Archive of SID.ir

Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics
Vol. 19, No. 1, PP. 51-66, Spring 2024

Research Article
https://doi.org/10.30482/jhyd.2023.395129.1642

Estimating the Discharge Coefficient in a Model of the Triangular-Rectangular Combined Weir and Sliding Gate

Mohammad Asadiniya[1], Hossein Khozeymehnezhad[2]*, Mohammad-Qasem Akbari[3]

1- M.Sc. Graduated of Water Structures, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand.
2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand.
3- Associate Professor, Department of Statistics, Faculty of Basic Sciences, University of Birjand.

* **hkhozeymeh@birjand.ac.ir**

Received: 29 April 2023
Accepted: 23 July 2023
Discussion: 21 June 2024

J. Hydraul.
Iranian Hydraulic Association
Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Measuring the flow rate in water transmission channels has always been important. Weirs and gates are more useful than other measuring tools and methods due to their low cost, ease of installation, ability to regulate and control the water level, as well as relatively simple and accurate relationships. Of course, each of these structures alone has weak points; For example, the settling of sediments behind the weir and the accumulation of floating materials behind the gate reduce their efficiency. In order to eliminate or reduce the weak points of the weir and gate, the combination of these two structures in different ways and the research on hydraulics and the accuracy of the flow coefficient of the combined structure have been considered by researchers for some time. Therefore, in the current research, a triangular-rectangular combined weir structure and a sliding gate were built and its flow coefficient was studied in different hydraulic conditions using a laboratory model in the hydraulic laboratory of Birjand University.

Methodology: The experiments of this research were performed in a laboratory flume with a length of 10 meters and a width of 0.3 meters in order to estimate the discharge coefficient of the combined triangular-rectangular weir structure and the sliding gate. Two states of the fixed opening of the gate and different flow rates and different opening of the gate and constant flow rates were considried in the analyses. Two slopes of 0.002 and 0.004 were applied in the experiments. Finally, according to the existing relationship, the discharge coefficient of the structure was estimated in different conditions. Dimensional analysis technique was used to generate dimensionless parameters and study the effect of these parameters on the discharge coefficient of the combined structure.

Results and discussion: The results of the experiments were analyzed after checking the correctness and refinement of the data, and the discharge coefficient of the combined structure was analyzed according to the collected data and the geometrical and hydraulic parameters of the structure. The discharge coefficient of the combined structure was calculated in constant gate openings and different discharges and different gate openings and constant discharges. Also, in order to control some of the tests performed, the discharge coefficient of the combined structure was examined in two different slopes. In all these experimental sets, the discharge coefficient of the combined structure was between 0.6 and

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

0.9, and the results became more uniform with the increase of the upstream depth (y/D). The extraction of the gate of the combined structure downstream of the structure had an effect on the value of the discharge coefficient of the combined structure.

Conclusion: The test results showed that with the increase of $\frac{y}{D}$, the discharge coefficient first reaches its lowest value and then increases after the flow enters the rectangular weir and tends to 0.7. Also, by reducing the opening of the gate ($\frac{H_g}{D}$), the discharge coefficient tends to 0.7. Also, the intake of the gate of the combined structure increases the discharge coefficient of the structure. Slope changes have no effect in the discharge coefficient value of the proposed structure. The results of the current research with the results of other researchers who have worked in this field; matches well.

Keywords: Flow measurement, Combined weir, Sliding gate, Discharge coefficient refining.

© 2024 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/)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک
سال ۱۹، شماره ۱، صفحات ۵۱-۶۶، بهار ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/jhyd.2023.395129.1642

بررسی روند تعیین ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه کشویی

محمد اسعدی‌نیا [۱]، حسین خزیمه‌نژاد [۲*]، محمدقاسم اکبری [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۳- دانشیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند.

* hkhozeymeh@birjand.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱، نقد و بررسی: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: در این پژوهش سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی و دریچه کشویی پایینی ساخته و ضریب دبی آن در شرایط هیدرولیکی مختلف توسط یک مدل آزمایشگاهی بررسی و ارزیابی شد. به‌منظور تعیین ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه کشویی، آزمایش‌ها در دو حالت بازشدگی ثابت دریچه و دبی‌های متفاوت از ۵ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی متفاوت دریچه و دبی‌های ثابت ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ لیتر بر ثانیه و در دو شیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴ انجام شد. در انتها با توجه به رابطه موجود، ضریب دبی سازه در شرایط مختلف تعیین شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش $\frac{y}{D}$ (عمق بی‌بعد جریان در بالادست سازه) ضریب دبی در آغاز کاهش و پس از آن افزایش می‌یابد و به سمت ۰/۷ میل می‌کند. از سوی دیگر با کاهش $\frac{H_g}{D}$ (بازشدگی بی‌بعد دریچه) ضریب دبی به سمت ۰/۷ میل می‌کند. تغییرپذیری‌های شیب هم در تعیین ضریب دبی سازه ترکیبی تأثیری ندارد. نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهش‌هایی که در این زمینه کار شده است، همخوانی دارد.

کلیدواژگان: اندازه‌گیری جریان، سرریز مرکب، دریچه کشویی، تدقیق ضریب دبی.

۱- مقدمه

سرریزهای مرکب که شکل هندسی مقطع تاج آن‌ها ترکیبی از دو سرریز پایینی و بالایی است، تاکنون مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. این نوع سرریزها افزون بر سادگی در ساخت، از نظر هیدرولیکی نیز دارای کارایی زیادی می‌باشند. نوع خاص و ویژه این سرریزها، سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی است. برتری مهم سرریزهای مثلثی این است که در مقایسه با سرریزهای مستطیلی یا ذوزنقه‌ای و در یک دبی جریان ثابت، بار هیدرولیکی بیشتری در بالادست سرریز ایجاد کرده و در این حالت خطای اندازه‌گیری بار آبی کمتر می‌شود. همچنین در دبی‌های زیاد، دهانه بالایی مستطیل شکل از افزایش زیاد سطح آب بالادست سرریز و برگشت آب جلوگیری کرده و حجم بالایی از جریان را از سرریز عبور خواهد داد. همواره آب جاری‌شده در مسیر آبراهه‌ها دارای ذرات معلق رسوب و مواد شناور بوده که در پشت سرریز و ورودی دریچه جمع شده و این امر افزون بر کاهش حجم آبراهه در محدوده سازه سبب ایجاد مسئله‌هایی از جمله آبگیری زمین‌های پیرامون آن به علت سرریز شدن آب از دو طرف آبراهه، به خطر افتادن پایداری سازه و کاهش دقت اندازه‌گیری جریان می‌شود. همچنین تأثیر ارتفاع سرریز را نیز کاهش می‌دهد. با ترکیب سرریز و دریچه به‌عنوان یک سازه هیدرولیکی جدید می‌توان بعضی از محدودیت‌های استفاده جداگانه سرریز و دریچه را برطرف و از برتری‌های آن‌ها استفاده کرد. به‌طوری‌که در این مدل مواد قابل ته‌نشین شدن به‌راحتی از قسمت دریچه خارج و

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مواد معلق به شکل بهتری از روی سرریز تخلیه می‌شوند.

تاکنون پژوهشگران زیادی بر روی سازه‌های سرریز و دریچه به تنهایی و همچنین سازه ترکیبی سرریز و دریچه و تعیین و تحلیل ضریب دبی آن‌ها بررسی و ارزیابی کرده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Abbaszadeh et al. (2023) تاثیر میزان بازشدگی دریچه و همچنین تاثیر وجود آستانه زیر دریچه کشویی را بر میزان استهلاک انرژی در شرایط جریان آزاد بررسی و به این نتیجه رسیدند که افت انرژی در حالت با آستانه در همه‌ی عرض‌ها بیشتر از حالت بدون آستانه است. همچنین با افزایش عرض آستانه و در پی آن کاهش میزان بازشدگی کل، افت انرژی نسبی در مقایسه با آستانه‌های با عرض کوچکتر، بیشتر می‌شود.

Daneshfaraz et al. (2023) با استفاده از یک ارزیابی عددی تاثیر فراسنجه‌های هندسی سرریزهای دودکشی را بر ضریب دبی جریان بررسی کردند. نتایج نشان داد؛ با افزایش دبی و ارتفاع تاج سرریز، ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد.

Jalil and Sarhan (2013) به بررسی ضریب جریان در مدل ترکیبی سرریز-دریچه در حالت قرارگیری مورب در آبراهه پرداختند. آنان نتیجه گرفتند با کاهش زاویه قرارگیری، ضریب دبی کاهش می‌یابد، اما به علت افزایش طول سازه، میزان دبی عبوری افزایش می‌یابد.

