

Experimental studying staged walls of a Duckbill weirs on the flow discharge coefficient

H. Vahabnejhad¹, A. Abbaspour² and J. Parsa³

Extended Abstract

Introduction:

The replacement of linear weirs with nonlinear types, such as labyrinth weirs, is often considered as an effective alternative for increasing spillway discharge capacity without the need to widen the existing channel. Labyrinth weirs are frequently a desirable design choice for regulating upstream water elevations and enhancing flow capacity. They have been successfully used to increase weir capacity and manage upstream flooding during low-probability storm events. Staged labyrinth weirs (weirs with crest lowering) are employed to safely discharging water under both normal and flood conditions. Their unique shape allows for more efficient energy distribution, minimizing turbulence and potential damage to downstream structures. Furthermore, maintenance requirements for labyrinth weirs are generally lower due to their simple yet effective design. When combined with flood forecasting systems, staged labyrinth weirs offer enhanced operational control, ensuring safety during extreme hydrologic events.

Methods:

Physical models are used to study the performance of labyrinth weirs under various flow conditions. In this research, labyrinth weirs were analyzed with different crest lowering configurations, including the vertex of the weir (VW), left oblique wall (LW), and left and right straight crests (LRW) near the channel walls. Additionally, different angles, heights, and the presence or absence of a nappe breaker were considered. The experiments were conducted in a metal and glass flume with a rectangular cross section. The flume had a width of 0.25 m, a depth of 0.5 m, and a length of 10 m. In each test, the upstream subcritical depth was measured using point gauges with an accuracy of 0.1 mm. The total head upstream of the weir was measured at a horizontal distance of three to four times the maximum water head at the crest of the weir. Also, the discharge was measured using a triangular sharp-crested weir placed at the end of the flume. The discharge-head relationship ($Q-h$) for the triangular weir was found in the experiments. The trapezoidal labyrinth weir models were installed three meters from the beginning of the flume. In this study, experimental tests were conducted on trapezoidal labyrinth weirs with one cycle, testing three sidewall angles (15° , 18° , and 23°) and three weir heights (14 cm, 16 cm, and 18 cm), in a rectangular channel. The discharge coefficient of the weirs depends on several factors, including: the hydraulic properties of the passing flow, the weir crest, and the geometric properties of the weir. Based on the effective parameters sidewall angle (α), weir height (p), and hydraulic head (H_t), the discharge coefficient was evaluated.

Results:

The results showed that for trapezoidal labyrinth weirs without a nappe breaker, the discharge coefficient (C_d) was higher than in the presence of a nappe breaker. In the H_t/p range of 0.1 to 0.5, under conditions without a nappe breaker, flow interference was reduced as the flow adheres more closely to the weir, leading to an increase in discharge. Additionally, the discharge coefficient (C_d) decreased as the hydraulic head ratio (H_t/p) increased. As flow discharge increases, the mixing of flow over the weir also increases, which contributes to a decrease in the discharge coefficient. There is an inverse relationship between the discharge coefficient and the weir length. As the crest angle increases, the weir length decreases, resulting in a higher discharge

¹ Msc Alumnus, Department Water Engineering, University of Tabriz

^{2*} Associate Professors, Department Water Engineering, University of Tabriz

*- Corresponding author: a-abbaspour@tabrizu.ac.ir

Received: 2024/12/08

Accepted: 2025/01/12

coefficient. Furthermore, for a given crest angle, the discharge coefficient slightly decreased as the weir height (p) increased. For instance, for a weir with a height of 12 cm, the discharge coefficient was slightly higher than for the 14 cm and 16 cm weirs. The study also revealed that for different conditions in staged weirs, the discharge coefficient for the left oblique wall staged crest (LW) was higher than those for the left and right straight crests (LRW) and the vertex of the weir (VW). At high values of H_t/p , the discharge coefficient decreased due to the collision of the falling jets. Additionally, by increasing the sidewall angle, the decrease of C_d with H_t/P became more significant. Optimizing the crest angle and sidewall angle can lead to a more efficient design by balancing the trade-offs between weir length and flow aeration. The discharge coefficient for trapezoidal labyrinth weirs was the highest for weirs with a sidewall angle of 23° , followed by those with a sidewall angle of 18° , which showed approximately 4.5% and 3% higher performance, respectively, compared with weirs with a sidewall angle of 15° .

Conclusion:

These findings highlight the significant impact of geometric parameters on the hydraulic performance of trapezoidal labyrinth weirs. The presence or absence of nappe breakers influences the flow pattern and energy distribution, affecting both discharge capacity and stability. A comparison of the results indicated that for a staged trapezoidal weir with a ΔP of 3 cm, the discharge coefficient for the left oblique wall staged crest (LW) was, on average, 30% higher, for the left and right straight crests (LRW) was about 20% higher, and for the vertex of the weir (VW) was 10% higher, compared to normal labyrinth weirs.

Keywords: Angle of weir wall, Discharge Capacity, Staged Weirs, Trapezoidal Labyrinth weir.

Citation: Vahabnejhad, H., Abbaspour, A. and Parsa, J., 2025. Experimental studying staged walls of a Duckbill weirs on the flow discharge coefficient. *Iranian Water Research Journal*. 57(2). pp. 1-12. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15038.2648>



