌های این پژوهش، در جدول (۳) ارائه شده است (Christensen, 2012). محققان دانشگاه یوتا بر مبنای نسبت H_t/p نمودارهایی برای ضریب دبی بدست آورده‌اند. آن‌ها بر مبنای معادله کلی سرریزها که به صورت رابطه (۱) با داشتن ضریب C_d و طول کلی سرریز و هد جریان، دبی عبوری محاسبه می‌گردد. در شکل (۲) تصویر ۵ نوع از سرریزهای مورد بررسی در بررسی‌های بالا نشان داده شده است. همچنین در شکل (۳) نمودار مربوط به این محاسبات بیان شده است. فراسنجه‌های مورد استفاده به شرح زیر می‌باشند:

$L_T = R \times \Theta$ طول تانژانت قوس، L_c طول یک سیکل، R شعاع قوس، α زاویه دیواره‌های جانبی، $L_{ct} = N \times L_c$ طول کل سرریز، w عرض آبراهه پایین دست، θ زاویه مرکزی هر

جدول ۲ خلاصه ویژگی‌های هندسی سرریزها (Christensen, 2012)

Table 2 Summary of geometric characteristics of weirs (Christensen, 2012)

Model No.	α (degree)	θ (degree)	P (inch)	Lc (inch)	Type
1	12	10	8	63.45	I
2	12	10	8	63.45	I
3	12	20	8	63.45	I
4	12	10	8	63.45	I
5	20	10	8	40.11	II
6	20	30	8	40.11	II
7	20	20	8	40.11	II
8	20	10	8	40.11	II

جدول ۳ خلاصه ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی قوسی

Table 3 Summary of geometric and hydraulic characteristics of Arced Labyrinth Weirs

Lc/W	Measured Discharge (ft ³ /s)	Ht (ft)	P (ft)	N cycle	Lc (ft)	W(f t)	R(ft)	Cd	α degree	θ degree	The central angle of the arc
4.447	2.987	0.063	0.664	10	52.833	11.879	7.674	0.672	12	10	100
4.447	3.636	0.071	0.664	10	52.833	11.879	7.674	0.684	12	10	100
4.447	4.048	0.076	0.664	10	52.833	11.879	7.674	0.687	12	10	100
4.174	12.305	0.227	0.671	7	37.250	8.925	7.674	0.573	12	12	70
4.174	12.971	0.238	0.671	7	37.250	8.925	7.674	0.560	12	12	70
4.174	14.088	0.260	0.671	7	37.250	8.925	7.674	0.535	12	12	70
4.416	1.529	0.062	0.666	5	26.500	6.000	3.847	0.692	12	20	100
4.416	1.683	0.067	0.666	5	25.500	6.000	3.847	0.686	12	20	100
4.416	2.015	0.074	0.666	5	26.500	6.000	3.847	0.707	12	20	100
2.849	2.135	0.069	0.667	10	33.807	11.864	7.674	0.658	20	10	100
2.849	2.327	0.072	0.667	10	33.807	11.864	7.674	0.665	20	10	100
2.849	14.088	0.253	0.667	10	33.807	11.864	7.674	0.612	20	10	100
3.396	1.084	0.068	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.660	20	30	153
3.396	1.331	0.077	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.679	20	30	153
3.396	1.558	0.084	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.698	20	30	153
3.396	1.870	0.094	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.707	20	30	153
3.396	2.183	0.103	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.719	20	30	153
3.396	2.350	0.108	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.721	20	30	153
3.396	2.663	0.117	0.666	5	17.244	5.077	2.575	0.720	20	30	153
2.832	15.515	0.507	0.666	5	16.995	6.000	3.847	0.473	20	20	100
2.832	16.727	0.547	0.666	5	16.995	6.000	3.847	0.455	20	20	100
2.832	18.143	0.581	0.666	5	16.995	6.000	3.847	0.451	20	20	100
2.610	0.975	0.064	0.675	5	17.186	6.583	7.674	0.658	20	10	50
2.610	1.132	0.070	0.675	5	17.186	6.583	7.674	0.661	20	10	50
2.610	2.086	1.102	0.675	5	17.186	6.583	7.674	0.699	20	10	50

$$q = \sqrt{gy_c^3} \quad (6)$$

همچنین دبی کل محاسباتی از رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$Q = qL_{ct} \quad (7)$$