Obead and Hamad (2014) با بررسی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز زاویه‌دار و دریچه مستطیلی، نتیجه گرفتند زاویه سرریز تأثیر معنی‌داری روی دبی سازه ترکیبی دارد.

Heidarpoor et al. (2014) ویژگی‌های جریان ترکیبی از روی دریچه کشویی و سرریز ذوزنقه‌ای در حالت لبه‌تیز را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دبی و ارتفاع آب در بالادست سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین، با ثابت در نظر گرفتن فاصله مسدود بین سرریز و دریچه و با افزایش بازشدگی دریچه، میزان ضریب دبی کاهش می‌یابد.

Ilkhanipour Zeynali et al. (2017) طی تحقیقاتی به این نتیجه رسید که ضریب تخلیه سازه جریان ترکیبی سرریز-دریچه در شرایط جریان آزاد با افزایش دبی نسبی دریچه کاهش می‌یابد. خط تقسیم جریان در بالادست سازه در آغاز ریزش آب از روی سرریز منطبق بر تاج سرریز بوده و با افزایش دبی جریان از روی سرریز به سمت لبه دریچه انتقال می‌یابد. تأثیر دبی نسبی دریچه بر ضریب تخلیه دریچه در سازه جریان ترکیبی ناچیز بوده ولی تأثیر آن بر ضریب تخلیه سرریز (به دلیل جا به جا شدن خط تقسیم جریان در بالادست سازه جریان ترکیبی) قابل توجه می‌باشد.

Fu et al. (2018) ضریب دبی جریان ترکیبی سرریز-روزنه را با استفاده از تحلیل نظری و انجام ۲۸۴ آزمایش بر روی مدل فیزیکی ارزیابی کردند. یک رابطه با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی بین ضریب‌های تخلیه جریان سرریز-روزنه و فراسنجه‌های مؤثر در سطح آب بالادست و پایین‌دست شامل ارتفاع روزنه، طول سرریز-روزنه و ارتفاع سرریز-روزنه به دست آمد. چهار فراسنجه بدون بعد، نسبت بار آب (H) به سطح آب بالادست، نسبت ارتفاع روزنه (e) به ارتفاع سرریز-روزنه (a)، نسبت ارتفاع روزنه به بار آب و نسبت طول به ارتفاع آب سازه سرریز-روزنه بودند. نتایج نشان می‌دهد که اگر نسبت ارتفاع روزنه به سطح آب کوچک باشد (یعنی ≥۱۰۰) ضریب تخلیه به‌طور قابل توجهی با کاهش در این نسبت افزایش می‌یابد. با این حال، در نسبت‌های بزرگ‌تر (یعنی> ۱۰۰)، دامنه ضریب به یک خط مستقیم نزدیک می‌شود.

Shabani et al. (2018) در پژوهشی بررسی کردند که در یک بازشدگی یکسان با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، ضریب آبگذری سامانه ترکیبی کاهش می‌یابد. علت این امر این است که با افزایش زاویه و در نتیجه افزایش بار آب، جریان ریزشی از روی سرریز افزایش یافته و تداخل جریان ریزشی و جریان خروجی از روزنه زیاد می‌شود و در نتیجه افت ورودی جریان باعث کاهش ضریب دبی می‌شود. بنابراین سازه ترکیبی سرریز مرکب-روزنه با زاویه ۴۵ درجه بزرگ‌ترین ضریب آبگذری را در بین زاویه‌های دیگر دارا می‌باشد.

Khassaf and Abbas (2013) با بررسی ضریب دبی در مدل سرریز مرکب مستطیلی-ذوزنقه‌ای-مستطیلی با

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

دریچه نیم‌دایره‌ای در آزمایشگاه نشان دادند که ضریب دبی با افزایش دبی و ارتفاع آب در بالادست سرریز افزایش و با افزایش فاصله مسدود بین سرریز و دریچه کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش ارتفاع سرریز مستطیلی پایینی در فاصله ثابت بین سرریز مستطیلی و دریچه، میزان ضریب دبی کاهش می‌یابد.

Hassan et al. (2015) دبی جریان عبوری آب را در سرریز مرکب و دریچه بررسی و ارزیابی کردند. در این زمینه سرریز مرکب مستطیلی و ذوزنقه‌ای با هر یک از دریچه‌های مستطیلی، قوسی و مثلثی ترکیب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با افزایش ارتفاع آب روی سرریز مرکب، دبی جریان عبوری افزایش می‌یابد. افزایش پهنای قسمت‌های مختلف سرریز مرکب و همچنین افزایش فاصله میان سرریز مرکب و دریچه، میزان دبی جریان عبوری را کاهش می‌دهد.

Pesarakloo and Emadi (2017) با بررسی هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی سرریز مرکب دایره‌ای-ذوزنقه‌ای-مستطیلی با دریچه به این نتیجه رسیده‌اند که بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی، ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز مرکب، در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۸۵ و در سرریز-دریچه مرکب، در محدوده ۰/۳۸ تا ۰/۷۸ است. به ازای بار آبی معین با افزایش بازشدگی دریچه، دبی عبوری افزایش ولی ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. همچنین، میزان‌های محاسبه‌شدنی و مشاهده‌پذیر ضریب دبی جریان بر مبنای معیارهای ارزیابی، ضریب تبیین (R^2)، و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) که به ترتیب برابر ۰/۹۶ و ۰/۰۶ محاسبه شدند، مقایسه شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریز و سرریز- دریچه مرکب دایره‌ای– ذوزنقه‌ای– مستطیلی با دقتی قابل قبول، ضریب دبی جریان را برآورد کند.

بررسی منبع‌ها نشان می‌دهد هرچند در زمینه سازه‌های ترکیبی و تعیین ضریب دبی آن‌ها پژوهش‌هایی صورت گرفته، اما با توجه به تنوع بسیار زیاد سازه‌های ترکیبی، نیاز به پژوهش‌های بیشتر بسیار محسوس است، در عمده پژوهش‌هایی که در زمینه سازه‌های ترکیبی صورت گرفته‌اند؛ فراسنجه‌های مربوط به روزنه یا دریچه ثابت در نظر گرفته شده‌اند یا دست‌کم پژوهش‌ها به‌گونه‌ای بوده‌اند که در طی آزمایش، تغییری در شرایط روزنه یا دریچه ایجاد نمی‌شده است؛ اما در این پژوهش مدل سازه ترکیبی به گونه‌ای طراحی و ساخته شد که در حین انجام آزمایش‌ها امکان تغییر در بازشدگی دریچه وجود داشت. بنابراین در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی به تعیین ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه کشویی با بازشدگی‌های متفاوت و تأثیر تغییرپذیری شرایط هندسی و هیدرولیکی سازه و تغییر شیب آبراهه آزمایشگاهی بر روی آن پرداخته شده است.

۲- مواد و روش

۲-۱- آنالیز ابعادی

به‌طور کلی متغیرهای مؤثر در رابطه با بحث ضریب دبی در سازه ترکیبی موردنظر عبارت‌اند از ویژگی‌های مربوط به جریان از جمله سرعت جریان روی تاج سرریزها و در دریچه v و عمق آب بالادست y؛ ویژگی‌های مربوط به سیال از جمله جرم مخصوص سیال ρ و ضریب لزوجت پویایی سیال μ؛ ویژگی‌های مربوط به آبراهه از جمله عرض آبراهه B، ارتفاع آبراهه D و شیب آبراهه S؛ ویژگی‌های مربوط به سازه از جمله ارتفاع سازه H، بازشدگی دریچه H_g، عرض دریچه W_g، فاصله راس سرریز مثلثی تا بالای دریچه H_{gt}، زاویه راس سرریز مثلثی θ، هد آب روی سرریز مثلثی H_{tw}، طول تاج سرریز مثلثی W_{tw}، بار آب روی سرریز مستطیلی H_{rw}، طول تاج سرریز مستطیلی W_{rw}، بار آب روی دریچه H_d و ضریب دبی سازه C_t و دیگر فراسنجه‌ها، شتاب ثقل g می‌باشند.

