

Research Article

Experimental Study of the Rough Bed Effect on Discharge Coefficient of Combined Flow Trapezoidal Labyrinth Weir-Gate

B. Khalili¹, A. Abbaspour^{2*}, D. Farsadizadeh³, J. Parsa⁴

Received: September 5, 2022

Accepted May 30, 2023

Revised: May 14, 2023

Published online: March 20, 2024

1- M.Sc Graduate, Dept. of Water Science and Engineering, University of Tabriz, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Tabriz, Iran.

3-Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Tabriz, Iran.

4-Assist. Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Tabriz, Iran.

*Corresponding Author, Email: akabbaspour@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives

Labyrinth weirs are often a desirable design option to regulate upstream water elevations and increase flow capacity and the gate structures have some advantages including passing the floating substances and the sediments in using combined weir-gate structure. But, it can be difficult to design due to the complex flow characteristics of a labyrinth weir-gate. A labyrinth weir could be described as a continuous and broken weir plan in a trapezoidal or triangular form. Thus, for a fixed width, labyrinth weirs have a longer crest distance when compared to linear one. Most weirs create a relatively static water zone in their upstream, which can be the site for sedimentation and waste materials, which is a disadvantage of these structures. Because of the sediments deposition in upstream of the weirs the flow conditions change and the accuracy of the presented relationships is reduced. Although numerous methods of design have been published for labyrinth weirs, there is insufficient design information available about the combined models of Labyrinth weir-gate.

Methodology

This study was conducted to improve labyrinth weir -gate design and analyses techniques using physical-model-based data sets. The experiments were conducted in a metal and glass flume with a rectangular cross-section. The flume was 0.25 m wide, 0.5 m deep, and 10 m long. In each test the upstream subcritical depth was measured using point gauges of 0.1 mm accuracy The location for measuring the total head of the water upstream of the weir is a horizontal distance of three to four times the maximum water head on the crest of the weir. The discharge was measured with a triangle sharp weir placed at the end of the flume. The discharge-head relationship ($Q-h$) for triangular weir in experiments is as $Q=0.6918 h^{2.5}$. The trapezoidal labyrinth weir-gate models was installed at the distance of 3 m of the beginning of flume. The base material roughness was made of natural sand with a mean diameter of 3 mm. In this research, experimental study of combined flow trapezoidal labyrinth weir-gate with one cycle has done for three sidewall angles of 15, 20 and 25 degrees, three gate openings 2, 4 and 6 cm and the weir height of 14 cm in a rectangular channel. According to the effective parameters of the combined models including sidewall angel (α), gate opening (a) and the hydraulic head (H_t), the discharge coefficient has evaluated. By applying the Buckingham π theorem an equation was obtained. The discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weir-gate can be expressed as a function of the variables of $Fr, Re, We, \frac{H_t}{P}, \frac{L}{H_t}, \frac{H_t}{a}, \phi, \alpha$. In this study, the depth of water measured on the weir crest is at least 3 cm, so the effect of surface tension on the weir (We) is negligible. The effect of dynamic viscosity on the hydraulic behavior of the flow can be ignored. Therefore, the Reynolds number (Re) can be removed.

Findings



The results show that the discharge coefficient decreases with increasing the ratio of H_t/P for both smooth and rough beds and it reaches a constant discharge coefficient for $H_t/P > 0.6$. According to the effective parameters of the combined models, the discharge coefficient has obtained averagely in the range of 0.61-0.75. The discharge coefficient of the combined flow increases with increasing angle of the weir. The increase in discharge coefficient is due to the decrease in the length of weir which decreases the flow mixing. Also for a specified angle, the discharge coefficient increases with increasing of L/H_t then gets a constant value. The effects of artificial roughness on discharge capacity are also presented. It can be shown that the discharge coefficient increases in rough bed condition compared to the smooth bed condition. The present test data and those of Crookston (2010) were compared and it can be seen that the discharge coefficient in combined flow trapezoidal labyrinth weir-gate is more than the discharge coefficient of the trapezoidal labyrinth weir (without gate) in Crookston (2010) investigation.

Conclusion

The discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weir-gate has the highest value for weirs with a sidewall angle of 25° and gate opening of 6 cm in rough bed condition about 17% more than the smooth bed. Among the different experimental models with a sidewall angle of 25, the labyrinth weir-gate in the rough bed condition has the highest discharge coefficient (approximately 0.93) compared to the smooth bed (approximately 0.61).

Keywords: Discharge coefficient, Labyrinth weir-gate, rough bed, Smooth bed.

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تأثیر بستر زبر بر ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای -

دریچه

بهزاد خلیلی^۱، اکرم عباسپور^{۲*}، داود فرسادی‌زاده^۳، جواد پارسا^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

- ۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
 - ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
 - ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
 - ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
- *مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: akabbspour@tabrizu.ac.ir

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای گزینه مطلوبی برای تنظیم سطح آب بالادست و افزایش ظرفیت جریان عبوری هستند و دریچه‌ها از لحاظ قابلیت عبور مواد شناور و رسوبات جریان دارای مزایایی می‌باشند. لذا سازه‌های ترکیبی سرریز دریچه‌مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما با توجه به پیچیدگی مشخصات جریان طراحی این سازه مشکلاتی دارد. سازه سرریز کنگره‌ای بصورت اضلاع متوالی با پلان دوزنقه‌ای یا مثلثی است که به ازای عرض ثابت دارای طول تاج بیشتری نسبت به سرریز خطی می‌باشد. این تحقیق برای توسعه اطلاعات مدل‌های ترکیبی سرریز دریچه‌با روش آنالیز ابعادی و مدل‌های فیزیکی انجام گرفت. در این پژوهش، جریان در سازه‌ی سرریز-دریچه کنگره‌ای تک سیکل در دو حالت بستر با کف صاف و زبر در سه زاویه ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه با بازشدگی‌های دریچه ۲، ۴ و ۶ سانتی‌متر با ارتفاع ثابت سرریز ۱۴ سانتی‌متر به‌صورت آزمایشگاهی در یک فلوم مستطیلی بررسی شد. ضریب دبی جریان با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف شامل زوایای مختلف (α)، بازشدگی‌های متفاوت دریچه (a)، و بار آبی جریان (H_t) ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش نسبت H_t/P ، ضریب دبی در هر دو حالت بستر با کف زیر و صاف روند نزولی طی می‌کند و به ازای $H_t/P > 0.6$ ضریب دبی به مقدار ثابتی می‌رسد. ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با وجود دریچه با افزایش زاویه دیواره افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که ضریب دبی جریان سازه ترکیبی در شرایط بستر زبر در مقایسه با حالت بستر صاف در حدود ۳۸ درصد افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: بستر زبر، بستر صاف، سرریز-دریچه کنگره‌ای، ضریب دبی

مقدمه

دریچه، C_d ضریب دبی دریچه و g شتاب ثقل زمین است.