عمق بحرانی به دبی و عرض آبراهه پایین دست ارتباط دارد و مشخصه آن نیز بعد طولی است. بنابراین برای بی‌بعد کردن فراسنجه عمق آب روی تاج سرریز و یا ارتفاع سرریز کاربرد خواهد داشت. با داشتن ویژگی‌های هندسی سرریز و هد کلی روی تاج سرریز میزان دبی جریان قابل محاسبه می‌باشد. لازم به ذکر است که میزان بیشینه عمق بحرانی می‌تواند به اندازه ارتفاع سرریز باشد و برای محاسبه بیشینه ظرفیت عبوری سرریزهای قوسی در حالت جریان آزاد کاربرد دارد. در این حالت $yc=p$ خواهد شد و دبی عبوری از رابطه (۷) محاسبه خواهد شد.

$$Q = W\sqrt{gP^3} \quad (8)$$

بنابر نظریه باکینگهام، ۹ متغیر وجود دارد و با در نظر گرفتن ارتفاع تاج سرریز، جرم مخصوص و شتاب ثقل به عنوان متغیرهای تکراری، ۶ فراسنجه بی‌بعد حاصل می‌شود (Shafai Bajestan, 2011). رابطه (۴) فراسنجه‌های بی‌بعد حاصل از نظریه باکینگهام را نشان می‌دهد.

(4)

$$f\left(\frac{H_t}{P}, \frac{P}{w}, \frac{L_{ct}}{P}, \frac{L_c}{P}, \frac{1}{g^{0.5}P^{1.5}\rho}, \frac{Q}{g^{0.5}P^{2.5}}\right) = 0$$

با ترکیب فراسنجه‌های بی‌بعد رابطه نهایی برای ضریب شکل سرریز به صورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$\beta = \frac{H_t(L_{ct} - L_t)}{wP} \quad (5)$$

با محاسبه عمق بحرانی y_c که تابعی از عرض مجرای جریان w و دبی در عرض واحد می‌باشد، میزان دبی عبوری در واحد طول از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