فراسنجه‌های یادشده را می‌توان به ترتیب زیر خلاصه کرد:

$$f_1(v , y , \rho , \mu , B , D , S , H , H_g , W_g , H_{gt} , \theta , H_{tw} , W_{tw} , H_{rw} , W_{rw} , H_{gt} , C_t , g) = 0 \quad (1)$$

با استفاده از نظریه باکینگهام ۱۹ متغیر موجود در رابطه ۱ به ۱۶ فراسنجه بدون بعد تبدیل می‌شوند و همچنین در ادامه نیز با توجه به این که بعضی از فراسنجه‌های بی‌بعد

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌دست‌آمده، مفهوم گویا و خوبی ندارند، لذا با انجام یک چند عملیات بر روی این فراسنجه‌ها، آن‌ها را می‌توان به ۱۲فراسنجه بی‌بعد معنی‌دار برابر رابطه (۲) تبدیل کرد:

$$f_2(Re, \frac{B}{W_g}, \frac{y}{D}, s, \frac{H}{y}, \frac{H_{gt}}{H_g}, \theta, \frac{H_{tw}}{H_{rw}}, \frac{W_{tw}}{W_{rw}}, \frac{H_d}{y}, c_t, Fr)=0 \quad (2)$$

رابطه (۲) یک رابطه کلی در زمینه تأثیر فراسنجه‌های موردنظر پژوهش بر ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی و دریچه می‌باشد.

از میان فراسنجه‌های مشخص‌شده در رابطه (۲)، فراسنجه‌های هندسی آبراهه به‌جز شیب آبراهه و فراسنجه‌های هندسی سازه به‌جز بازشدگی دریچه، به دلیل محدودیت‌ها و امکانات آزمایشگاهی در اختیار، ثابت در نظر گرفته شده‌اند. عدد رینولدز جریان در همه‌ی آزمایش‌ها در محدوده بین ۹۵۰۰ تا ۲۰۵۰۰ می‌باشد، که بزرگ‌تر از حد جریان آشفته بوده بنابراین می‌توان از تأثیر آن صرف‌نظر کرد (Shafai-Bajestan, 2005). درنهایت فراسنجه‌های $\frac{y}{D}$ (عمق بی‌بعد جریان در بالادست سازه)، $\frac{H_g}{D}$ (بازشدگی بی‌بعد دریچه) و S، به عنوان متغیر در نظر گرفته شده و تأثیر آن بر ضریب دبی سازه ترکیبی بررسی شد. در جدول (۱) فراسنجه‌های بی‌بعدی که در این پژوهش بررسی شده به همراه دامنه تغییر آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱ فراسنجه‌های بی‌بعد مورد بررسی و دامنه تغییر آن‌ها در این پژوهش

Table 1 Dimensionless parameters investigated and range changing them in the present study

Parameter	Range
$\frac{y}{D}$	$0.16 < \frac{y}{D} < 0.6$
Fr	$0.06 < Fr < 0.24$
$\frac{H_g}{D}$	$0 < \frac{H_g}{D} < 0.16$
S	0.004, 0.002

۲-۲- مدل آزمایشگاهی و چگونگی انجام آزمایش‌ها

آبراهه آزمایشگاهی مورد استفاده برای آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند قرار دارد. این آبراهه آزمایشگاهی، افقی با سطح مقطع مستطیلی شیب‌پذیر و دارای طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر می‌باشد. دیواره آبراهه از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۰/۰۱ متر می‌باشد که باعث می‌شود جریان آب درون آبراهه آزمایشگاهی به کلی قابل رؤیت باشد. در شکل (۱) نمای کلی ساده از آبراهه آزمایشگاهی نشان داده شده است.

به‌منظور انجام این پژوهش با استفاده از ورق گالوانیزه سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی و دریچه با ارتفاع کلی (H) ۰/۳ متر، عرض کلی (B) ۰/۳ متر، طول تاج سرریز مستطیلی (W_{rw}) ۰/۱۹۷ متر، طول تاج سرریز مثلثی (W_{tw}) ۰/۱۴۷ متر، بیشترین بار آب روی سرریز مستطیلی (H_{rw}) ۰/۱ متر، بیشترین بار آب روی سرریز مثلثی (H_{tw}) ۰/۰۵ متر، بیشترین بازشدگی دریچه (H_g) ۰/۰۷۵ متر و عرض دریچه (W_g) ۰/۱۴۷ متر ساخته شده است؛ که نمای کلی آن در شکل ۲ نمایش داده شده است.

آزمایش‌ها در دو حالت انجام شد: ۱) بازشدگی ثابت دریچه؛ که در هر بازشدگی ثابت که میزان آن تا پایان آزمایش تغییر نمی‌کرد؛ دبی‌های متفاوت (از ۵ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه) برقرار می‌شد و ۲) دبی‌های ثابت (۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ لیتر بر ثانیه) که در هر دبی ثابت، بازشدگی دریچه از میزان‌های بسیار کم تا بازشدگی کامل تغییر می‌کرد. روند آزمایش‌ها بدین صورت بود که با چرخاندن اهرم تنظیم شیب، نشانگر، روی صفحه مدرج حرکت می‌کند و با ثابت کردن اهرم، شیب قابل محاسبه است. در آغاز شیب آبراهه ثابت روی ۰/۰۰۲ تنظیم‌شده و سپس با روشن کردن پمپ، آب به درون آبراهه آزمایشگاهی منتقل می‌شود. آب در آغاز وارد حوضچه آرام‌کننده جریان شده، آن‌گاه با عبور از مقطع‌های مختلف آبراهه، با گذشتن از دریچه انتهایی، به درون مخزن ریزش می‌کند. به‌منظور اندازه‌گیری شدت جریان از دبی‌سنج الکترومغناطیسی با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه استفاده شده است. با تنظیم بازشدگی دریچه و یکنواختی جریان، آزمایش آغاز شده و

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

رخدادهای جریان بررسی شد. به‌منظور ثبت نتایج در دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف میزان بار آب روی سرریزها از مبدأ راس سرریز مثلثی به‌وسیله ارتفاع‌سنج سوزنی با دقت ۰/۱ میلی‌متر و میزان بار آب روی دریچه از مبدأ بالای دریچه توسط خط‌کش اندازه‌گیری می‌شد. با پایان آزمایش‌ها به‌منظور محاسبه ضریب دبی به کمک رابطه‌های (۳ تا ۵)، رابطه نهایی محاسبه ضریب دبی (رابطه ۷) به دست می‌آید. سپس شیب آبراهه را بر روی ۰/۰۰۴ تنظیم کرده و همین مراحل دوباره تکرار شد.