رابطه دبی در سرریزهای کنگره‌ای به صورت رابطه ۲، می‌باشد که در آن C_d ضریب دبی، Q دبی جریان، H_t ارتفاع کل آب و L_e طول مؤثر می‌باشد (اژدری مقدم و جعفری ندوشان ۲۰۱۳).

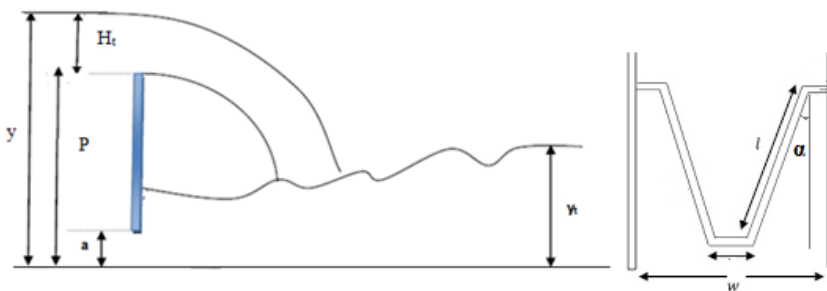
$$Q = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2g} H_t^{3/2} \quad [2]$$

با ترکیب رابطه‌های (۱) و (۲)، معادله سرریز-دریچه به دست می‌آید.

$$C_d = \frac{Q_s}{a b \sqrt{2gh} + \frac{2}{3} L_e \sqrt{2g} H_t^{3/2}} \quad [3]$$

که در این رابطه Q_s دبی عبوری از سازه ترکیبی، به وسیله سرریز مثلثی اندازه گیری شده است. مخرج کسر دبی در حالت ایده‌آل می‌باشد؛ که با اندازه‌گیری پارامترهای آن تعیین می‌گردد و C_d ضریب دبی سازه ترکیبی است.

در شکل ۱، جریان عبوری از روی سازه سرریز-دریچه نشان داده شده است (حیدری و همکاران ۲۰۱۲).



شکل ۱- جریان عبوری از روی سازه سرریز-دریچه.

عبور آشغال‌ها از روی سرریز و عبور رسوبات از زیر دریچه توسط جریان ترکیبی حاصل فراهم می‌شود. بنابراین مدل ترکیبی این دو سازه مطرح شد و مطالعات متعددی روی انواع سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه صورت گرفت و معادلات حاکم بر جریان مدل ترکیبی ارائه شد. سوری و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سازه

سازه‌هایی که جهت کنترل و اندازه‌گیری جریان به کار می‌روند اجزای مهمی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی محسوب می‌شوند. در مناطقی که سرریز در مسیر رودخانه و کانال‌های باز با بستر رسوبی قرار دارد با گذشت زمان مواد رسوبی در پشت سرریز ته نشین می‌شوند و ارتفاع مؤثر بالادست سرریز را کاهش می‌دهد، در نتیجه از کارایی سرریز می‌کاهد. جهت جلوگیری از تجمع رسوبات و کاهش راندمان سرریز، محققین سازه ترکیبی سرریز دریچه را معرفی نمودند. سازه ترکیبی سرریز-دریچه به دو منظور اندازه‌گیری دبی جریان و جلوگیری از انباشته شدن رسوبات در پشت سرریز به کار می‌رود (نادری و همکاران ۲۰۱۴). میزان دبی عبوری از دریچه به صورت رابطه ۱ می‌باشد (دانش افزار و همکاران ۲۰۲۲):

$$Q = C_d a b \sqrt{2gh} \quad [1]$$

که در این رابطه، Q دبی عبوری از دریچه، a میزان بازشدگی دریچه، b عرض دریچه، h بار آبی بالادست

مشکل عمده‌ای که در سرریزها و دریچه‌ها مطرح است، رسوبگذاری در پشت سرریزها و تجمع آشغال و مواد شناور در پشت دریچه‌ها می‌باشد. لایروبی پشت سرریزها و هم‌چنین طراحی و نصب آشغالگیرها بسیار زمان بر و پرهزینه است. بنابراین یکی از بهترین راه‌حل‌ها ترکیب این دو سازه می‌باشد. با عبور همزمان جریان هم از روی سرریز و هم از زیر دریچه، امکان

مرکزی این برتری را جبران می کند و باعث افزایش ظرفیت تخلیه دبی (Q) نسبت به سرریز خطی می گردد.

میرناصری و عمادی (۲۰۱۴) پنج مدل آزمایشگاهی را از نظر ارتفاع و تغییرات طول مؤثر بر ضریب دبی در سرریز-دریچه مستطیلی مورد بررسی قرار دادند. مقایسه‌ها نشان داد که با افزایش ارتفاع آب بالادست، ضریب دبی کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که افزایش طول مؤثر تا کمتر از ۰/۰۳ متر منجر به افزایش ضریب دبی سرریز-دریچه مستطیلی می‌شود. فو و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی آزمایشگاهی دبی جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز-دریچه پرداختند. نتایج نشان داد روابط تجربی مدل‌های مختلف با مقادیر آماری $RMSE=0.053$ ، $AMCC=0.870$ و $MAPE=0.058$ تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. صالحی و عظیمی (۲۰۱۹) شش مدل ترکیبی سرریز-دریچه را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت، براساس هندسه و دبی سرریز-دریچه، معادلات تجربی عمومی برای تخمین بار آبی نرمال برای کاربردهای مهندسی عملی تهیه شد. خیلایور و همکاران (۲۰۲۱) مشخصات هیدرولیکی جریان بر روی سرریز کنگره ای دنداندار را بصورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ضریب دبی در سرریز کنگره ای دنداندار ۱۷/۵ درصد نسبت به سرریز کنگره ای معمولی افزایش می‌یابد.