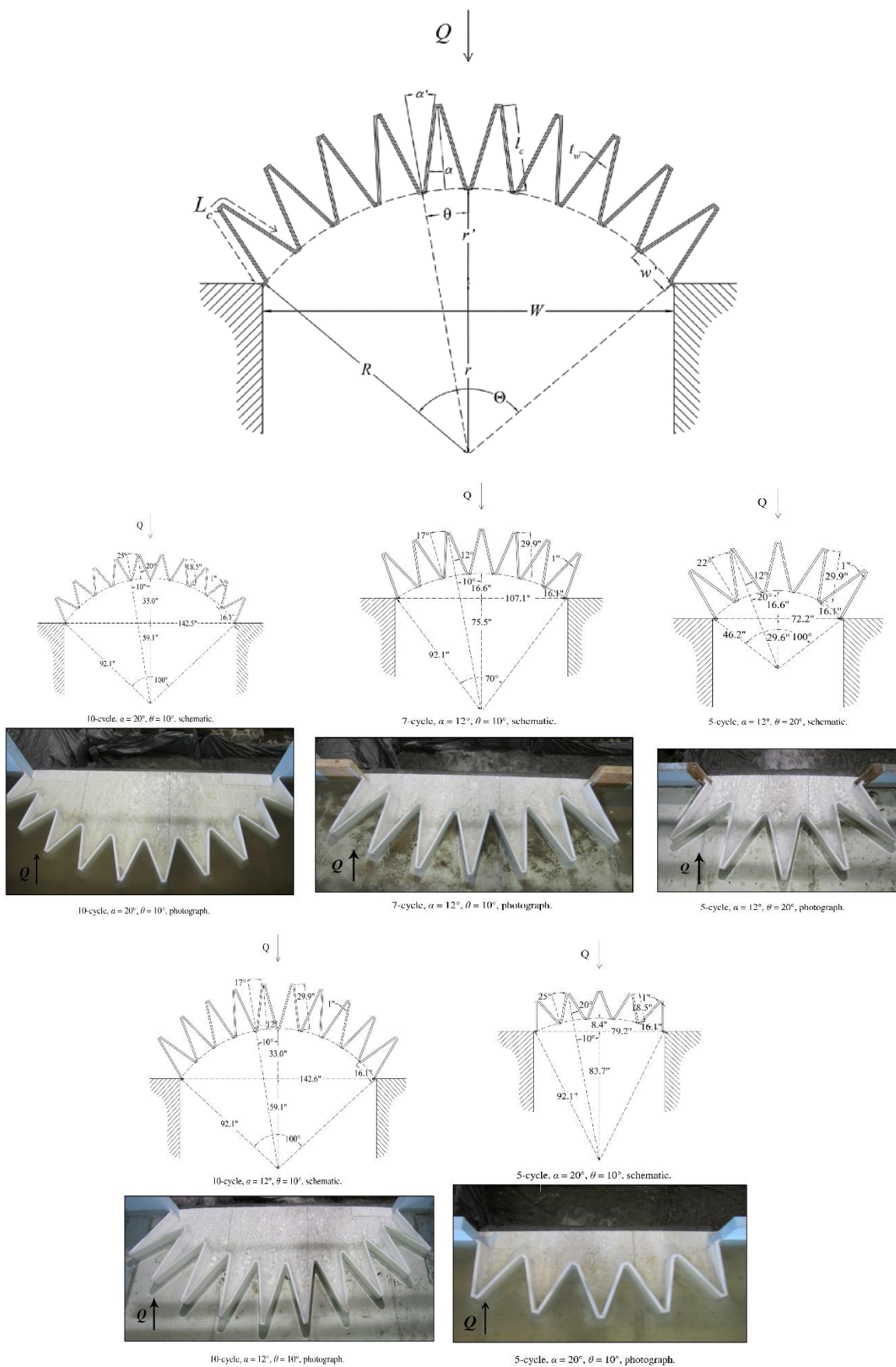


Fig. 2 5 Types of Arc Zigzag Overflows Examined at the University of Utah (Christensen, 2012)
 شکل ۲ نوع ۵ از سرریزهای زیگزاگی قوسی مورد بررسی در دانشگاه یوتا (Christensen, 2012)

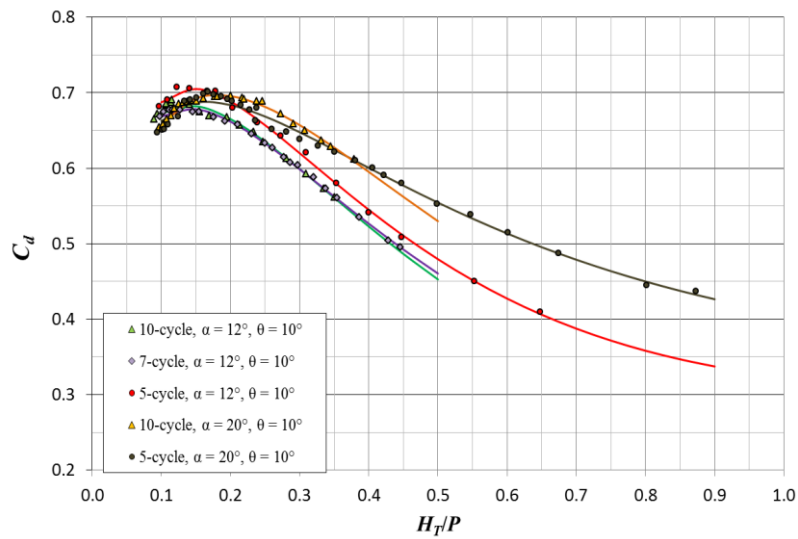


Fig. 3 Discharge coefficient diagram (a function of the ratio of the flow head to the weirs height) (Christensen, 2012)
 شکل ۳ نمودار ضریب دبی (تابعی از نسبت هد جریان به ارتفاع سرریز) (Christensen, 2012)

۴- نتایج و بحث

با توجه به اهمیت ضریب دبی در تحقیقات پیشین و کاربرد آن در محاسبه دبی عبوری در این تحقیق با استفاده از نرم افزار SPSS و تحلیل داده‌ها رابطه (۹) جهت محاسبه ضریب دبی ارائه می‌شود.