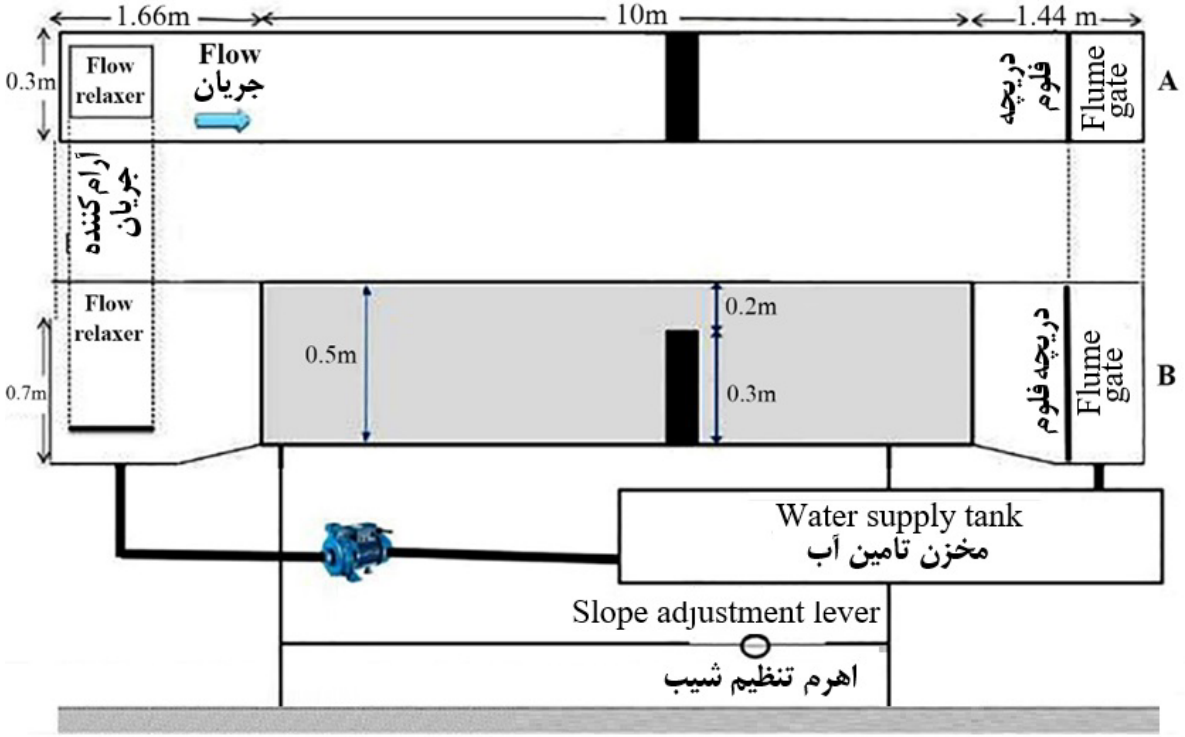
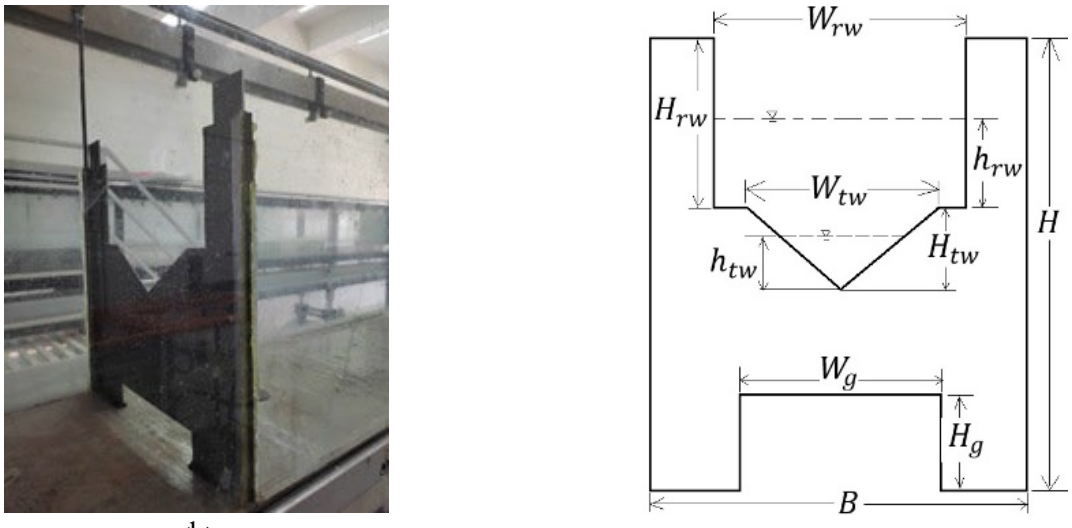


Fig.1 A simple schematic of the laboratory canal and the combined structure A) View from above B) Longitudinal profile

شکل ۱ نمای کلی ساده‌ای از آبراهه آزمایشگاهی و سازه ترکیبی A) نمای از بالا، B) نیمرخ طولی



(b) (a)

Fig.2 (a) Schematic of the structure and geometric parameters and (b) overview of the combined structure in the canal

شکل ۲ (a) نمای کلی سازه و فراسنجه‌های هندسی، (b) نمای کلی سازه ترکیبی در آبراهه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

محاسبه دبی عبوری از سرریز مثلثی:

$$Q_{wt} = \frac{8}{15} c \sqrt{2g}\ tan\frac{\theta}{2}\ h_{tw}^{\frac{5}{2}} \quad (3)$$

محاسبه دبی عبوری از سرریز مستطیلی:

$$Q_{wr}=\frac{2}{3} c \sqrt{2g}\ W_{rw}\ h_{rw}^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

محاسبه دبی عبوری از دریچه مستطیلی:

$$Q_g=c\ (W_g.H_g)\ \sqrt{2gH_d} \quad (5)$$

با فرض یکسان در نظر گرفتن ضریب دبی در هر سه سازه سرریز مثلثی، مستطیلی و دریچه، رابطه نهایی برای محاسبه دبی از سازه ترکیبی را می‌توان به‌صورت رابطه (۶) نوشت. لازم به یادآوری است فرض یکسان در نظر گرفتن ضریب دبی در عمده پژوهش‌های مرتبط از جمله پژوهش‌های Zahiri et el. (2014) و Pesarakloo and Emadi (2017) نیز در نظر گرفته شده است.

$$Q_T=C_T(\frac{8}{15}\sqrt{2g}\ \tan\frac{\theta}{2}\ h_{tw}^{\frac{5}{2}}+ \quad (6)$$

$$\frac{2}{3}\ \sqrt{2g}\ W_{rw}\ h_{rw}^{\frac{3}{2}}+(W_g.H_g)\ \sqrt{2gH_d})$$

با داشتن دبی نظری (Q_T) و داشتن دبی عملی (Q_a) از روی صفحه نمایشگر دبی، ضریب دبی سازه ترکیبی از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$C_T=\frac{Q_a}{Q_T} \quad (7)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تعیین ضریب دبی سازه در دبی‌های متفاوت و بازشدگی ثابت

ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه در بازشدگی‌های بی‌بعد ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۵، ۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱۰، ۰/۱۱، ۰/۱۲، ۰/۱۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۵ و در هر بازشدگی در دبی‌های متفاوت (از ۵ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه) محاسبه شد. شکل (۳) روند تغییرپذیری‌ضریب‌های‌دبی دربازشدگی‌های

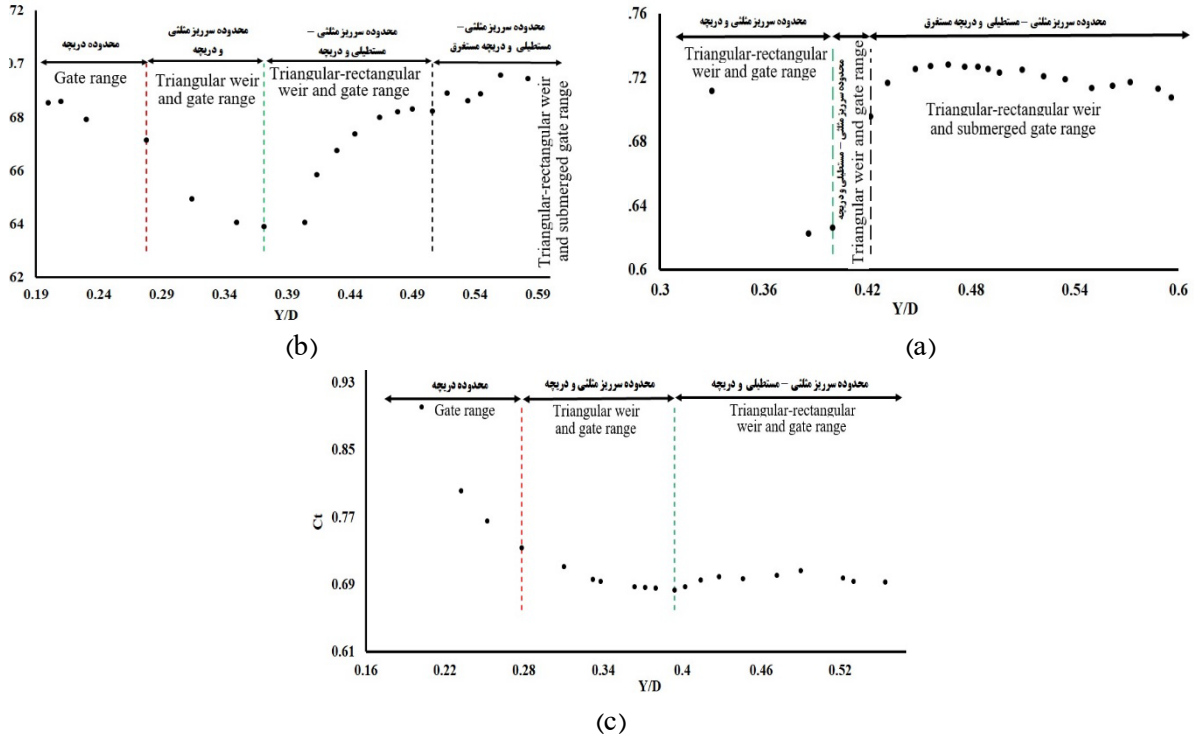


Fig.3 A) Flow coefficient in dimensionless opening of 0.02 of the gate with different flow rates. B) Flow coefficient in dimensionless opening of 0.09 of the gate with different flow rates. C) Flow coefficient in dimensionless opening of 0.15 of the gate with different flow rates.