دانش فراز و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی تاثیر باز شدگی دریچه و آستانه با عرض‌های مختلف در زیر دریچه را بر روی ضریب دبی به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که ضریب دبی با افزایش عرض آستانه و کاهش سطح کل جریان عبوری از زیر دریچه افزایش می‌یابد.

دانش فراز و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی باز شدگی دریچه و آستانه در زیر دریچه را بر روی ضریب دبی به صورت عددی بررسی نمودند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل آشفتگی RNG دقت بالایی در پیش

جریان ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای با حرکت قائم پرداختند. معادله تجربی پیشنهادی آنان جهت برآورد ضریب دبی ترکیبی بیانگر آن است که ضریب دبی با نسبت w/y_1 و y/y_1 رابطه معکوس دارد. نتایج مطالعه پاشازاده و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که ضریب دبی به دست آمده از روابط رگرسیونی در مدل ترکیبی سرریز-دریچه‌ی دوزنقه‌ای تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. پسرکلو و عمادی (۲۰۱۹) گزارش کردند که به ازای بار آبی معین با افزایش بازشدگی دریچه، دبی عبوری در سازه‌ی ترکیبی سرریز دریچه با سرریز مرکب-دایره‌ای دوزنقه‌ای مستطیلی، افزایش ولی ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. وهاب‌نژاد (۲۰۱۸) به بررسی سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای با پایین افتادگی در قسمت‌های مختلف با زوایا و ارتفاع‌های مختلف و در شرایط با و بدون حضور تیغه شکافنده پرداخت. نتایج نشان داد که در سرریزهای زیگزاگی بدون تیغه شکافنده جریان، ضریب دبی نسبت به سرریز با تیغه شکافنده بیشتر می‌باشد. همچنین با افزایش مقدار بار هیدرولیکی نسبی جریان H_i/P ضریب دبی کاهش می‌یابد. زیرا افزایش دبی موجب افزایش اختلاط جریان شده و مقدار ضریب دبی سرریز کاهش می‌یابد. نجم و همکاران (۲۰۰۲) معادله‌هایی برای جریان ترکیبی در حالت آزاد برای سرریز-دریچه مستطیلی با فشرده‌گی یکسان ارائه نموده و به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی جریان با پارمترهای H/d رابطه مستقیم داشته و با پارامتر y/d رابطه عکس دارد. قره‌گوزلو و مسعودیان (۲۰۱۱) با بررسی اثر قطر و هد آب روی سرریز بر ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت بی بعد هد روی سرریز به شعاع سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. کراکستون و تولیس (۲۰۱۲)، رابطه تخلیه سرریزهای زیگزاگی با زاویه جانبی α را بررسی نمودند. نتایج نشان داد اگرچه ضریب تخلیه سرریزهای زیگزاگی (Ca) ممکن است کمتر از ضریب تخلیه سرریزهای خطی باشد اما افزایش در طول تاج

بینی ضریب دبی در مقایسه با مدل‌های آشفتگی $k-\varepsilon$ ، $k-\omega$ و LES دارد. همچنین ضریب دبی دریاچه در حالت با آستانه، بیشتر از حالت بدون آستانه است. برخی ویژگی دیگر این پژوهش که باعث تمایز آن از اکثر مطالعات پیشین شده عبارت از بررسی هیدرولیکی جریان در سرریز کنگره ای توام با دریاچه می باشد. از آنجایی که شناسایی پارامترهای تاثیر گذار بر روی سازه‌های ترکیبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام پذیرفت. جنس کف و دیواره های فلوم آزمایشگاهی فلزی بوده که دیواره‌های آن در فاصله ۲ متری از مخزن تأمین فشار، از جنس شیشه می‌باشد. طول فلوم ۱۰ متر و عرض آن ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۵۰ سانتی‌متر بوده و شیب فلوم ۰/۰۰۲ می‌باشد. مدل‌های مورد آزمایش سرریز - دریاچه در فاصله ۲/۷ متری از ابتدای فلوم و در قسمتی از فلوم با دیواره شیشه‌ای نصب می شدند. در شکل ۱، مدل های سرریز کنگره‌ای

تک سیکل-دریاچه حائز اهمیت است، در این تحقیق هندسه سرریز و دریاچه، میزان بازشدگی و نوع بستر به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب و به مقایسه‌ی ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز-دریاچه کنگره‌ای تک سیکل در دو حالت بستر با کف زبر و صاف در سه زاویه ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه با بازشدگی‌های دریاچه ۲، ۴ و ۶ سانتی‌متر و ارتفاع سرریز ۱۴ سانتی‌متر پرداخته شده است.

دوزنقه‌ای تک سیکل- دریاچه مورد استفاده در این آزمایش‌ها نشان داده شده است. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی، به بررسی تأثیر پارامتر H_t/P (تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت بار هیدرولیکی بالادست به ارتفاع سرریز)، به‌ازای زوایای مختلف تاج سرریز و بازشدگی‌های مختلف دریاچه با ارتفاع ثابت سرریز ۱۴ سانتی‌متر بر ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای تک سیکل- دریاچه در دو حالت بستر با کف زبر و صاف پرداخته شده است. یک سرریز مثلثی در انتهای کانال اصلی برای اندازه‌گیری دبی خروجی (با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه) از کانال اصلی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- مدل سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای تک سیکل با وجود دریاچه در دو حالت بستر صاف و زبر.

زبری ها از ماسه به قطر ۰/۷۲ میلی متر استفاده گردید که به کف کانال چسبانده شده است. در جدول ۱، محدوده پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مدل های آزمایشگاهی در تحقیق حاضر ارائه شده است.

جدول ۱- محدوده پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مدل های آزمایشگاهی.