بررسی آزمایشگاهی پایین افتادگی دیواره‌های سرریز نوک اردکی بر ضریب دبی جریان

حسام وهاب نژاد^۱، اکرم عباسپور^{۲*}، جواد پارسا^۳

چکیده

سرریزهای زیگزاگی با ارتفاع سرریز چندگانه (سرریز با پایین افتادگی تاج) برای تخلیه مطمئن جریان در شرایط عادی و سیلاب استفاده می‌شوند. مدل‌های فیزیکی برای بررسی عملکرد سرریزهای زیگزاگی در شرایط مختلف جریان مناسب می‌باشند. در این تحقیق سرریز نوک اردکی در شرایط با و بدون حضور تیغه شکافنده جریان و پایین افتادگی‌های تاج در قسمت‌های مختلف شامل نوک سرریز (VW)، دیوار مایل سمت چپ (LW) و قسمت‌های کوچک کناره‌های دیواره کانال (LRW) با زوایا و ارتفاع‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که در سرریز نوک اردکی در حالت بدون تیغه شکافنده جریان ضریب دبی نسبت به سرریز با تیغه شکافنده بیشتر است. در بازه H_t/p مورد بررسی بین ۰/۱ تا ۰/۵ در شرایط بدون تیغه شکافنده با چسبیدن تیغه جریان به سرریز، تداخل جریان کاهش یافته و در نتیجه جریان عبوری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش H_t/p ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش دبی و افزایش اختلاط جریان عبوری روی سرریز، مقدار ضریب دبی سرریز کاهش می‌یابد. ضریب دبی جریان نسبت معکوسی با طول سرریز دارد؛ به طوری که با افزایش زاویه سرریز طول سرریز کاهش و ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که در یک زاویه مشخص با افزایش ارتفاع سرریز ضریب دبی جریان به مقدار کمی کاهش می‌یابد. با بررسی ارتفاع سرریز می‌توان نتیجه گرفت که در سرریز با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر ضریب دبی نسبت به دو ارتفاع دیگر، ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متری اندکی بیشتر است. همچنین برای شرایط مختلف پایین افتادگی‌های تاج سرریز، در حالت پایین افتادگی دیواره مایل سمت چپ (LW) ضریب دبی نسبت به دو حالت دیگر بیشتر است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که ضریب دبی برای سرریز با پایین افتادگی دیواره مایل سمت چپ (LW) به طور متوسط ۳۰ درصد و برای سرریز با پایین افتادگی چپ و راست (LRW) در حدود ۲۰ درصد و در سرریز با پایین افتادگی تاج نوک (VW)، ۱۰ درصد نسبت به سرریز زیگزاگی معمولی افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: پایین افتادگی تاج، زاویه دیواره سرریز، سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای، ضریب تخلیه جریان.

ارجاع: وهاب نژاد، ح.، عباسپور، ا.، پارسا، ج.، ۱۴۰۴. بررسی آزمایشگاهی پایین افتادگی دیواره‌های سرریز نوک اردکی بر ضریب دبی جریان، مجله پژوهش آب ایران، ۵۷(۲)، صص ۱-۱۲. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15038.2648>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول: a-abbaspour@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

مقدمه

سدها نشان‌دهنده یک جزء زیر ساخت حیاتی در سراسر جهان هستند. آن‌ها تامین آب شهری، کشاورزی و صنعتی را فراهم می‌کنند. هنگامی که ارتفاع سطح آب دریاچه پشت سد به حداکثر مقدار خود برسد و در همین زمان سیل دیگری اتفاق بیفتد، بایستی وسیله‌ای در سد تعبیه شده باشد که بتواند این آب اضافی را از سد خارج کند. سازه هیدرولیکی را که بدین منظور استفاده می‌کنند سرریز می‌نامند. کنترل سیلاب، برق آبی، ناوبری، مقاوم‌سازی زیرساخت‌های قدیمی، تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی اوج جریان برای حوادث شدید سیل اغلب باعث نیاز به ارتقاء یا بازسازی سرریز می‌شود (Bos, 1989).

ایمنی سدها به طور اهم ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با کفایت سرریز دارد. طبق گزارش‌های منتشر شده کنفرانس بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD) حدود یک سوم شکست سدها از عدم کفایت سرریز نشأت می‌گیرد. بنابراین مطالعه روی راهکارهای افزایش ظرفیت سرریز از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به حساس بودن، کارکرد سرریز باید سازه‌ای قوی، مطمئن و با راندمان بالا انتخاب شود که در هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد. به طور کلی انتخاب سیل مبنای طرح سرریزهای سدهای مخزنی و معیارهای طراحی آنها یکی از مسائل مهم سدسازی به شمار می‌آید و نقش عمده‌ای در کاهش خطر سیل‌گرفتگی شهرها یا اراضی پایین دست سدهای مخزنی دارد. همچنین یکی از عوامل مهم که پایداری و سازه سرریز را تهدید می‌کند و ممکن است باعث آسیب جبران ناپذیر به سرریزها شود پدیده نام آشنای کاویتاسیون است (Crookston, 2010). درک صحیح از عملکرد سرریزها می‌تواند تا حد زیادی هزینه ساخت را کاهش و مشکلات سیل‌گرفتگی را مرتفع نماید. جایگزین نمودن سرریزهای غیرخطی (اغلب سرریزهای زیگزاگی) به جای سرریزهای خطی برای افزایش ظرفیت دبی سرریز بدون افزایش عرض کانال سرریز موجود راهکاری مرسوم است. هندسه سرریز زیگزاگی به طور قابل توجهی می‌تواند پهنای طول تاج را در عرض کانال افزایش دهد. نسبت به یک سرریز خطی طول تاج اضافی می‌تواند ظرفیت دبی را تا ۳ تا ۴ برابر افزایش دهد (Dabbling et al., 2013). سرریز کنگره‌ای از سازه‌های هیدرولیکی است که برای تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها استفاده می‌شود. محور تاج این نوع سرریز، غیرمستقیم است و در نمای سطح افقی، سرریز از

دیواره‌های چسبیده به هم تشکیل شده و هندسه‌ای مثلثی، مستطیلی، دوزنقه‌ای و قوسی با تناوب در عرض جریان، تکرار می‌شود. فرضیه اصلی در طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز است. در شکل ۱ پلان یک سرریز زیگزاگی با دو سیکل نشان داده شده است.

سرریزهای زیگزاگی سرریزهایی هستند که از لبه مستقیم و صاف برخوردار نبوده و در پلان حالت خطی شکسته دارند. عملکرد این سرریزها در سدها علاوه بر افزایش دبی خروجی، ذخیره بیشتر آب با افزایش ارتفاع تاج سرریز است. این نوع از سرریزها به عنوان سرریز اصلی باعث افزایش ضریب دبی می‌شوند. متغیرهایی چون ارتفاع تاج، زاویه، تعداد سیکل‌ها، ضخامت و شکل تاج در این نوع از سرریزها اهمیت دارد. این سرریزها مزایای زیادی در مقایسه با سرریزهای لبه تیز معمولی دارند. از مزایای سرریزهای زیگزاگی می‌توان به بالابودن ظرفیت سرریز، هوادهی آسان جریان و پایین بودن نوسانات سطح آب در آستانه عبور جریان از روی سرریز اشاره کرد. طول این گونه سرریزها در حالت سرریز اصلی در اکثر مواقع ۲ تا ۵ برابر عرض آنها است. با توجه به کم بودن ارتفاع آب بالادست و سرعت در سرریزهای زیگزاگی، فشار منفی کاهش یافته و در نتیجه پدیده کاویتاسیون نیز کاهش می‌یابد. سرریز زیگزاگی یک سرریز غیر خطی است که برای افزایش طول سرریز در یک کانال خاص به کار می‌رود. این سرریز نسبت به سرریزهای معمولی در شرایط عرضی یکسان، دبی بیشتری را در بارهای آبی نسبتاً کوتاه انتقال می‌دهد (Taghizadeh, 2010).

برای اندازه‌گیری نسبت دبی تخلیه جریان در مدل‌های فیزیکی آزمایش شده از معادله (۱) استفاده می‌شود (Crookston, 2010).