شکل(۳) (a) ضریب دبی در بازشدگی بی‌بعد ۰/۰۲ دریچه با دبی‌های متفاوت. (b) ضریب دبی در بازشدگی بی‌بعد ۰/۰۹ دریچه با دبی‌های متفاوت. (c) ضریب دبی در بازشدگی بی‌بعد ۰/۱۵ دریچه با دبی‌های متفاوت.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بی‌بعد ۰/۰۲، ۰/۰۹ و ۰/۱۵ دریچه را نسبت به $\frac{y}{D}$ نشان می‌دهد.

در حالت بازشدگی ثابت دریچه و دبی‌های متفاوت (از ۵ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه) چهار محدوده مشاهده می‌شود که این محدوده‌ها در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. در محدوده اول، که جریان تنها از دریچه عبور می‌کند؛ روند نمودارها در همه‌ی بازشدگی‌ها در این قسمت کاهشی می‌باشد. یعنی با افزایش $\frac{y}{D}$ ضریب دبی در این ناحیه در حال کاهش می‌باشد. در محدوده دوم که جریان از دریچه و سرریز مثلثی عبور می‌کند؛ روند نمودارها در همه‌ی بازشدگی‌ها در این محدوده به روند کاهشی خود در محدوده پیشین ادامه می‌دهد. یعنی همچنان با افزایش $\frac{y}{D}$ ضریب دبی کاهش می‌یابد که با نتایج حاصل‌شده از پژوهش Balouchi and Zinivand (2012) و Mohebbi et al. (2015) همخوانی دارد. همان‌طور که در نتایج پژوهش‌های یادشده نیز اشاره شده است؛ در شرایطی که ویژگی‌های هندسی سازه ترکیبی مانند بازشدگی دریچه، زاویه راس سرریز مثلثی و طول تاج سرریز مستطیلی (که در روابط ۳ تا ۵ دیده می‌شوند)؛ در طی یک آزمایش ثابت باشند؛ بنابر رابطه‌های یاد شده ضریب دبی تنها به دبی جریان و بار آب در بالادست سازه بستگی دارد؛ اما همان‌طور که در این رابطه‌ها مشاهده می‌شود؛ دبی جریان و بار آب هر کدام تاثیر متفاوتی بر ضریب دارند؛ به عنوان مثال در محدوده اول که تنها جریان از دریچه عبور می‌کند بار آب با توان ۰/۵ در رابطه ظاهر شده و به همین دلیل تاثیر تغییرپذیری‌های بار آب از دبی جریان کمتر بوده و لذا با افزایش بار آب، ضریب دبی کاهش می‌یابد. در محدوده دوم، بخش از جریان از سرریز مثلثی عبور می‌کند و تاثیرگذاری بار آب در سرریز مثلثی متفاوت با دریچه است به گونه‌ای که بار آب روی سرریز مثلثی با توان ۲/۵ در رابطه ظاهر می‌شود. اما در این محدوده با توجه به اینکه عمده جریان از دریچه عبور می‌کند و بخش کمی از جریان از سرریز مثلثی عبور می‌کند؛ روند محدوده اول با شیب کمتری در محدوده دوم هم تکرار می‌شود. در محدوده سوم، روند کاهشی نمودارها در بازشدگی‌های مختلف تا حدودی متوقف شده و نمودارها در این محدوده به طورکلی روندی افزایشی دارند؛ این بدان معناست که با ادامه روند افزایش $\frac{y}{D}$، ضریب دبی در بیشتر دبی‌ها اندکی افزایش می‌یابد. در این محدوده، جریان افزون بر دریچه از سرریز مثلثی و مستطیلی هم عبور می‌کند و بار آب روی سرریزهای مثلثی و مستطیلی به ترتیب با ضریب‌های ۲/۵ و ۱/۵ در رابطه‌ها ظاهر می‌شوند و لذا افزایش بار آب، باعث افزایش ضریب دبی می‌شود؛ نتایج به‌دست‌آمده در این وضعیت، با نتایج Fu et al. (2018) همخوانی دارد. در محدوده چهارم، روند نمودارها در همه‌ی بازشدگی‌ها در این حالت با آغاز یک روند افزایشی ادامه یافته و در نهایت به سمت عدد ثابتی میل می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که با استغراق دریچه و افزایش $\frac{y}{D}$، ضریب دبی تا حدودی ثابت شده است. به دلیل محدودیت در بیشینه دبی و کمینه دبی پمپ آزمایشگاه، شکل (۳-a) محدوده اول و شکل (۳-b) محدوده چهارم را ندارد. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر این روندها نتایج مربوط به همه‌ی بازشدگی‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

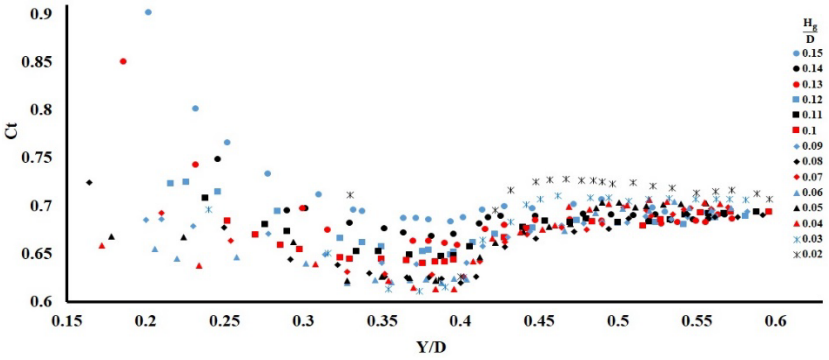


Fig. 4 Flow coefficient in all dimensionless openings of the gate with different flow rates

شکل ۴ ضریب دبی در تمام بازشدگی‌های بی‌بعد دریچه با دبی‌های متفاوت

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با افزایش بار آب بالادست سازه یا همان عمق جریان، به دلایلی که در بخش پیشین توضیح داده شد؛ ضریب دبی در محدوده‌ای که جریان از دریچه و سرریز مثلثی عبور می‌کند؛ کاهش می‌یابد و در شرایطی که همه‌ی ظرفیت سازه ترکیبی برای عبور جریان استفاده می‌شود؛ ضریب دبی روند افزایشی پیدا کرده و در نهایت در همه‌ی بازشدگی‌های بی‌بعد دریچه به سمت عدد ثابت میل می‌کند. از شکل (۴) نتیجه می‌شود که به‌طور کلی ضریب دبی سازه بین ۰/۶ تا ۰/۹ می‌باشد اما با افزایش دبی و دی پی آن افزایش سطح آب بالادست، ضریب دبی تا حدودی ثابت و بین ۰/۶۸ تا ۰/۷۱ قرار می‌گیرد.

۲-۳-تعیین ضریب دبی سازه در بازشدگی‌های متفاوت و دبی ثابت

در این مرحله ضریب دبی در دبی‌های ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ لیتر بر ثانیه محاسبه و نمودارهای مربوط به ضریب دبی بر حسب $\frac{y}{D}$ و $\frac{H_g}{D}$ رسم شده و بررسی می‌شوند.

با افزایش بازشدگی دریچه سهم عبور جریان از دریچه بیشتر شده و همان‌طور که پیشتر توضیح داده شد با افزایش بازشدگی دریچه ضریب دبی جریان در برابر افزایش بار آب روند کاهشی دارد. همان‌طور که در شکل ۵ و ۶ –مربوط به دبی‌های ۷ و ۹ لیتر بر ثانیه- مشخص است؛ شرایط جریان به گونه‌ای است که محدوده ۱ در نمودارها دیده می‌شود؛ یعنی در شماری از آزمایش‌ها جریان تنها از دریچه عبور می‌کند؛ اما در دبی‌های بالاتر محدوده ۱ وجود ندارد. در شکل ۷ - مربوط به دبی ۱۱

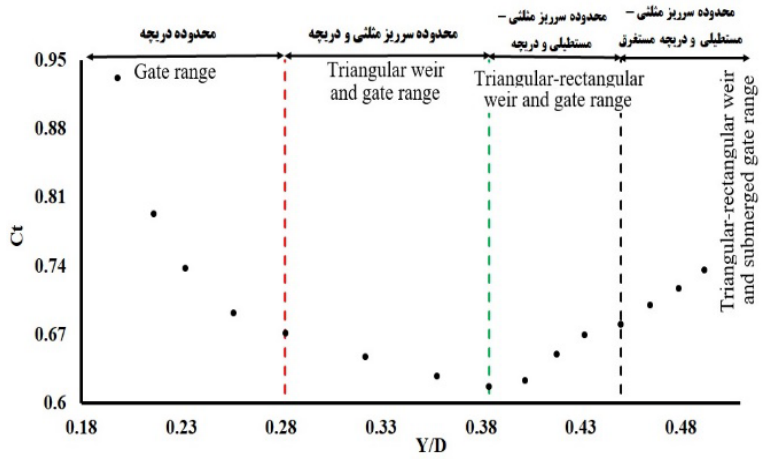


Fig. 5 The flow coefficient in the flow rate of 7 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different opening of the gate