(9)

$$C_d = 1.03 - 0.25\left(\frac{h_t}{P}\right)^3 - 0.1\left(\frac{h_t}{P}\right)^2 - 0.1\left(\frac{h_t}{P}\right) - 0.1\left(\frac{L_c}{w}\right)$$

نظر به هدف و نوآوری این پژوهش که ارائه رابطه‌ای بدون محدودیت شرایط هیدرولیکی و هندسی سرریز برای محاسبه مستقیم دبی عبوری می‌باشد، برابر شکل (۴) رابطه بین ضریب شکل β و نسبت عمق بحرانی به ارتفاع سرریز yc/p برای دو تیپ I و II ارائه شده است. شکل (۴) نشان می‌دهد که هر چه زاویه دیواره‌های سرریز بیشتر باشد مقدار عمق بحرانی نیز بیشتر می‌شود. علت این موضوع، تداخل کمتر لایه‌های جریان، هوادهی بیشتر جریان و افزایش دبی عبوری از سرریز می‌باشد. برای تمامی مدل‌ها $0.00 \leq yc/p \leq 1.00$ برقرار خواهد بود.

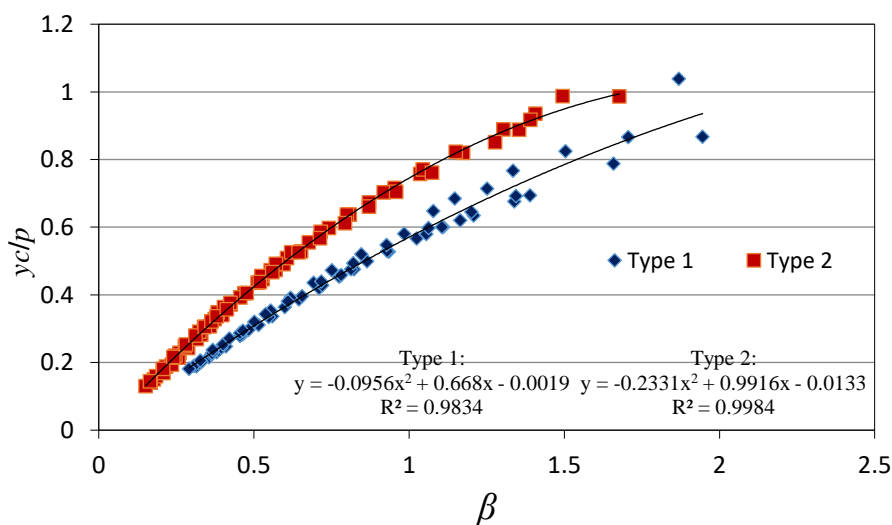


Fig. 4 Relationship between shape coefficient and critical depth
 شکل ۴ رابطه بین ضریب شکل و عمق بحرانی

در شکل (۴):

Type 1 (10)

$$\frac{y_C}{P} = -0.0956\beta^2 + 0.668\beta - 0.0019$$

Type 2 (11)

$$\frac{y_C}{P} = -0.233\beta^2 + 0.99168\beta - 0.013$$

در آغاز برابر رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) میزان عمق بحرانی بر مبنای ضریب شکل β محاسبه شده و آن‌گاه میزان دبی عبوری را مستقیماً از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) نیز به فراسنجه‌های هندسی مثل زاویه دیواره‌های سرریز α بستگی دارد و تنها برای دو نوع بیان شده در شکل (۳) کاربرد دارد و مانند رابطه‌های