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

که در این معادله، Q دبی جریان، C_d ضریبی است که با توجه به دبی جریان، هندسه، شکل تاج و شرایط جریان متفاوت است، L طول سرریز، g ثابت شتاب گرانشی و H_t بار آبی کل بالادست نسبت به ارتفاع تاج سرریز (جریان آزاد) است.

Willmore (2004) سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای را برای زوایای ۷ تا ۳۵ درجه مطالعه کرد. ایشان همچنین به بررسی شکل تاج اوجی و نیم‌دایره‌ای برای سرریز زیگزاگی با زاویه ۷ و ۸ درجه پرداخت. نتایج نشان داد که راندمان سرریز زیگزاگی با شکل تاج اوجی نیم دایره‌ای و ربع دایره‌ای به ترتیب ۵ و ۷ درصد کاهش می‌یابد. Ghodsian (2009) با استفاده از تحلیل

افزایش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش زاویه دیواره جانبی و ارتفاع سرریز منجر به کاهش انرژی می‌شود.

Rustiati et al. (2023) تاثیر تعداد سیکل‌های سرریز زیگزاگی را روی مشخصات هیدرولیکی جریان بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که دبی عبوری جریان در حالت تک سیکل بیشتر از حالت دو سیکل است. (Anees and Al-Ameri, (2022) تاثیر ارتفاع، زاویه دیواره و دبی جریان را در سرریزهای زیگزاگی بررسی کردند. در این تحقیق به بررسی روابط تجربی ارائه شده توسط محققین دیگر پرداخته شده است. بررسی‌ها نشان داد طراحی مناسب سرریزهای زیگزاگی بیشتر به معادلات تجربی حاصل از کارهای آزمایشگاهی بستگی دارد؛ بنابراین موضوعی مهم برای تحقیقات عددی و تجربی آینده است.

در تحقیق حاضر سرریز نوک اردکی با سه زاویه مختلف برای برآورد دبی تخلیه بررسی شده است. همچنین تاثیر پارامترهای مختلف هندسی و هیدرولیکی از قبیل زاویه، تیغه شکافنده جریان، ارتفاع، طول تاج و تاثیر پایین افتادگی در قسمت‌های مختلف سرریز، روی ضریب دبی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر ضرایب دبی (Cd) سرریز نوک اردکی برای شرایط مختلف پایین افتادگی تاج سرریز با سرریز نوک اردکی معمولی مقایسه شد.

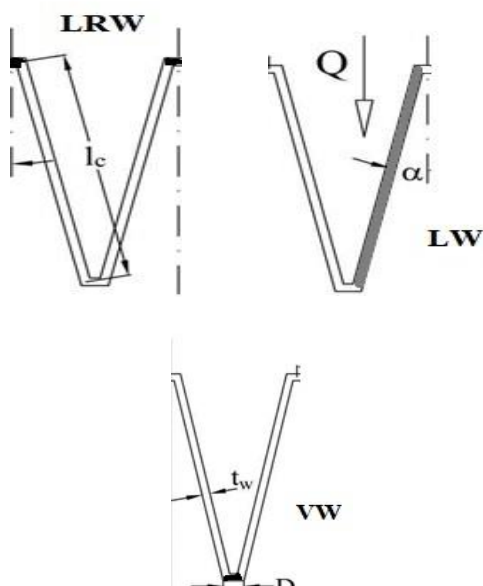
مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در یک فلوم مستطیلی فلزی- شیشه‌ای به طول ۱۰، عرض ۰/۲۵ و ارتفاع ۰/۵ متر با شیب کف ثابت ۰/۰۰۲ انجام شد. دیواره‌های فلوم در فاصله ۲ متری از مخزن تامین فشار، شفاف و از جنس شیشه است. این فلوم روی یک شاسی به ارتفاع ۱/۱ متر از سطح زمین قرار دارد. اندازه‌گیری دبی جریان از طریق یک سرریز لبه تیز مثلثی قرار گرفته در انتهای فلوم که واسنجی گردیده و دارای رابطه دبی-اشل (Q-h) مشخصی است، میسر شد. روش آزمایش به این صورت است که پس از برقراری جریان دائمی، عمق آب در بالادست سرریز با استفاده از سطح سنج، اندازه‌گیری و دبی جریان از رابطه دبی-اشل تعیین شد. آزمایش‌ها در دو حالت با و بدون تیغه شکافنده جریان انجام شد. همچنین سرریز نوک اردکی با پایین افتادگی تاج در سه حالت پایین افتادگی تاج نوک (VW)، پایین افتادگی سمت چپ (LW) و پایین افتادگی توام چپ و راست (LRW) مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۱).

ابعادی فرمولی را برای مدل سازی جریان روی یک سرریز زیگزاگی مثلثی پیشنهاد داد. (Carollo et al. (2012) در مطالعه‌ای قابلیت اطمینان معادله دبی جریان پیشنهاد شده با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مدل‌های هیدرولیکی سرریز را بررسی نمود. آن‌ها برای نوعی از سرریز زیگزاگی مثلثی با دو چرخه سیکل رابطه نسبت بزرگنمایی $\frac{L}{W}$ با زاویه جانبی (α) را تعیین کردند و نشان دادند که $\frac{L}{W} = \frac{1}{\sin(\alpha)}$ است. در مطالعه دیگری (Anderson and Tullis (2012) به طور جامع رفتار هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی مستطیل شکل و سرریزهای پیانویی (PKW) را ارزیابی کردند. در این تحقیق اثر ویژگی‌های هندسی روی کارایی دبی تخلیه سرریزهای کلید پیانویی بررسی شد. این ویژگی‌ها شامل گرد کردن دیواره‌های رأس سرریز، تغییر نوع تاج، تغییر نسبت کلیدهای ورودی و خروجی و بالا بردن خلأ با استفاده از یک دیواره بود. سرریزهای زیگزاگی با ارتفاع‌های تاج گوناگون سرریزهای زیگزاگی طبقاتی یا پله‌ای نامیده می‌شوند و برای طراحی سرریز به منظور محدود کردن جریان پایه به سمت یک مقطع تاج و یا تأمین دبی هیدروگراف لازم استفاده می‌شوند. (Anderson et al. (2012) سرریزهای زیگزاگی با ارتفاع تاج چندگانه (سرریز-های زیگزاگی پله‌ای) و برای سرریز زیگزاگی مشخصات جریان برای وضعیت‌های مختلف را بررسی کردند. تاثیر پایین‌ترین ارتفاع، عمق و دبی جریان مطالعه شده و رابطه بار-دبی از آزمایش‌ها به دست آمد و با داده‌های تجربی سرریز زیگزاگی معمولی مقایسه شد.