شکل ۵ ضریب دبی در دبی ۷ لیتر بر ثانیه برحسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی متفاوت دریچه

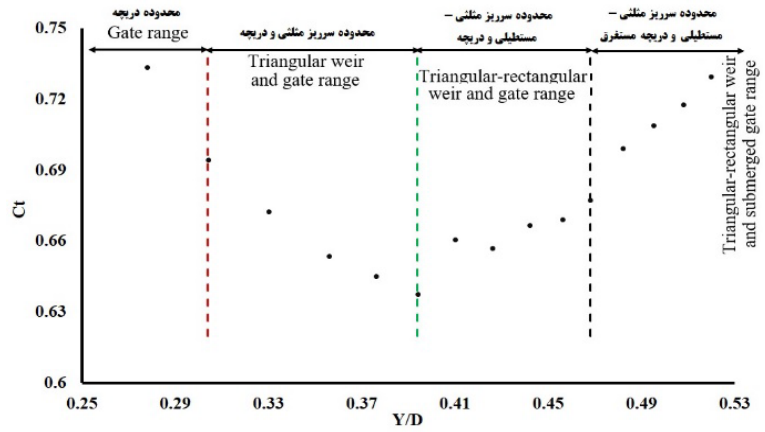


Fig.6 The flow coefficient in the flow rate of 9 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different opening of the gate

شکل ۶ ضریب دبی در دبی ۹ لیتر بر ثانیه برحسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی متفاوت دریچه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

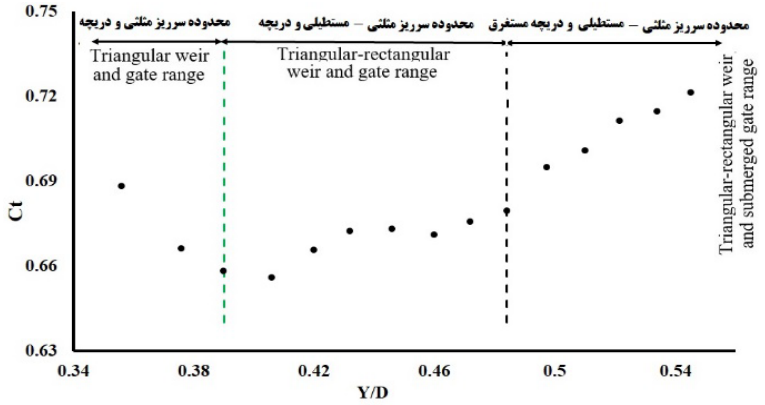


Fig.7 The flow coefficient in the flow rate of 11 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different opening of the gate

شکل ۷ ضریب دبی در ۱۱ لیتر بر ثانیه برحسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی متفاوت دریچه

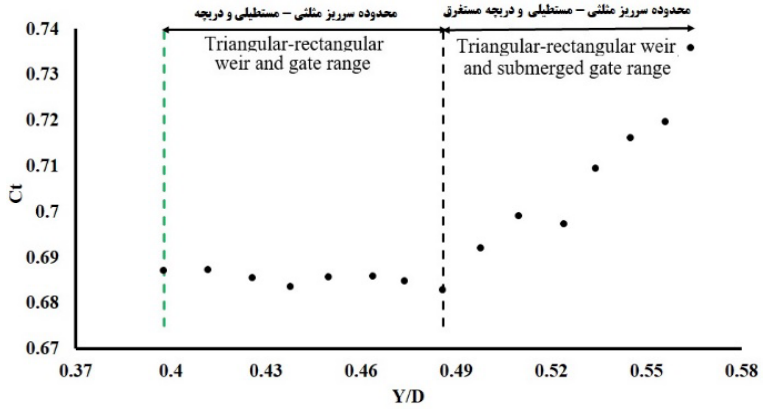


Fig.8 The flow coefficient in the flow rate of 13 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different opening of the gate

شکل ۸ ضریب دبی در دبی ۱۳ لیتر بر ثانیه برحسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی‌های متفاوت دریچه

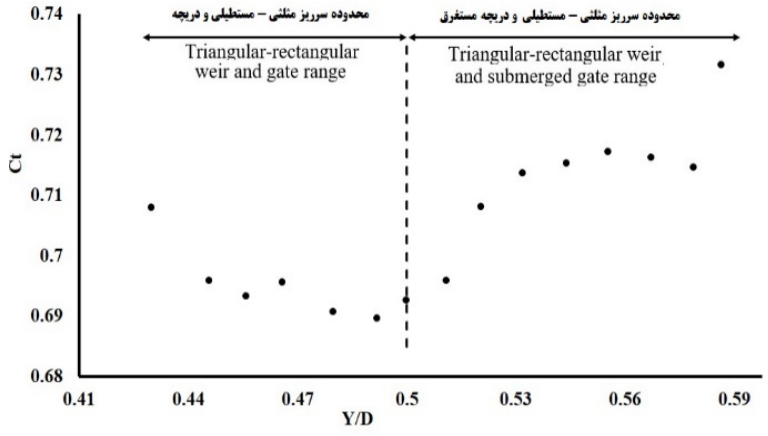


Fig.9 The flow coefficient in the flow rate of 15 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different opening of the gate

شکل ۹ ضریب دبی در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه بر حسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی‌های متفاوت دریچه

لیتر بر ثانیه- آغاز نمودارها از محدوده ۲ است؛ در محدوده ۲ همان‌طور که پیشتر گفته شد با وجود عبور بخشی از جریان از سرریز مثلثی کماکان سهم دریچه در عبور جریان بیشتر است؛ لذا با افزایش بار آب بالادست، کماکان ضریب دبی روند کاهشی دارد. در شکل‌های ۸ و ۹ آغاز نمودارها از محدوده سوم است. در محدوده سوم و چهارم

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

روند کاهشی ضریب دبی متوقف و وارد روند افزایشی شده و در نهایت همان‌طور که در ادامه در شکل ۱۰ مشاهده خواهد شد به سمت عدد ثابتی میل می‌کند.

شایان یادآوری است که در پژوهش‌های گذشته بازشدگی دریچه در خلال آزمایش‌ها تغییر نمی‌کرد، اما در این پژوهش بازشدگی دریچه به‌عنوان یک متغیر مؤثر بر ضریب دبی مدنظر قرار گرفت و نتایج نشان داد که تغییر در میزان بازشدگی دریچه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ضریب دبی دارد. هر چند این نکته در شکل‌های ۵ تا ۹ مشهود است اما برای درک بهتر این موضوع و بررسی بازه تغییر ضریب دبی، نمودارهای شکل‌های پیشین تجمیع و در شکل (۱۰) ارائه شده است.

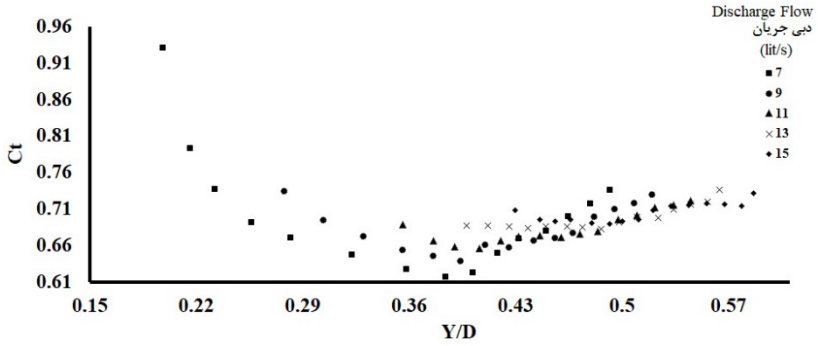


Fig.10 Flow coefficient in flow rates of 7, 9, 11, 13 and 15 liters per second in terms of $\frac{y}{D}$ with different gate openings

شکل ۱۰ ضریب دبی در دبی‌های ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ لیتر بر ثانیه برحسب $\frac{y}{D}$ با بازشدگی‌های متفاوت دریچه

مشاهده می‌شود که ضریب دبی سازه بین ۰/۶ تا ۰/۹ متغیر است اما با افزایش دبی جریان و افزایش ارتفاع آب بالادست سازه تا نزدیکی ارتفاع سازه، تغییرپذیری‌هایی ضریب دبی کم شده و بین ۰/۶۸ تا ۰/۷۲ تغییر می‌کند.