Christensen (2012) دارای محدودیت می‌باشد. صحت‌سنجی رابطه‌های (۸) و (۹) در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. رابطه‌های فراسنجه Ht/p در بررسی‌های بسیاری از محققان استفاده شده است که فراسنجه ساده‌ای به جهت اندازه‌گیری می‌باشد. در مقابل فراسنجه $y_{C(L_{Cr})}$ مشخص کننده عمق بحرانی بر مبنای طول کل سرریز می‌باشد که دبی جریان نیز به‌طور مستقیم از این فراسنجه قابل اندازه‌گیری است. در شکل (۴) با استفاده از فراسنجه $y_{C(L_{Cr})}$ ، رابطه (۱۲) برای کل مدل‌ها بدون محدودیت زاویه قوس مرکزی و زاویه دیواره‌های سرریز، ارائه شده است. در نمودار شکل (۴)، $R^2 = 0.990$ نشان دهنده دقت بالای رابطه ارائه شده است.

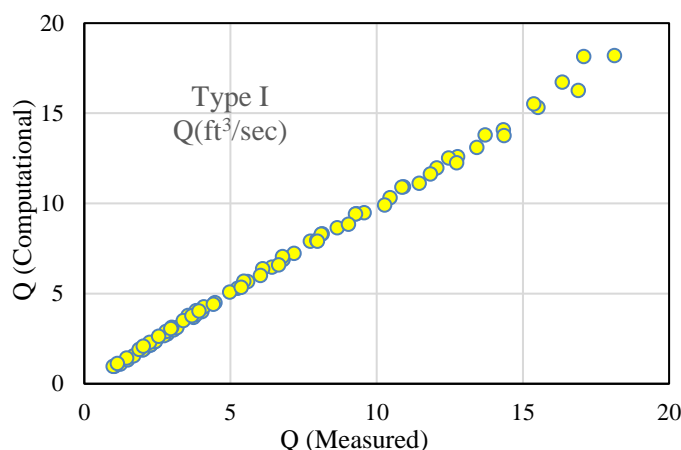


Fig. 5 Comparison of computational discharge and measured discharge in type 1 weir

شکل ۵ مقایسه دبی محاسباتی و دبی اندازه‌گیری شده در سرریز تیپ ۱

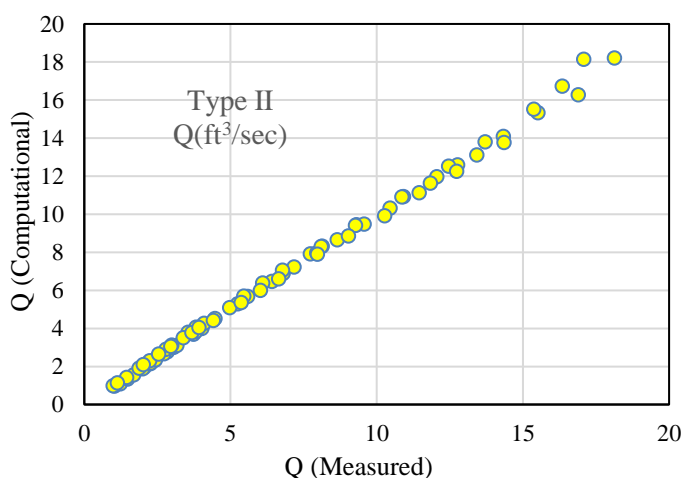


Fig. 6 Comparison of computational discharge and measured discharge in type 1 weir

شکل ۶ مقایسه دبی محاسباتی و دبی اندازه‌گیری شده در سرریز تیپ ۲

در طول کل تاج سرریز L_{ct} ضرب می‌شود. مقدار دبی به- دست آمده از رابطه (۷) با میزان‌های دبی آزمایشگاهی مقایسه شده و در شکل (۸) این موضوع ارائه شده است. این شکل دقت رابطه را نشان می‌دهد.

$$(12) \quad \frac{y_{C(L_{ct})}}{P} = -0.291 \left(\frac{h_t}{P} \right)^2 + 0.795 \left(\frac{h_t}{P} \right) + 0.0008$$

در این رابطه L_{ct} طول کل تاج سرریز می‌باشد. برای محاسبه دبی کل، دبی در واحد عرض که از رابطه (۵) بدست می‌آید