(Anees et al. (2017) ضریب دبی را در سرریز زیگزاگی تک سیکل بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش بار آبی نسبتی ضریب دبی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. ضریب دبی برای زاویه دیواره ۶ درجه حداقل و به ازای زاویه ۲۰ درجه حداکثر است. (Abdullah Shlash et al. (2019) در تحقیقی ضریب دبی سرریز زیگزاگی را ارزیابی کردند. سرریز زیگزاگی با دو سیکل بوده و تاثیر نسبت طول سرریز به ارتفاع آن (W/P) و بار آبی نسبتی در ضریب دبی بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش نسبت طول سرریز به ارتفاع (W/P) ضریب دبی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش بار آبی ضریب دبی کاهش می‌یابد. (Ghaderi et al. (2020) اتلاف انرژی روی سرریزهای زیگزاگی را به صورت آزمایشگاهی و عددی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که نتایج شبیه سازی عددی و داده‌های تجربی مطابقت خوبی داشته و ضریب دبی با افزایش زاویه دیواره‌های سرریز

برای سرریز با زاویه ۱۸ درجه در حدود ۳ درصد در مقایسه با سرریز با زاویه ۱۵ درجه افزایش یافته است.



شکل ۱- مدل های سرریز نوک اردکی: الف) بدون تیغه شکافنده؛ ب) با تیغه شکافنده؛ ج) سرریزهای نوک اردکی با پایین افتادگی تاج نوک (VW)، پایین افتادگی چپ و راست (LRW) و پایین افتادگی دیواره مایل سمت چپ (LW)

در این تحقیق تاثیر پارامترهای بی بعد مهمی مانند ضریب دبی (C_d) ، بار آبی کل در بالادست به ارتفاع سرریز H_t/p ، زاویه رأس سرریز (α) و طول تاج L/w بررسی شد. در جدول ۱ شرایط آزمایشگاهی برای انجام آزمایش ها نشان داده شده است.

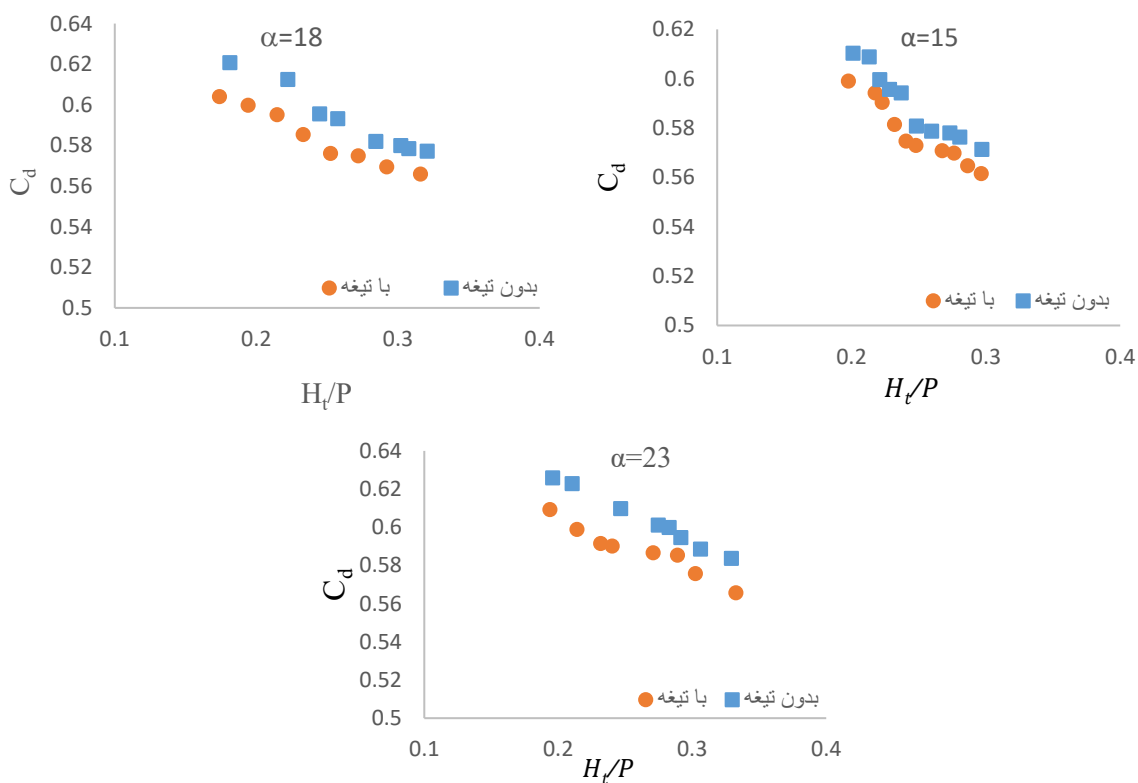
جدول ۱- شرایط آزمایشگاهی سرریزهای مورد مطالعه

پارامترهای مورد آزمایش	محدوده بررسی
زاویه تاج سرریز (α) (درجه)	۲۳-۱۸-۱۵
ارتفاع سرریز (سانتی متر) P	۱۶-۱۴-۱۲
طول سرریز (سانتی متر)	متغیر (وابسته به زاویه سرریز)
$L=2L_1+2A$	
دبی جریان (لیتر بر ثانیه) Q	۳۰-۰
تعداد سیکل	تک سیکل
مقدار پایین افتادگی تاج ΔP (سانتی متر)	۳
موقعیت تاج با شرایط پایین افتادگی	تاج نوک VW سمت چپ LW قسمت کوچک چپ و راست LRW