۳-۳- بررسی تأثیر فراسنجه $\frac{H_g}{D}$ بر ضریب دبی سازه

با رسم نمودار ضریب دبی با دبی‌های ثابت و بازشدگی متفاوت دریچه بر حسب $\frac{H_g}{D}$ نتایج این بخش در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

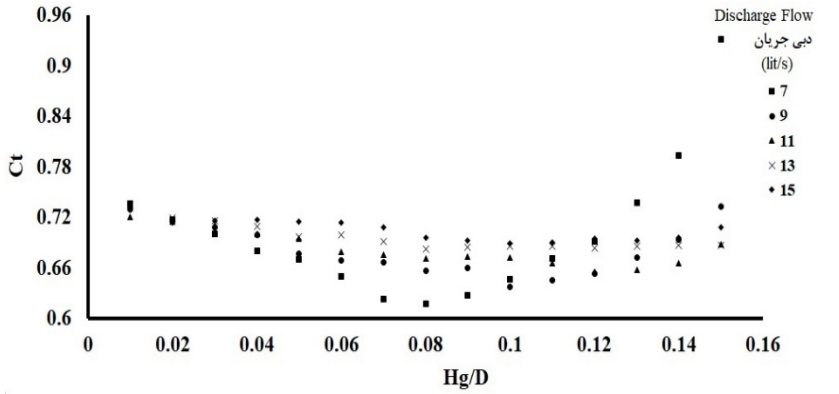


Fig.11 Flow coefficient in flow rates of 7, 9, 11, 13 and 15 liters per second in terms of $\frac{H_g}{D}$

شکل ۱۱ ضریب دبی در دبی‌های ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ لیتر بر ثانیه بر حسب $\frac{H_g}{D}$

در شکل (۱۱) از چپ به راست بازشدگی‌ها از ۰/۰۱ (بازشدگی بسیار کم) تا ۰/۱۵ (بازشدگی کامل دریچه) تغییر می‌کند. برابر شکل مشاهده می‌شود که با افزایش میزان بازشدگی دریچه، ضریب دبی به سمت عدد ۰/۷ میل می‌کند. در دبی ۷ لیتر بر ثانیه با افزایش بازشدگی بی‌بعد دریچه تا بازشدگی (Hg/D=۰/۰۸) روند ضریب

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

دبی جریان کاهشی است. در این محدوده بیشتر جریان از سرریزها عبور می‌کند. اما از این میزان به بعد سهم سرریزها کم شده و تا جایی که از بازشدگی (Hg/D) ۰/۱۱ تا ۰/۱۵ جریان تنها از دریچه عبور می‌کند (عمده بخشی که روند ضریب دبی در آن افزایشی است) و همان طور که پیشتر –در زیر شکل ۳ توضیح داده شد–؛ هنگامی که جریان تنها از دریچه برقرار است ضریب دبی جریان میزان بالاتری دارد به عبارتی با افزایش بازشدگی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. در دیگر دبی‌ها – به استثنای دو بازشدگی بی‌بعد ۰/۱۵ و ۰/۱۴ در دبی ۹ لیتر بر ثانیه– شرایط جریان به گونه‌ای است که در بازشدگی بالا نیز همه‌ی جریان تنها از دریچه عبور نمی‌کند و لذا روند دیگر دبی‌ها با دبی ۷ لیتر بر ثانیه متفاوت است. برای درک بیشتر این مطالب توضیح‌های مربوط به شکل‌های ۵ تا ۱۰ مدنظر قرار گیرد.

۳-۴- بررسی تأثیر شیب کف آبراهه بر ضریب دبی سازه

همه‌ی آزمایش‌های این پژوهش در شیب ۰/۰۰۲ انجام شده است. افزون بر این به‌منظور کنترل برخی از آزمایش‌های انجام‌شده، آزمایش‌ها در ۲ بازشدگی ۰/۰۹ و ۰/۱۵ در شیب ۰/۰۰۴ تکرار که نتایج بدست‌آمده در شکل (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.

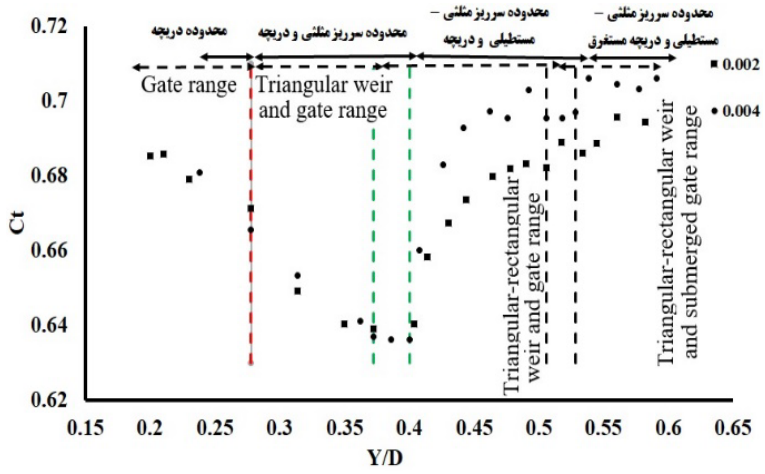


Fig.12 Checking the flow coefficient in the dimensionless opening 0.09 in two slopes 0.002 and 0.004

شکل ۱۲ بررسی ضریب دبی در بازشدگی بی‌بعد ۰/۰۹ در دو شیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴

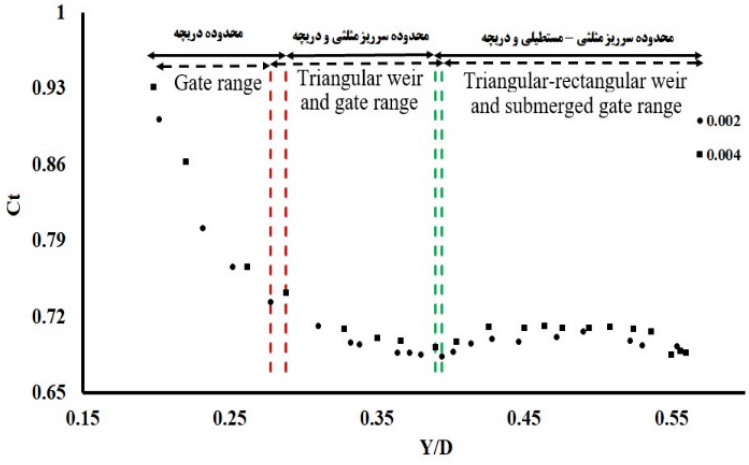


Fig.13 Checking the flow coefficient in the dimensionless opening 0.15 in two slopes 0.002 and 0.004

شکل ۱۳ بررسی ضریب دبی در بازشدگی بی‌بعد ۰/۱۵ در دو شیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نتایج نشان داد تغییر در شیب فلوم، تغییر قابل ملاحظه‌ای در ضریب دبی سازه ایجاد نکرده است. بررسی منبع‌هایی در این زمینه نیز نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی تاثیر شیب فلوم را به عنوان فراسنجه موثر بر ضریب دبی جریان تایید نکرده است؛ در رابطه‌های نظری سازه‌های دریچه و سرریز نیز شیب مقطع جریان دیده نشده است. همان‌طور که پیشتر بیان شد؛ یکی از علت‌های انجام برخی از آزمایش‌های این پژوهش در شیب ۰/۰۰۴، کنترل روندها و اطمینان از دقت و درستی داده‌ها بوده است.

۳-۵- بررسی و مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهشگران

در جدول (۲) نتایج ضریب دبی جریان سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه کشویی با نتایج دیگر پژوهش‌های مرتبط مقایسه شد. برابر جدول (۲)، دامنه فراسنجه‌های مورد بررسی در این پژوهش در محدوده فراسنجه‌های مورد بررسی دیگر پژوهش‌ها می‌باشد. اختلاف بازه ضریب دبی در پژوهش‌های مورد بررسی در جدول (۲) با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند به علت متفاوت بودن نوع سرریزها در سرریز مرکب و انتخاب یک بازشدگی‌های ثابت دریچه باشد. به‌صورت کلی در بیشتر این پژوهش‌ها بازه مشترک در محدوده ضریب دبی دیده می‌شود و می‌توان به این نتیجه رسید که به‌صورت میانگین برای بیشتر سازه‌های سرریز مرکب و دریچه ضریب دبی جریان را می‌توان ۰/۷ در نظر گرفت.