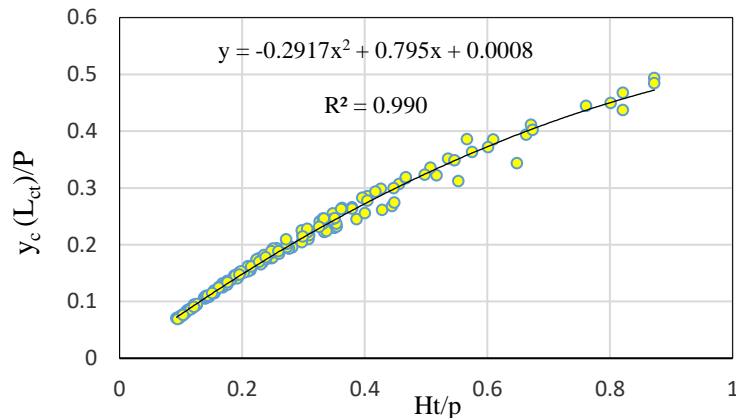


Fig. 7 Relationship between critical depth and flow head

شکل ۷ رابطه بین عمق بحرانی و هد جریان

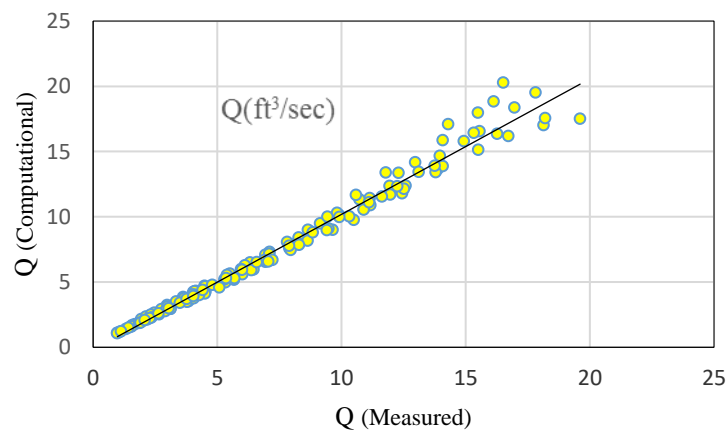


Fig. 8 Comparison of measured and calculated flow rates

شکل ۸ مقایسه میزان‌های دبی مشاهده شده و محاسباتی

احتمال استغراق، این سرریزها نسبت به سرریزهای زیگزاگی نرمال توصیه می‌شوند. نتایج کلی این پژوهش، به صورت یک رابطه جدید و بر مبنای نسبت هد جریان به ارتفاع سرریز Ht/p در مقابل عمق بحرانی به ارتفاع سرریز $y_c(L_{ct})/p$ ترسیم و ارائه شد. نمودار این رابطه نشان دهنده میزان دقت بالای آن دارد. مزیت استفاده از این رابطه، کاربرد آن، برای همه مدل‌ها می‌باشد به طوری که وابستگی به مشخصات هندسی سرریز به ویژه زاویه مرکزی قوس یا زاویه دیواره‌ها

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از نتایج یک کار تحقیقاتی که در دانشگاه یوتا با مقیاس بزرگ انجام شده استفاده شد که نتایج آن به صورت نمودارهایی بر مبنای ضریب شکل هندسی سرریز و عمق بحرانی دبی جریان محاسبه و ترسیم شد. نتایج نشان داد که در سرریزهای زیگزاگی قوسی به علت انحنا و افت کمتر خطوط جریان و افزایش طولی که در یک عرض مشخص دارند، باعث افزایش ظرفیت انتقال خواهند شد. در پایین دست جریان به علت تداخل کمتر و کاهش

of flow over rectangular labyrinth weirs, *Irrigation Science*, 37, 183–193.

Bijankhan, M. and Ferro, V. (2017). Dimensional analysis and stage-discharge relationship for weirs: A review. *Journal of Agricultural Engineering*, 48(1), 1–11.