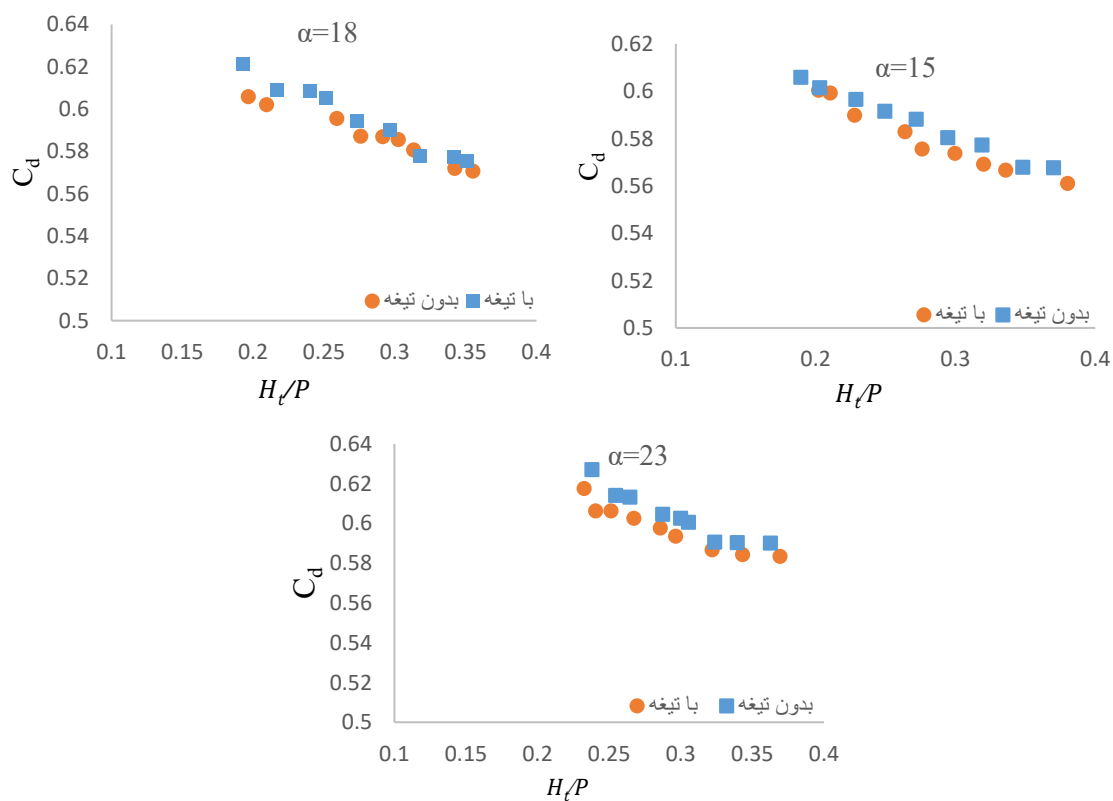
نتایج و بحث

بررسی تاثیر تیغه شکافنده روی ضریب دبی جریان

در شکل های ۲ تا ۴ تغییرات ضریب دبی جریان به ازای H_t/p در سرریز با ارتفاع های مختلف ۱۲، ۱۴ و ۱۶ سانتی متر و زوایای ۲۳، ۱۸ و ۱۵ درجه نشان داده شده است. با توجه به این شکل ها می توان استنباط کرد که ضریب دبی جریان در سرریزهای بدون تیغه شکافنده جریان بیشتر از ضریب دبی جریان در سرریزهای با تیغه شکافنده است. زیرا تیغه شکافنده با ایجاد مقاومت در برابر جریان موجب کاهش دبی عبوری از روی سرریز می شود. همچنین در این سرریزها با افزایش زاویه سرریز ضریب دبی جریان نیز افزایش یافته است. یعنی ضریب دبی سرریز با زاویه ۲۳ درجه بیشتر از ضریب دبی سرریز با زاویه ۱۸ و ۱۵ درجه است؛ زیرا هر چه زاویه دیواره سرریز بیشتر باشد طول سرریز (L) کاهش می یابد؛ بنابراین تلاطم و تداخل جریان عبوری روی دیواره ها کاهش یافته و ضریب دبی افزایش می یابد. علاوه بر این با افزایش دبی جریان و نسبت H_t/p تلاطم سطح آب افزایش می یابد و گرداب هایی در سطح آب و اطراف سرریز تشکیل می شوند که موجب کاهش ضریب دبی می گردد. با مقایسه نتایج می توان گفت که ضریب دبی برای سرریز با زاویه ۲۳ درجه به طور متوسط ۴/۵ درصد و

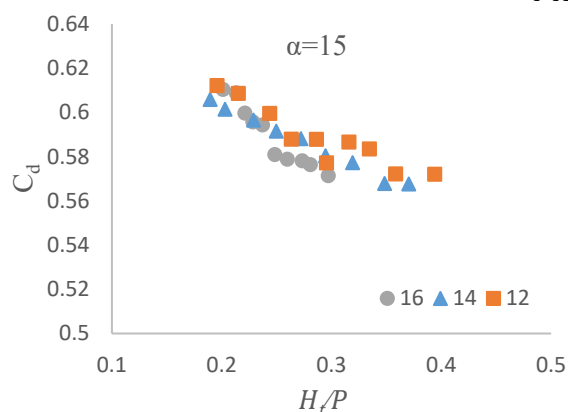


شکل ۲- مقایسه تغییرات ضریب دبی (C_d) به ازای H_t/p در شرایط با و بدون تیغه شکافنده و زوایای مختلف ($p=16\text{cm}$)

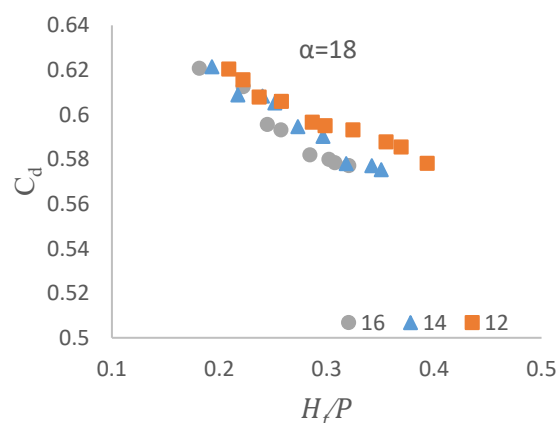


شکل ۳- مقایسه تغییرات ضریب دبی (C_d) به ازای H_t/p در شرایط با و بدون تیغه شکافنده و زوایای مختلف ($p=14\text{ cm}$)

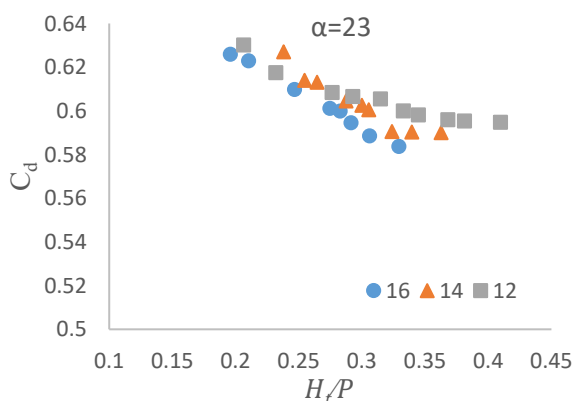
ضریب دبی کاهش می‌یابد. تداخل تیغه جریان از بالادست نوک سرریز شروع شده که منجر به تشکیل دنباله در پایین دست نوک سرریز می‌گردد. با بررسی ارتفاع سرریز می‌توان گفت که در سرریز با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر ضریب دبی نسبت به دو ارتفاع ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متری بیشتر است. این مساله ناشی از افزایش دبی و سرعت جریان از روی سرریز با افزایش بار هیدرولیکی پشت سرریز است.