جدول ۲ محدوده ضریب دبی پژوهشگران مختلف

Table 2 The range of discharge coefficient of different researchers

Discharge coefficient range	Subject	Source
$0.28 < C_t < 0.93$	Experimental Investigation on Discharge Coefficient for Combined Structure of Weir Gate under Flood Conditions	Balouchi and Zinivand (2012)
$0.64 < C_t < 0.7$	Study of Simultaneous Flow over Sharp-Crested Trapezoidal Weir and Below Sluice Gate	Heidarpoor et al. (2014)
$0.58 < C_t < 0.61$	Experimental investigation of flow discharge coefficient for combined system of compound weirs-orifices	Shabani et al. (2018)
$0.38 < C_t < 0.78$	Study the Hydraulic Flow on the Compound Structure of Weir-Gate with Compound Weir of Circular-Trapezoidal Rectangular	Pesarakloo, M. and Emadi (2017)
$0.6 < C_t < 0.9$	Determining the discharge coefficient in a model of the triangular-rectangular combined weir and sliding gate	The present study

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل آزمایشگاهی، ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه کشویی بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرپذیری‌های ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی و دریچه به ارتفاع آب بالادست سازه و شرایط استغراق دریچه وابسته است. همچنین با افزایش $\frac{y}{D}$، ضریب دبی تا هنگامی که آب از دریچه و یا دریچه و سرریز مثلثی می‌گذرد، کاهشی و هنگام ورود به سرریز مستطیلی افزایشی و در نهایت به سمت ثابت شدن میل می‌کند. ضریب دبی جریان از دو فراسنجه بار آب (عمق آب بالادست سازه) و دبی عبوری تاثیر می‌پذیرد اما تاثیر این دو فراسنجه در دریچه و دو سرریز مثلثی و مستطیلی متفاوت است؛ از جمله علت‌های روند کاهشی ضریب دبی جریان در هنگام عبور جریان از دریچه تاثیر کمتر بار آب نسبت به دبی جریان است اما هنگام عبور جریان از دریچه و سرریز مثلثی، روند کاهشی ضریب دبی کمی تعدیل شده و با ورود جریان به سرریز مستطیلی کمتر هم شده و در نهایت به سمت عدد ثابتی میل می‌کند. این روند با کاهش $\frac{H_g}{D}$ (بازشدگی بی‌بعد دریچه)، نیز

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

رخ می‌دهد به گونه‌ای که با کاهش این فراسنجه، ضریب دبی تا حدودی ثابت شده و به عدد ۰/۷ میل می‌کند. تغییر در شیب آبراهه، تغییر قابل توجهی در ضریب دبی سازه ایجاد نمی‌کند. یکی از مسئله‌هایی که در پژوهش‌هایی مانند این پژوهش می‌تواند بروز کند؛ اثر مقیاس است که با کوچک‌شدن ابعاد مختلف مدل شامل فلوم و سازه اندازه‌گیری جریان و بنابراین کوچک‌شدن عمق‌های جریان عبوری از سازه اندازه‌گیری به ویژه سرریز، بیشتر هم می‌شود. در چنین شرایطی امکان تاثیرگذاری نیروی لزوجت و کشش سطحی دور از انتظار نیست؛ لذا در حد امکان باید مراقبت شود که با انتخاب ابعاد مناسب مدل آزمایشگاهی این خطا رخ ندهد. همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد؛ سازه ترکیبی به مدیریت رسوب و مواد شناور بالادست سازه خیلی کمک می‌کند؛ لذا ضرورت دارد؛ شرایط جریان در سازه‌های ترکیبی اندازه‌گیری جریان مانند سازه مورد استفاده در این پژوهش در شرایط بستر رسوبی و عبور مواد شناور نیز بررسی و ارزیابی شود.

۵- فهرست نشانه‌ها

سرعت جریان روی تاج سرریزها و در دریچه (ms^{-1})	v
عمق آب بالادست (m)	y
عرض کانال (m)	B
ارتفاع کانال(m)	D
شیب کانال	S
ارتفاع سازه (m)	H
بازشدگی دریچه (m)	H_g
عرض دریچه (m)	W_g
فاصله راس سرریز مثلثی تا بالای دریچه (m)	H_{gt}
هد آب روی سرریز مثلثی (m)	H_{tw}
طول تاج سرریز مثلثی (m)	W_{tw}
هد آب روی سرریز مستطیلی (m)	H_{rw}
طول تاج سرریز مستطیلی (m)	W_{rw}
هد آب روی دریچه (m)	H_d
ضریب دبی سازه	C_t
شتاب ثقل (ms^{-2})	g
عمق بی‌بعد جریان در بالادست سازه	$\frac{y}{D}$
بازشدگی بی‌بعد دریچه	$\frac{H_g}{D}$
عدد فرود جریان	Fr

علایم یونانی:

جرم مخصوص سیال (kgm^{-3})	ρ
ضریب لزجت دینامیکی سیال $(kgm^{-1}s^{-1})$	μ
زاویه راس سرریز مثلثی	θ

۶- منبع‌ها

Abbaszadeh, H., Daneshfaraz, R. & Norouzi, R. (2023). Experimental Investigation of Hydraulic Jump Parameters in Sill Application Mode with Various Synthesis, *J. Hydraul. Struct.*, *9*(1), 18-42.

Balouchi, B. & Zinivand, M. (2012). Experimental Investigation on Discharge Coefficient for Combined Structure of Weir Gate under Flood Conditions. *J. Water and Soil Science*, *22*(2), 152-164. (In Persian)

Daneshfaraz, R., Norouzi, R. & Abbaszadeh, A. (2023) Effect of geometric shapes of chimney weir on discharge coefficient. *Journal of Applied Water Engineering and Research, 12*(1), 27-38. https://doi.org/10.1080/ 23249676. 2023.2192977.

Fu, Z.F., Cui, Z., Dai, W.H. & Chen, Y.C. (2018). Discharge Coefficient of Combined Orifice-Weir Flow. *Water*, *10*(6), 699, https://doi.org/ 10.3390/w10060699

Hassan, F.A., Khassaf, S.I. & Hassan, A.O. (2015). Determining the Coefficient of Discharge due to Flow over Combined Weir and below Gates, *Kufa Journal of Engineering*, *7*(1), 115-128.

Heidarpoor, M., Razavian, S.H. & Hosseini, Y. (2014). Study of Simultaneous Flow over Sharp-Crested Trapezoidal Weir and Below Sluice Gate. *JWSS - Isfahan University of Technology*, *18*(68), 147-156. (In Persian)

Ilkhanipour Zeynali, R., Kashefipour, M., Musavijahromi, H. & Fathimoghadam, M. (2017). Influence of the Gate and Weir Interaction on Discharge Characteristics of the Weir-Gate Combined Flow Structure, *J. Water and Soil Science*, *27*(2), 283-291. (In Persian)

Jalil, S.A. & Sarhan, SA. (2013). Experimental study of combined oblique weir and gate structure. *Engineering and Applied Sciences*, *8*(4), 306-315.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Khassaf, S.I. & Abbas, H.A. (2013). Study the free flow over compound weir and below semicircular gate. *Int. J. Science Engineering Research.*, *4*(10), 1486-1491.

Mohebbi, M., Meftah Halaghi, M., Dehghani, A. & Zahiri, A. (2015). Experimental Study of Discharge Coefficient of Triangular-in-plan weir structure. 5th National Conference Sustainable Architecture, 15 July; Institute of Higher Education Mehravand, Tehran. (In Persian)

Obead, I.H. & Hamad, R. (2014). Experimental study of coupled flow through combined weir-gate structure. *Journal of Babylon University*, *22*(1), 151-161.

Pesarakloo, M. & Emadi, A. (2017). Study the Hydraulic Flow on the Compound Structure of Weir-Gate with Compound Weir of Circular-Trapezoidal Rectangular. *Research Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering*, *19*(71), 99-112. (In Persian)

Shabani, E., Zahiri, A., Dehghani, A.A. & Meftah Halghi, M. (2018). Experimental investigation of flow discharge coefficient for combined system of compound weirs-orifices. *Journal of Water and Soil Protection Research*, *25*(3), 209-224. (In Persian)

Shafai-Bajestan, M. (2005). Basic concepts and application of physical hydraulic modeling, Shahid Chamran University press, Ahvaz, Iran, 268P. (In Persian)

Zahiri, A., Tang, X. & Azamatulla, H. (2014). Mathematical modeling of flow discharge over compound sharp-crested weirs. *J. Hydro-Environ. Res*. *8*(3), 194-199.

Archive of SID.ir