Bijankhan, M. and Ferro, V. (2018). Experimental Study and Numerical Simulation of Inclined Rectangular Weirs. *J. Irrig. Drain Eng.* 144(7), 04018012.

Christensen, N.A. (2012). Flow Characteristics of Arced Labyrinth Weirs. Master of Science Thesis, Utah State University, Logan, UT.

Crookston B.M (2010). Labyrinth weirs, PhD Thesis, Utah State University, Logan, UT.

Crookston, B.M. and Tullis, B.P. (2012a). Arced labyrinth weirs *J. Hydraulic. Eng.*, 138 (6), 555-562.

Crookston, B.M. and Tullis B.P. (2012b). Discharge efficiency of reservoir-application-specific labyrinth weirs, *J. Hydraulic. Eng.*, 138(6), 564-568.

Crookston, B.M. and Tullis. B.P. (2013). Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. I: discharge relationships. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 139(5), 363-370.

Crookston, B.M. and Tullis, B.P. (2013). Design and analysis of labyrinth weirs. II: nappe aeration, instability, and vibration. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 139(5), 371-377.

Darvas, L.A. (1971). Discussion of performance and design of labyrinth weirs by N. Hay and G. Taylor. *J. Hydraulic. Div.*, 97(80), 1246-1251.

Falvey, H. T. (2003). Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. ASCE Press. Pub., Virginia, USA.

Ferro, V. (2000). Simultaneous Flow Over and Under a Gate. *J. Irrig. Drain Eng.* 126, 190-193.

Ferro, V. (2016). Simple flume with a central baffle. *Flow Measurement and Instrumentation*. JFMI1255.

Ghaderi, A. Abbasi, S. (2019). Numerical Investigation of Labyrinth Stepped Spillways Performance on Energy Dissipation of Skimming Flow. *Journal of Hydraulics*. 14(3), 1-16. (in Persian).

Ghodsian, M. (2009). Stage–discharge relationship for a triangular labyrinth spillway. *Water Management*, 162(3), 173-178.

Hay, N. and Taylor, G. (1970). Performance and design of labyrinth weirs *J. Hydraulic. Div.*, 96(11), 2337-2357.

ICOLD. (1998). Dam Break Flood Analysis, Review and recommendations. <http://ircold.ir/en/ircold->

و یا حتی شعاع قوس ندارد. جهت اطمینان از نتایج رابطه ارائه شده، دبی محاسباتی با استفاده از عمق بحرانی ناشی شده از این رابطه، با مقادیر آزمایشگاهی دبی جریان مقایسه شد. نتایج نشان داد که میزان‌های دبی محاسباتی با نتایج آزمایشگاهی همخوانی دارد. لذا این رابطه برای استفاده در شرایط واقعی پیشنهاد می‌شود.

۵- فهرست نشانه‌ها

A_i	ضریب‌های مربوط به زاویه دیواره‌های هادی
C_d	ضریب دبی
g	شتاب ثقل (ft/s^2) or (m/s^2)
H_0	ارتفاع آب روی سرریز (m)
L	طول تاج سرریز (m)
L_{Ct}	طول کل سرریز (m)
L_c	طول یک چرخه (m)
N	شمار کل چرخه‌ها
P	ارتفاع سرریز (m)
q	دبی در واحد عرض (m^2/s)
Q	دبی جریان (m^3/s)
R	شعاع قوس (m)
t_w	ضخامت دیواره‌ها (m)
W	عرض تاج (m)
y_c	عمق بحرانی (m)
$y_{c(Let)}$	عمق بحرانی بر مبنای طول کل سرریز (m)
α	زاویه دیواره جانبی
β	ضریب شکل
Θ	زاویه مرکزی قوس
ω	عرض چرخه واحد (ft)

۶- منبع‌ها

Allahdadi, K., Shafai Bajestan, M. (2019). Discharge of rectangular Labyrinth Weirs. The 1st International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage, Urmia University, Urmia (in Persian).

Azhdary Moghaddam, M., Amanian, N., Jafari, R. (2010). Geometry Optimization of Triangle Labyrinth Spillway Using ANFIS Models and Genetic Algorithm's. *Journal of Modeling in Engineering*, 7(19) (in Persian).