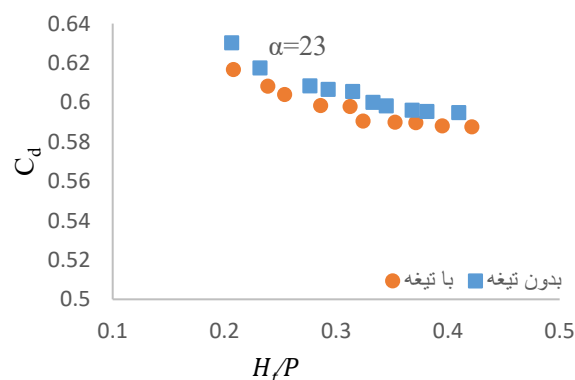
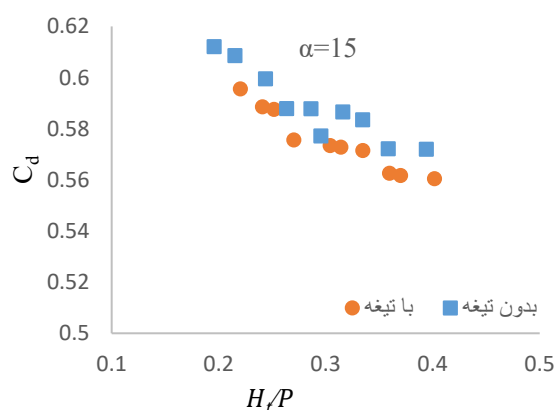
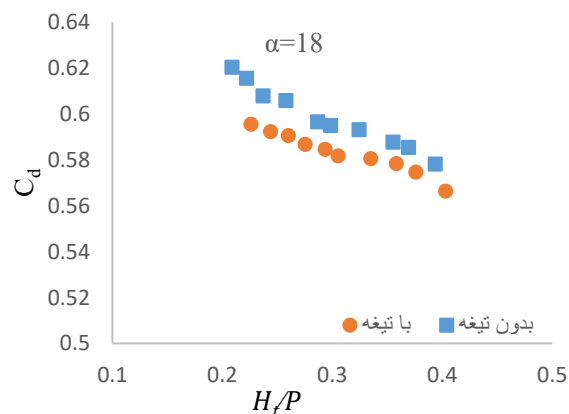
شکل ۵- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با ارتفاعهای مختلف ($\alpha=15$)



شکل ۶- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با ارتفاعهای مختلف ($\alpha=18$)



شکل ۷- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با ارتفاعهای مختلف ($\alpha=23$) تاثیر پایین

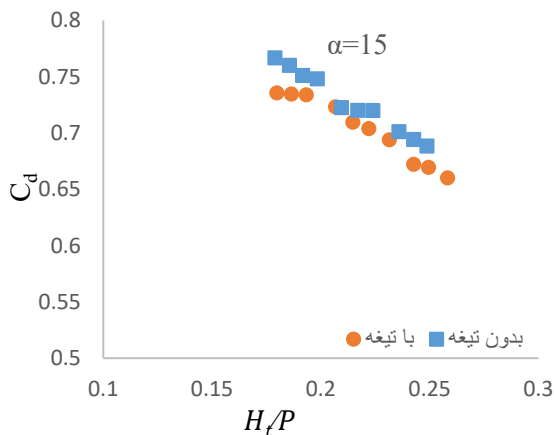


شکل ۴- مقایسه تغییرات ضریب دبی (C_d) به ازای H_t/p در شرایط با و بدون تیغه شکافنده جریان و زوایای مختلف ($p=12$ cm)

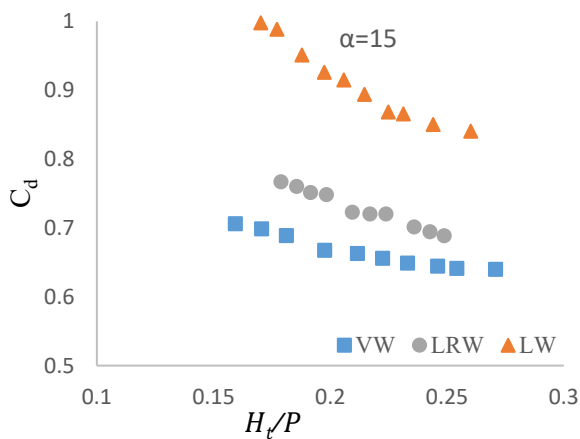
تاثیر ارتفاع سرریز روی ضریب دبی

در شکل‌های ۵ تا ۷ تغییرات ضریب دبی به ازای H_t/p در سرریزها با ارتفاعهای ۱۲، ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متر برای سه زاویه ۱۵ و ۱۸ و ۲۳ درجه نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که ضریب دبی جریان نسبت معکوسی با طول سرریز دارد و با افزایش زاویه، طول سرریز کاهش و ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. همچنین برای یک زاویه مشخص با افزایش ارتفاع سرریز مقدار دبی جریان و سرعت جریان عبوری از سرریز افزایش می‌یابد، در نتیجه تداخل جریان افزایش و

می‌توان استنباط کرد که ضریب دبی برای سرریز با پایین افتادگی سمت چپ (LW) در حدود ۳۰ درصد نسبت به سرریز با پایین افتادگی دیواره چپ و راست (LRW) و ۲۰ درصد نسبت به سرریز با پایین افتادگی تاج نوک (VW) و ۱۵ درصد در مقایسه با سرریز نوک اردکی معمولی (تاج با ارتفاع ثابت) افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش جریان عبوری در سرریز نوک اردکی با ارتفاع تاج متغیر (کاهش ارتفاع $\Delta P = 3\text{ cm}$ در یک یا دو دیواره سرریز) است.