عرض دریاچه (b) (cm)	بار آبی (H _t) (cm)	طول مؤثر (L) (m)	ارتفاع سرریز (P) (cm)	ارتفاع بازشدگی دریاچه (a) (cm)	زاویه رأس سرریز (α) (°)	دبی جریان (L s ⁻¹)
۵	۳-۱۰	۰/۰-۶۸/۴۵	۱۴	۲-۴-۶	۱۵-۲۰-۲۵	۵-۳۰

که H ارتفاع آب روی تاج سرریز بر حسب متر و Q دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه می باشد.

در این تحقیق ابتدا از روش پی- باکینگهام برای تعیین پارامترهای بی بعد استفاده شده است. پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان سازه ترکیبی سرریز- دریاچه کنگره ای تک سیکل، به فرم رابطه ۵ می باشد. پارامترهای سرعت (v)، چگالی (ρ) و عمق آب بالادست (h) به عنوان متغیر تکراری انتخاب شده است.

$$f(P, L, W, \alpha, a, b, h, H_t, v, g, \sigma, \mu, \rho, \phi, C_d, d) = 0 \quad [5]$$

$$f\left(\frac{\rho v h}{\mu}, \frac{\rho v^2 h}{6}, \frac{v^2}{hg}, \frac{h}{b}, \frac{h}{P}, \frac{h}{h}, \frac{h}{W}, \frac{h}{a}, \frac{H_t}{h}, \alpha, \phi, \frac{d}{h}, C_d\right) = 0 \quad [6]$$

در این رابطه، $Re = \frac{\rho v h}{\mu}$ عدد رینولدز، $We = \frac{\rho v^2 h}{6}$ عدد وبر، $Fr = \frac{v^2}{hg}$ عدد فرود بالادست سرریز، P ارتفاع سرریز، L طول مؤثر سرریز، H_t بار آبی بالادست سرریز، W عرض کانال، a ارتفاع بازشدگی دریاچه، b عرض دریاچه، φ شرایط بستر فلوم (زبر یا صاف)، قطر زبری d و C_d ضریب دبی جریان می باشند. با ضرب و تقسیم بعضی از پارامترها رابطه ۶ را به فرم زیر می توان نوشت:

$$f_1\left(\frac{\rho v h}{\mu}, \frac{\rho v^2 h}{6}, \frac{v^2}{hg}, \frac{H_t}{b}, \frac{H_t}{P}, \frac{L}{H_t}, \frac{H_t}{W}, \frac{H_t}{a}, \frac{d}{h}, \alpha, \phi, C_d\right) = 0$$

مدل سرریز کنگره ای نوزنقه ای تک سیکل- دریاچه از جنس ورق پلی اتیلن ساخته شده و در فاصله ۲/۷۰ متری از مخزن فلوم شد. طول زبری برابر با یک متر در بالادست مدل ترکیبی در نظر گرفته شد. برای ایجاد

پس از اینکه مدل ها در داخل فلوم مستطیلی نصب گردید، با روشن کردن پمپ و تنظیم شیر فلکه، آب از روی سرریز عبور کرده و پس از اینکه جریان به حالت پایدار رسید، عمق آب در فاصله ۰/۶ متری بالادست سرریز با استفاده از حس گر التراسونیک با دقت ۰/۱ میلی متر و دبی جریان از رابطه دبی- اشل سرریز مثلثی انتهای فلوم اندازه گیری شد. این آزمایشات با ترکیب حالت های مختلف متغیرهای آزمایش شامل زوایای مختلف (α)، بازشدگی های متفاوت دریاچه (a)، طول مؤثر سرریز (L)، دبی (Q) و عمق جریان (y) در شرایط مختلف از سرریز کنگره ای انجام شد. برای تعیین ضریب دبی سرریزهای کنگره ای با وجود دریاچه و بررسی تأثیر پارامتر H_t/P (نسبت بار هیدرولیکی بالادست به ارتفاع سرریز)، در این پژوهش تعداد ۲۸۸ آزمایش صورت گرفت. پس از اطمینان کامل از نصب صحیح سرریزها در داخل فلوم و آب بندی کامل، آب پشت سرریز جمع شده و با عبور از زیر دریاچه و بالای سرریز، در نهایت در پایین دست از سرریز مثلثی عبور کرده و مجدداً به مخزن برمی گردد، لذا در هر آزمایش اندازه گیری سطح آب در بالادست سرریز به وسیله حس گر التراسونیک با دقت ۰/۱ میلی متر انجام گرفته و در پایین دست فلوم دبی جریان توسط سرریز مثلثی با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه اندازه گیری گردید. رابطه دبی در این سرریز به صورت زیر بدست آمده است:

$$Q = 0.6918H^{2.5} \quad [4]$$

[۷]

ثابت در نظر گرفته شده است و رابطه فوق را می توان

بفرم ساده تری نوشت:

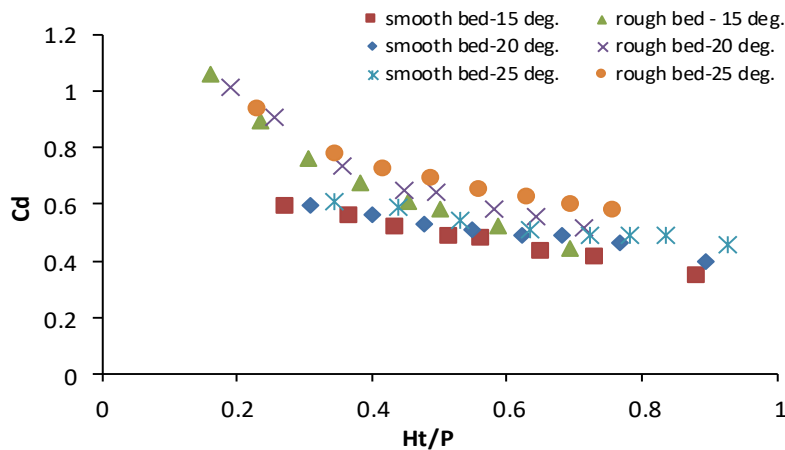
$$C_d = f\left(Fr, \frac{H_t}{P}, \frac{L}{H_t}, \frac{H_t}{a}, \phi, \alpha\right) \quad [۸]$$