Azimi, A. and Seyed Hakim, S. (2018), *Hydraulics*

- (2018). Discussion of "Extraction of the Flow Rate Equation under Free and Submerged Flow Conditions in Pivot Weirs with Different Side Contractions" by N. Sheikh Rezazadeh Nikou, M. J. Monem, and K. Safavi, *J. Irrig. Drain Eng.* 144(4), 07018007.
- Tullis, J.P., Amanian, N. and Waldron, D. (1995). Design of labyrinth weir spillways. *J. Hydraulic Eng.*, 121(3), 247-25.
- Tullis, B.P. (2018). Size-Scale Effects of Labyrinth Weir Hydraulics. 7th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 15–18.
- Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weirs. PhD. Thesis. University of Nottingham, Nottingham, England.
- Xinlei, G. Zhiping, L. Wang, T. Hui, F. Jiazhen L, Qingfu, X. and Yongxin, G. (2019). Discharge capacity evaluation and hydraulic design of a piano key weir, *Water Supply*, 19(3), 871-878.
- Yasi, M. and Mohammadi, M. (2007). Study of Labyrinth Spillways with Curved Planform. *Journal of Water and Soil Science*. 11(41), 1-13. (in Persian).
- bulletins/ .
- Jedi, S., Sadeghian, J. and Rezaei, B. (2020). Experimental Study of the Discharge Coefficient in Side Weirs with the Piano Key and the Rectangular Labyrinth Crests. *Journal of Hydraulics*. 15(3), 61-74. (in Persian).
- Kumar, M., Sihag, P., Tiwari, N.K. and Ranjan, S. (2020). Experimental study and modelling discharge coefficient of trapezoidal and rectangular piano key weirs, *Applied Water Science*, 10(1), 1-9.
- Kumar, S., Ahmad, Z. and Mansour, T. (2011). A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. *Flow Meas. Instrum.*, 22(3), 175-180.
- Majedi Asl, M. and Fuladipanah M. (2018). Application of the Evolutionary Methods in Determining the Discharge Coefficient of Triangular Labyrinth Weirs, *JWSS*, 22(4), 279-290.
- Moradi, S., Shahsavari, H., Aref, A. and Esmaili, K. (2019). Hydraulic Type-A Piano Key Weirs with Zigzag Lateral Crest. *Journal of Civil Engineering Ferdowsi*, 33(1), 1-16. (in Persian).
- Neveen, Y.S. and Fattouh Ehab, M. (2017) Hydraulic characteristics of flow over weirs with circular openings. *Ain Shams Engineering Journal*, 8, 515–522.
- Sangsefidi, Y., Mehraein, M. and Ghodsian, M. (2015). Experimental study of hydraulic performance of Arced Weirs. *Modares Civil Engineering journal*, 15(2), 51-63. (in Persian).
- Sangsefidi, Y., Ghodsian, M. and Mehraein, M. (2017). Experimental Investigation of the Hydraulic Performance of Arced Labyrinth Weirs. *Iranian Dam and Hydroelectric Power plant*, 4(12), 53-65. (in Persian).
- Savage, B.M., Crookston, B.M. and Paxson, G.S. (2016) Physical and numerical modeling of large headwater ratios for a 15° labyrinth spillway. *J. Hydraulic Eng.*, 142(11), 04016046-1 to 04016046-7.
- Shahrokhnia, M.A. and Javan, M. (2006). Dimensionless Stage–Discharge Relationship in Radial Gates. *J. Irrig. Drain Eng.* 132, 180-184.
- Shafai Bajestan, M. (2011), Basic Concepts and Applications of Physical-Hydraulic Modeling Shahid chamran University, Iran, 328P.
- Stefano, C.D. and Ferro, V. (2016). Closure to Stage–Discharge Relationship for an Upstream Inclined Grid with Transversal Bars by C. Di Stefano and V. Ferro. *J. Irrig. Drain Eng.* 142(8), 07016008.
- Stefano, C.D. and Ferro, V. and Bijankhan, M.