شکل ۱۰- تغییرات ضریب دبی جریان به ازای H_t/P در شرایط با و بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با پایین افتادگی قسمت‌های کوچک سمت چپ و راست (LRW) سرریز $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$



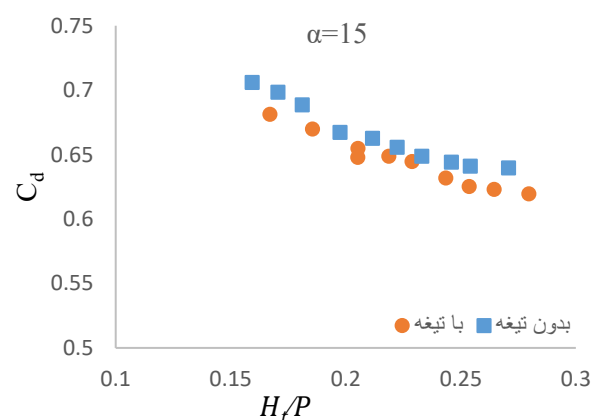
شکل ۱۱- مقایسه تغییرات ضریب دبی جریان سرریز بدون تیغه شکافنده و پایین افتادگی مختلف $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$

تأثیر زاویه دیواره سرریز (α) روی ضریب دبی

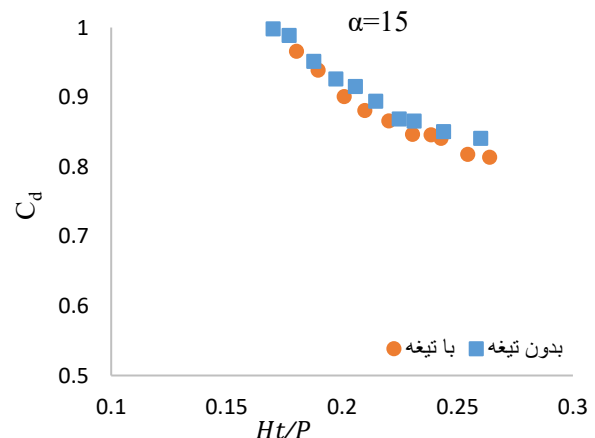
شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ تغییرات ضریب دبی به ازای H_t/P برای سرریزهایی با ارتفاع‌های مختلف برای سه زاویه دیواره ۱۵ و ۱۸ و ۲۳ درجه با $\Delta P = 3\text{ cm}$ نشان داده شده است. در این شکل‌ها ضریب دبی برای سه پایین افتادگی در قسمت‌های تاج

افتادگی تاج سرریز روی ضریب دبی

در شکل‌های ۸ تا ۱۰ تغییرات ضریب دبی (C_d) به ازای H_t/P در شرایط با و بدون تیغه شکافنده جریان، در سرریزهای با پایین افتادگی نوک تاج (VW)، پایین افتادگی سمت چپ (LW) و پایین افتادگی توام چپ و راست (LRW) برای سرریز با زاویه ۱۵ درجه و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که ضریب دبی جریان در سرریزهای بدون تیغه شکافنده جریان بیشتر از ضریب دبی جریان در سرریزهای با تیغه شکافنده است زیرا تیغه شکافنده موجب اختلاط جریان و افت انرژی جریان می‌شود.



شکل ۸- تغییرات ضریب دبی جریان به ازای H_t/P در شرایط با و بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با پایین افتادگی نوک (VW) $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$

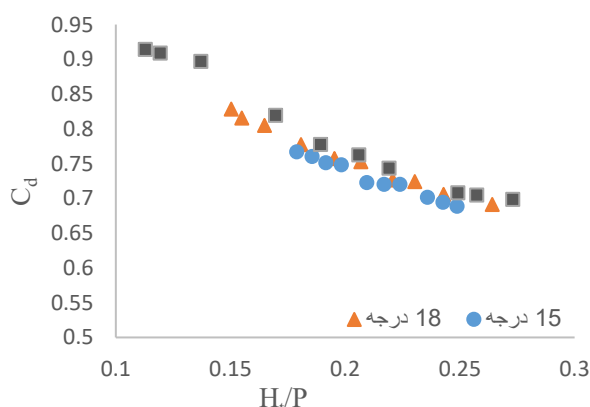


شکل ۹- تغییرات ضریب دبی جریان به ازای H_t/P در شرایط با و بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با پایین افتادگی سمت (LW) $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تغییرات ضریب دبی جریان سرریز بدون تیغه شکافنده و پایین افتادگی مختلف برای سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۱۵ درجه و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر مقایسه شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان استنباط کرد که در سرریزهای بدون تیغه شکافنده، با افزایش بار نسبی انرژی H_t/p ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش دبی و تلاطم جریان، اختلاط جریان بیشتر می‌شود. همچنین ضریب دبی جریان نسبت مستقیم با زاویه دیواره سرریز دارد؛ زیرا با افزایش زاویه، طول سرریز کاهش و ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. بنابراین برای هر سه حالت پایین افتادگی تاج، در سرریز با زاویه $\alpha = 23^\circ$ درجه، ضریب دبی نسبت به دو زاویه ۱۸ و ۱۵ درجه کمی بیشتر است.

نتایج این تحقیق با تحقیق Bilhan et al. (2016) روی سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای با سه سیکل مقایسه شده است. در تحقیق ایشان برای محدوده H_t/p از ۰/۱ تا ۰/۵، استفاده از تیغه شکافنده مقدار ضریب دبی جریان، را به طور متوسط به اندازه ۴ درصد کاهش داده است. در تحقیق حاضر نیز برای محدوده H_t/p از ۰/۱ تا ۰/۵ استفاده از تیغه شکافنده جریان ضریب دبی جریان را به طور متوسط به اندازه ۳/۵ درصد کاهش داده است.

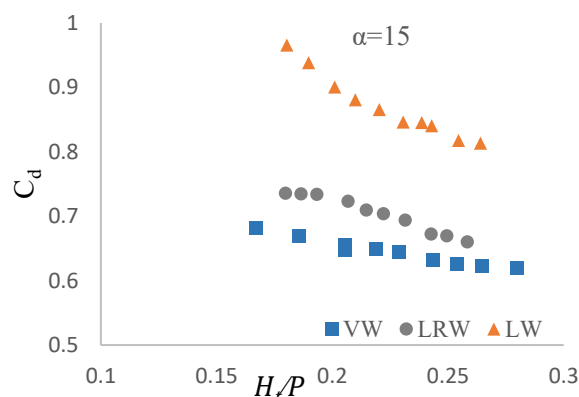


شکل ۱۵- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با زاویه دیواره مختلف و پایین افتادگی تاج (LRW $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$)

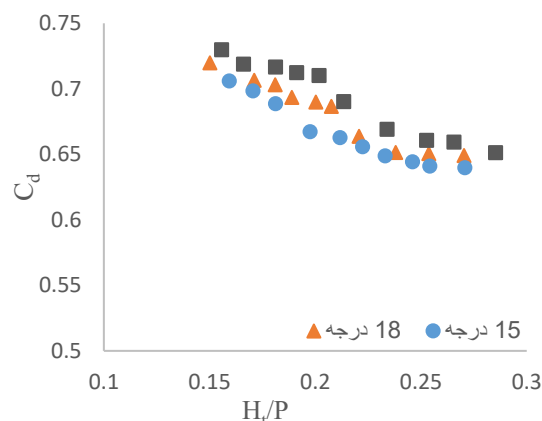
نتیجه‌گیری

- ضریب دبی سرریز زیگزاگی بدون تیغه شکافنده جریان نسبت به سرریز با تیغه شکافنده جریان بیشتر است، چون تیغه شکافنده با شکست پروفایل عرضی جریان باعث از بین رفتن هوای اضافی در سرریز می‌شود و فشار را در صورت وجود به فشار اتمسفر نزدیک می‌کند، اما با این وجود چون مانعی در مقابل جریان آب می‌شود موجب کاهش ضریب دبی می‌گردد. در این تحقیق در محدوده H_t/p ، ۰/۱ تا ۰/۵، تیغه‌های شکافنده جریان، مقدار ضریب دبی جریان را به طور متوسط به اندازه ۳/۵ درصد کاهش داد.