نتایج و بحث

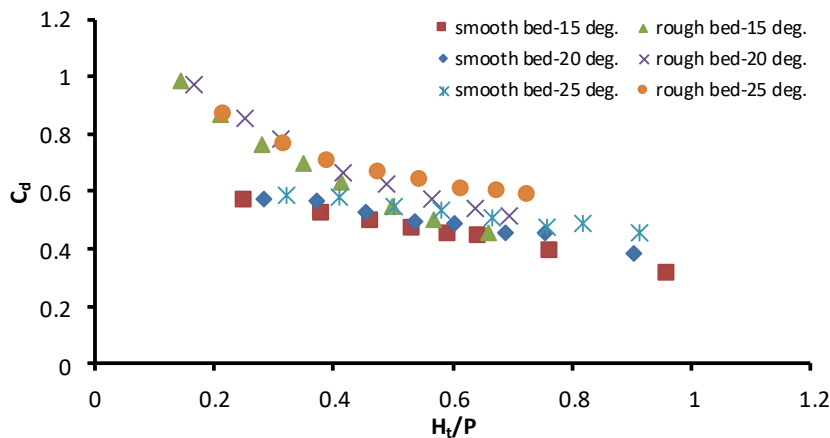
بررسی ضریب دبی مدل ترکیبی در حالت بستر زبر و صاف

در شکل های ۳ تا ۵، تغییرات ضریب دبی به ازای H_t/P های مختلف برای مدل های ترکیبی با زوایای تاج سرریز ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه و بازشدگی های دریچه ۲، ۴ و ۶ سانتی متر به ازای ارتفاع ثابت ۱۴ سانتی متر در دو حالت بستر با کف زیر (با زبری 0.72 میلی متر) و صاف مورد مقایسه قرار گرفته است.

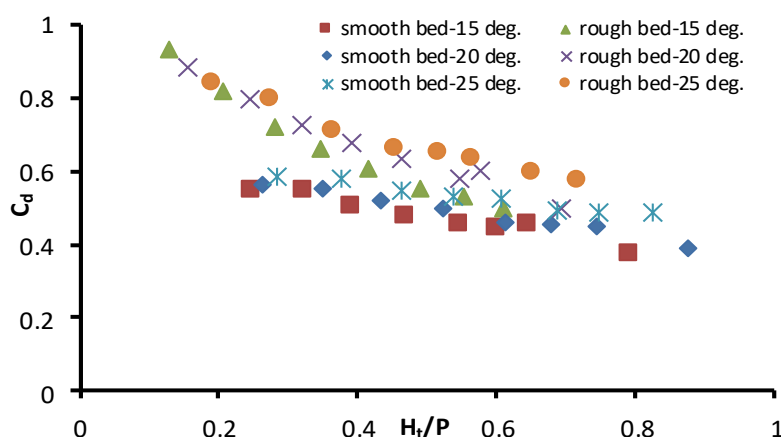
به ازای اعداد رینولدز بالا تأثیرات لزجت در الگوی جریان را نادیده گرفت. عد رینولدز حداقل در این تحقیق ۸۰۰۰ می باشد بنابراین تأثیر این پارامتر نادیده گرفته می شود. چنانچه ارتفاع آب روی مدل کم باشد، کشش سطحی بر رفتار جریان تأثیر خواهد گذاشت. با توجه به این مطلب چنانچه مقدار محدودیت حداقل ارتفاع آب روی سرریز مدل ترکیبی ($h > 3$ cm) رعایت شود، می توان کشش سطحی (عدد وبر) را نیز نادیده گرفت (نجم ۲۰۰۲). عدد فرود بالادست سرریز در بازه 0.1 تا 0.3 می باشد. همچنین در آزمایش های انجام گرفته عرض دریچه (b) و عرض کانال (w) و زبری کف (d)



شکل ۳- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی با زوایای مختلف برای بازشدگی دریچه ۲ سانتی متر در حالت کف زبر و صاف.



شکل ۴- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی با زوایای مختلف برای بازشدگی دریچه ۴ سانتی متر در حالت کف زبر و صاف.



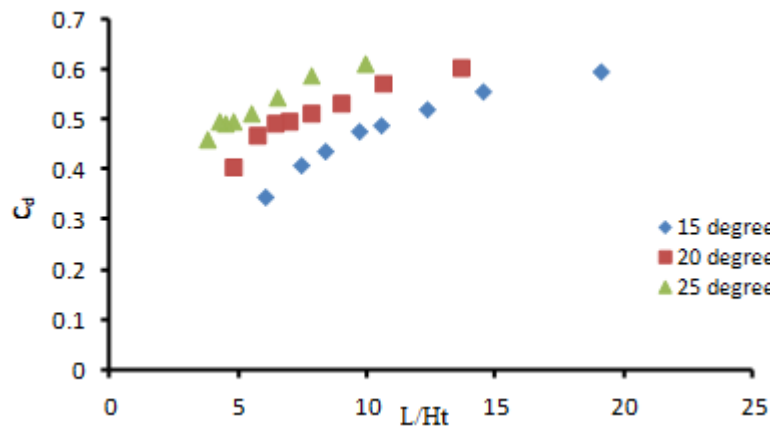
شکل ۵- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی با زوایای مختلف برای بازشدگی دریاچه ۶ سانتی متر در حالت کف زبر و صاف.

مدل نسبت به مدل‌های ترکیبی با بازشدگی‌های ۴ و ۶ سانتی متر، مقدار ضریب دبی به ترتیب ۱/۹ و ۴/۴ درصد افزایش یافته است. ، به ازای یک H_t/P ثابت، با کاهش بازشدگی دریاچه و افزایش زاویه تاج سرریز، ضریب دبی مدل ترکیبی افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش زاویه، طول سرریز کاهش می‌یابد و با کاهش طول تداخل جریان ضریب دبی افزایش یافته است. همچنین با کاهش بازشدگی دریاچه دبی خروجی از دریاچه کاهش یافته و بار آبی بالای سرریز افزایش می‌یابد. در نتیجه جریان تخلیه شده از روی سرریز افزایش می‌یابد ($Q \propto H_t^{3/2}$).

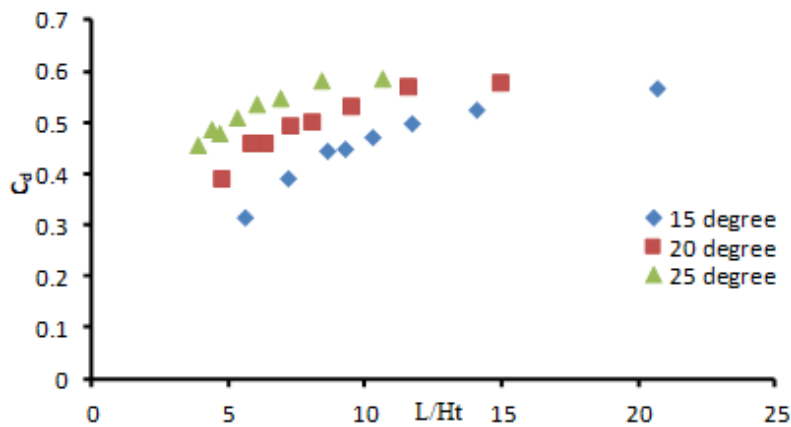
در شکل‌های ۶ تا ۱۱، تغییرات ضریب دبی به ازای L/H_t های مختلف (L طول مؤثر سرریز و H_t بار آبی بالادست سرریز) برای مدل‌های ترکیبی با زوایای تاج سرریز ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه و بازشدگی‌های دریاچه ۲، ۴ و ۶ سانتی متر به ازای ارتفاع ثابت ۱۴ سانتی متر در دو حالت بستر با کف زبر و صاف مورد مقایسه قرار گرفته است.

با توجه به این شکل‌ها، می‌توان استنباط کرد که با افزایش نسبت H_t/P ، ضریب دبی در هر دو حالت بستر با کف زبر و صاف روند نزولی طی می‌کند. در $H_t/P > 0.6$ ضریب دبی به مقدار ثابتی می‌رسد. بیش‌ترین دبی مربوط به مدل ترکیبی با ارتفاع سرریز ۱۴ سانتی-متر و زاویه رأس سرریز ۱۵ درجه است، به طوری که دبی این مدل ترکیبی در مقایسه با مدل‌های ترکیبی با زاویه رأس سرریز ۲۰ درجه و ۲۵ درجه به ترتیب در حدود ۳/۳ و ۳/۴ درصد افزایش یافته است.

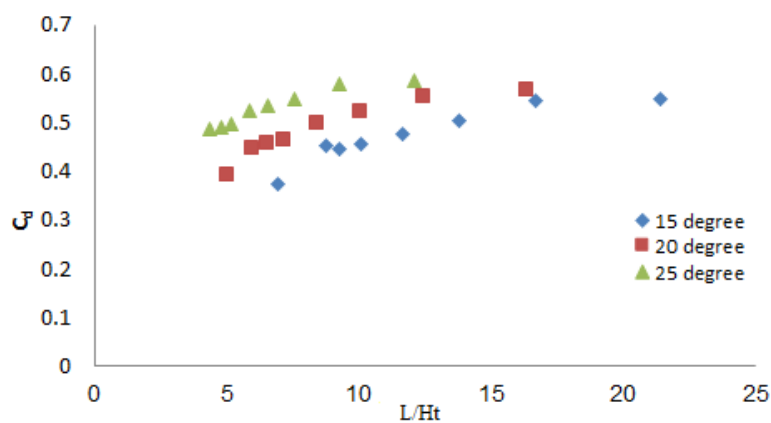
همچنین ضریب دبی در حالت بستر با کف زبر در مقایسه با کف صاف، افزایش می‌یابد. در حالت کلی زبری کف کانال منجر به افزایش هد فشاری در ناحیه بالادست سرریز و افزایش ضریب دبی جریان می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت مدل ترکیبی با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه و بازشدگی دریاچه ۲ سانتی متر در حالت بستر زبر دارای بیش‌ترین ضریب دبی می‌باشد. در این



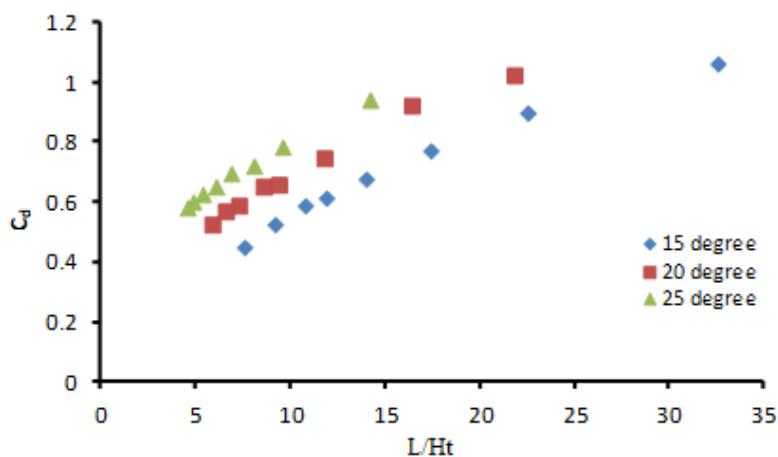
شکل ۶- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۲ سانتی‌متر بستر صاف.



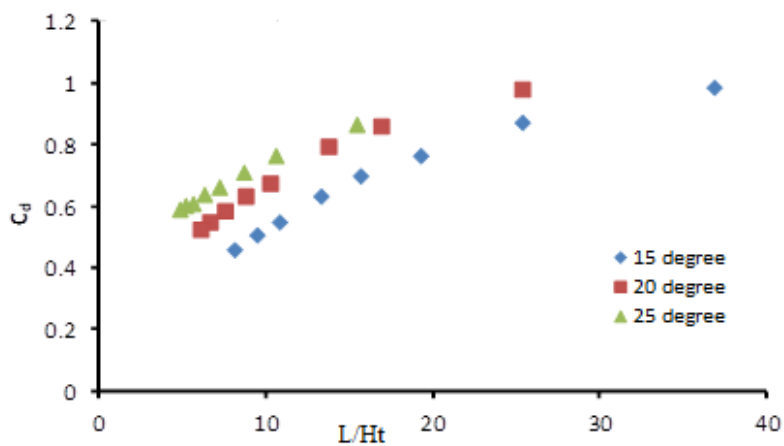
شکل ۷- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۴ سانتی‌متر در بستر صاف.