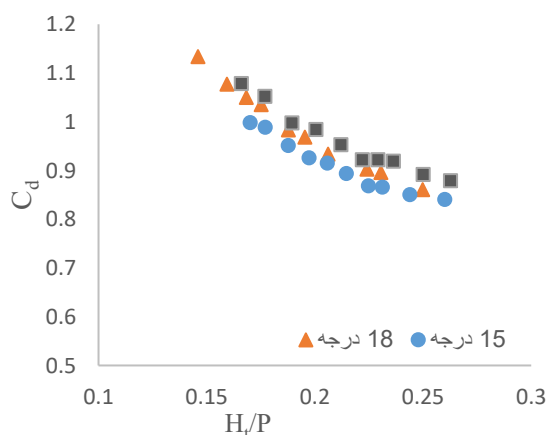
نوک (VW) و سمت چپ (LW) و قسمت‌های کوچک سمت چپ و راست (LRW) به دست آمده است.



شکل ۱۶- مقایسه تغییرات ضریب دبی جریان سرریز با تیغه شکافنده و پایین افتادگی مختلف $\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$



شکل ۱۷- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با زاویه دیواره مختلف و پایین افتادگی تاج VW ($\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$)



شکل ۱۸- مقایسه ضریب دبی جریان در شرایط بدون تیغه شکافنده جریان در سرریزها با زاویه دیواره مختلف و پایین افتادگی تاج LW ($\Delta P = 3\text{ cm}$ و $P = 16\text{ cm}$)

نویسنده سوم: بازبینی متن مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

منابع

1. Abdullah Shlash, M., Sami Mohammed, H. and Aal-khalaf, SK.H., 2019. Investigation and evaluation of discharge coefficient for the trapezoidal labyrinth weir, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 4th International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering (pp.1-9), Istanbul, Turkey.
2. Anees, A.K., Al-Ameri, R., Chua, L. and Das, S., 2017. Experimental study on the hydraulic performance of trapezoidal planform compound labyrinth weir. Proceedings of the First MoHESR and HCED Iraqi Scholars Conference in Australasia, pp. 51-57.
3. Anderson, R.M. and Tullis, B. P., 2012. Comparison of piano key and rectangular labyrinth weir hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering, 138(4), pp. 358-361. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000509](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000509)
4. Anees, A.K and Al-Ameri, R., 2022. A review of hydraulic performance and design methods of labyrinth weirs. Water Supply, 22 (11), pp. 8120-8138. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.378>
5. Bilhan, O., Emiroglu, M. and Miller, C. 2016. Experimental Investigation of Discharge Capacity of Labyrinth Weirs with and without Nappe Breakers. World Journal of Mechanics. 6(6), pp. 207-221. <https://doi.org/10.4236/wjm.2016.67017>.
6. Bos, M.G., 1989. Discharge Measurement Structures, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
7. Carollo, F.G., Ferro, V., and Pampalone, V., 2012. Experimental investigation of the outflow process over triangular labyrinth-weir. Irrigation Drainage Engineering, 138, pp.73-79. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000366](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000366)
8. Crookston, B.M., 2010. Labyrinth weirs. Ph.D. dissertation, Utah State University, Logan, UT.
9. Dabling, M.R, Tullis, B.P, Crookston, B.M., 2013. Staged labyrinth weir hydraulics. Journal Irrigation Drainage Engineering, 139(11), pp. 955-960. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000636](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000636)
10. Ghaderi, A., Daneshfaraz, R., Dasineh, M., and Di Francesco, S. 2020. Energy Dissipation and Hydraulics of Flow over Trapezoidal-Triangular Labyrinth Weirs. Water, 12(7), pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/w12071992>.
11. Ghodsian, M., 2009. Stage-discharge relationship for a triangular labyrinth spillway. Proc. Institute Civil

• ضریب دبی در سرریز نوک اردکی با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر به طور متوسط ۱/۵ درصد نسبت به دو ارتفاع دیگر (۱۴ و ۱۶ سانتی متر) بیشتر است که ناشی از افزایش تداخل و تلاطم جریان در سرریزها با ارتفاع بیشتر می‌باشد.

• با افزایش نسبت H_t/p ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد، که به دلیل افزایش تداخل جریان با افزایش بار هیدرولیکی است به عبارت دیگر برخورد جت‌های آب در هنگام سقوط از روی تاج سرریز بیشتر می‌گردد.

• ضریب دبی برای سرریز با پایین افتادگی تاج $\Delta P = 3cm$ برای حالت پایین افتادگی سمت چپ LW به طور متوسط ۳۰ درصد و برای سرریز با پایین افتادگی چپ و راست LRW در حدود ۲۰ درصد و سرریز با پایین افتادگی تاج نوک VW در حدود ۱۰ درصد نسبت به سرریز نوک اردکی معمولی افزایش یافته است.

• با مقایسه نتایج می‌توان گفت که ضریب دبی برای سرریز با زاویه ۲۳ درجه به طور متوسط ۴/۵ درصد و برای سرریز با زاویه ۱۸ درجه در حدود ۳ درصد در مقایسه با سرریز با زاویه ۱۵ درجه افزایش یافته است.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب پایان کارشناسی ارشد با حمایت دانشگاه تبریز انجام پذیرفته است.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منفعی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

نویسنده اول: جمع‌آوری و تحلیل اولیه داده‌ها یا انجام مراحل آزمایشگاهی

نویسنده دوم: تحلیل داده‌ها، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

- Engineering Water Management, 162(3), pp. 173–178. <https://doi.org/10.1680/wama.2009.00033>.
12. Rustiati, N.B., Ishak, M.G., Tanga, A., and Pali, Z.G., 2023. International Conference on Science in Engineering and Technology, Sustainable Environment and Architecture, Earth and Environmental Science, Volume 1157.
 13. Taghizadeh, H., 2010. Improving hydraulic performance of U-shaped spillways using numerical modeling, M.Sc. thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian).
 14. Willmore, C., 2004. Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. M.S. report, Utah State University, Logan, Utah.