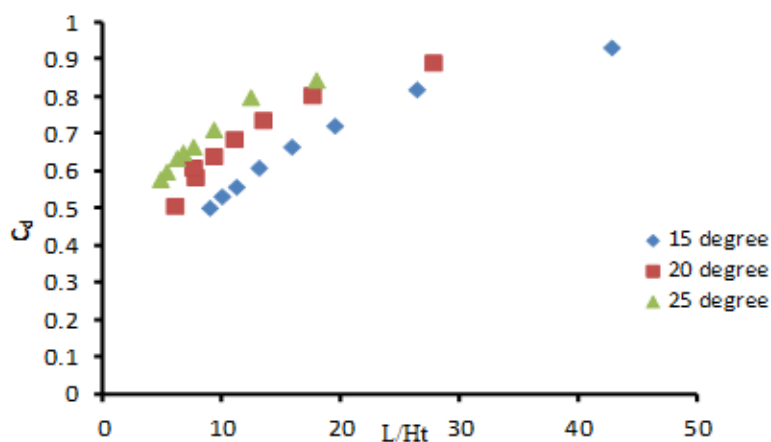
شکل ۸- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۶ سانتی‌متر در بستر صاف.



شکل ۹- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۲ سانتی‌متر در حالت بستر زبر.



شکل ۱۰- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۴ سانتی‌متر در حالت بستر زبر.



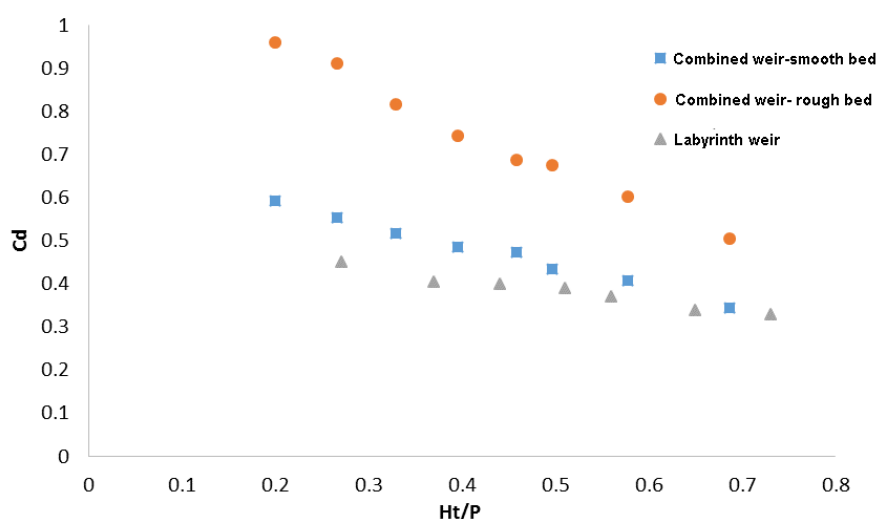
شکل ۱۱- مقایسه ضریب دبی مدل ترکیبی به ازای L/H_t با زوایای مختلف تاج و ارتفاع بازشدگی ۶ سانتی‌متر در حالت بستر زبر.

و ۶ سانتی‌متر، مقدار ضریب دبی به ترتیب ۱/۹ و ۴/۴ درصد افزایش یافته است. به‌طور کلی می‌توان اینگونه بیان نمود که در مدل ترکیبی در حالت بستر با کف زبر در مقایسه با بستر صاف، ضریب دبی ۲۸ درصد افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۲، روند تغییرات ضریب دبی مدل‌های ترکیبی در دو شرایط کف زبر و صاف سرریز درجه‌دار با شرایط بدون درجه‌دار کروکستون (۲۰۱۰) به‌ازای H_t/P نشان داده شده است. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز کنگره‌ای نوزنقه‌ای درجه‌دار بیشتر از مدل سرریز کنگره‌ای بدون درجه‌دار است. در واقع وجود درجه‌دار در یک سرریز کنگره‌ای نوزنقه‌ای ضریب دبی را افزایش می‌دهد. از طرفی این تفاوت در افزایش ضریب دبی تقریباً در تمام محدوده‌های H_t/P ثابت بوده و یک روند افزایشی را طی می‌کند.

با توجه به این شکل‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نسبت L/H_t و افزایش زوایای رأس سرریز، مقدار ضریب دبی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد هر چه زاویه تاج سرریز افزایش می‌یابد طول موثر سرریز کاهش یافته و در نتیجه ضریب دبی افزایش می‌یابد. در بین مدل‌های مورد بررسی، مدل سرریز کنگره‌ای نوزنقه‌ای تک سیکل - درجه‌دار با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه در هر دو حالت بستر با کف صاف و زبر دارای کمترین طول مؤثر و بیشترین ضریب دبی می‌باشد. همچنین در بین مدل‌های مورد بررسی، سرریز - درجه‌دار کنگره‌ای با زاویه رأس ۲۵ درجه در حالت بستر با کف زبر بیشترین مقدار ضریب دبی (تقریباً ۰/۹۳) در مقایسه با بستر با کف صاف (تقریباً ۰/۶۱) را دارا می‌باشد.

همچنین با توجه به بررسی‌های انجام شده، مدل ترکیبی سرریز در حالت بستر زبر، با بازشدگی ۲ سانتی‌متر نسبت به مدل‌های ترکیبی با بازشدگی‌های ۴



شکل ۱۲- مقایسه تغییرات ضریب دبی به‌ازای H_t/P های مختلف در مدل‌های ترکیبی کنگره‌ای و سرریز کنگره‌ای کروکستون (۲۰۱۲) ($\alpha=15$).

مقدار بیش‌تری دارد. همچنین مقایسات انجام شده نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار دبی مربوط به مدل ترکیبی با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه و بازشدگی ۲ سانتی‌متر در

این در حالی است که ضریب دبی مدل سرریز کنگره‌ای ترکیبی در حالت بستر زبر در مقایسه با سرریز کنگره‌ای و نیز مدل ترکیبی با بستر صاف،

حالت بستر صاف نسبت به مدل‌های ترکیبی با همان زاویه رأس و بازشدگی‌های ۴ و ۶ سانتی‌متر به ترتیب دارای افزایش ۱/۸ و ۳/۳ درصدی در مقدار ضریب دبی می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت مدل ترکیبی با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه و بازشدگی درجه ۲ سانتی‌متر در حالت بستر زبر دارای بیش‌ترین ضریب دبی می‌باشد. در این مدل نسبت به مدل‌های ترکیبی با بازشدگی‌های ۴ و ۶ سانتی‌متر، مقدار ضریب دبی به ترتیب ۱/۹ و ۴/۴ درصد افزایش یافته است. همچنین ضریب دبی مدل ترکیبی با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه با بازشدگی درجه ۲ و ۴ و ۶ سانتی‌متر در حالت بستر زبر در مقایسه با شرایط هیدرولیکی مشابه با بستر صاف، ۲۲،۳۱ و ۱۷ درصد افزایش یافته است. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز کنگره‌ای نوزنقه‌ای درجه دار بیش‌تر از مدل سرریز کنگره‌ای بدون درجه است.

حالت بستر زبر است. به نحوی که در حالت بستر زبر با بازشدگی ۲ سانتی‌متر نسبت به حالت بستر صاف با همان شرایط، مقدار دبی عبوری ۴ درصد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زبری بستر باعث افزایش دبی عبوری مدل ترکیبی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، تأثیر پارامترهای هندسی سرریز، زبری کف و عمق آب بالادست سرریز - درجه بر خصوصیات هیدرولیکی نظیر ضریب دبی سرریز و منحنی دبی - اشل بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد ضریب دبی مدل سرریز کنگره‌ای نوزنقه‌ای تک سیکل - درجه با زاویه تاج سرریز ۲۵ درجه، نسبت به مدل‌های با زاویه رأس ۱۵ و ۲۰ درجه به طور میانگین به ترتیب ۹/۸ و ۳/۵ درصد افزایش یافته است. با بررسی نتایج بدست آمده ضریب دبی مدل ترکیبی با زاویه رأس ۲۵ درجه و بازشدگی ۲ سانتی‌متر در حالت

منابع مورد استفاده

- Azhdari Moghaddam M and Jafari Nadoushan A, 2013. Hydraulic design of trapezoidal labyrinth weirs using computational hydrodynamics. *Civil Journal of Modarres* 13(2): 33-39. (In Persian with English abstract).
- Crookston BM, 2010. Labyrinth Weirs. Ph.D. dissertation, Utah State University, Logan, UT, USA.
- Crookston BM and Tullis BP, 2012. Arced labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 138(6): 555-562.
- Daneshfaraz R, Norouzi R, Abbaszadeh H and Azamathulla HM, 2022. Theoretical and experimental analysis of applicability of sill with different widths on the gate discharge coefficients. *Water Supply* 22 (10): 7767-7781.
- Daneshfaraz R, Norouzi R, Abbaszadeh H, Kuriqi A and Francesco SD, 2022. Influence of sill on the hydraulic regime in sluice gates: An experimental and numerical analysis. *Fluids* 7(7): 244-249.
- Fu ZF, Cui ZH, Dai WH and Chen YJ, 2018. Discharge coefficient of combined orifice-weir flow. *Water* 10(699):60-69.
- Gharahgezlou M and Masoudian M, 2011. The effect of water head and diameter in discharge coefficient on cylindrical weir. 4th Conference on Water Resources Management of Iran. 4 July, Amir Kabir University, Tehran, Iran. p.8 (In Persian with English abstract)
- Heidari M, Ahmadi MM and Rahimpour M, 2012. Experimental investigation of combined flow over weirs and below gates. *Journal of Irrigation and Water Engineering Research* 2(8): 66-78. (In Persian with English abstract)
- Kheilapour M, Mozaffari J and Mohseni Movahed SA, 2021. Experimental study of discharge coefficient of combination labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Structures* 7(4):1-9.
- Mirnasari M and Emadi A, 2014. Hydraulic performance of combined flow labyrinth weir- gate. *Advance in Agriculture and Biology* 1(1): 1-7. (In Persian with English abstract)

- Naderi F, Masoudian M and Roettcher K, 2014. Investigation of flow side contraction in combined structure of cylindrical weir-gate. *Water and Soil Science* 24(4): 77-87. (In Persian with English abstract)
- Negm AM, 2002. Combined free flow over weir and below gates. *Journal of Hydraulic Research* 40(3): 359-365.
- Pashazadeh M, Heidarpour M, Saghaianneghad SH and Razavian SH, 2016. Investigating the simultaneous flow from under the sliding valve and on the trapezoidal weir in the circular channel. *Engineering Research of Irrigation and Drainage Structures* 17(67): 33-46. (In Persian with English abstract)
- Pesarkello M and Emadi AR, 2019. Study the hydraulic flow on the compound structure of weir-gate with compound weir of circular-trapezoidal rectangular. *Engineering Research of Irrigation and Drainage Structures* 19(71): 99-112. (In Persian with English abstract)
- Salehi S and Azimi AH, 2019. Discharge characteristics of weir-orifice and weir-gate structures. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 145(11): 04019025.
- Souri A, Masoudian M, Kordi A and Roettcher K, 2014. Experimental investigation on discharge coefficient and energy loss amount changes of a cylindrical weir-gate with vertical movement. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 44(4): 65-78.
- Vahabnezhad H, 2018. Laboratory study of discharge of stratified labyrinth weir with and without flow breaker blade. M.Sc. Thesis in Water Structures, Department of Water Engineering, University of Tabriz. (In Persian with English abstract)