

# Experimental Study on Effects of Changing the Geometrical Parameters on Improving the Hydraulic Efficiency of Labyrinth Weirs

Mehdi Kouhdaragh

Department of civil engineering, Islamic Azad University, Malekan branch, Malekan, Iran.

\* Mehdi\_k550@yahoo.com

Received: 18 September 2024

Accepted: 19 December 2024

Discussion: 22 December 2025



J. Hydraul.

Iranian Hydraulic Association

Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** The safety of dams is directly related to the sufficiency of weir capacity. Most of the failures of dams occur due to water passing over their crests, the most important factor of which is insufficient weir capacity. Non-linear weirs can increase the discharge coefficient for a certain width without increasing the water head compared to the traditional linear weirs (such as an Ogee weir). The hydraulics of labyrinth weirs has been studied for the first time by Gentling (1940). Dabbling et al. (2013) considered Labyrinth weirs with different crest height (i.e. different Stages). Majedi asl, et al. (2024) compared the performance of laboratory and meta-model methods to predict the discharge coefficient of labyrinth weirs. Due to the fact that in most of the previous studies, the geometric parameters have been examined separately, therefore, the purpose of this research is to analysis the simultaneous change of the geometric parameters such as the angle of the weir wall ( $\alpha$ ), the height of the weir (P), the shape of the apex, and the shape of the crest of the weir, the slope of the entrance openings and the change of the shape of the apex into a semi-circle are on the hydraulic performance of Labyrinth weirs.

**Methodology:** The experiments of this research were carried out in a channel with a length of 13 meters, a width of 1.2 meters and a depth of 0.8 meters with a free flow system. Weirs were installed at a distance of 5 meters from the upstream of the canal, and by establishing a steady flow, hydraulic parameters were measured. In order to check the hydraulic efficiency of Labyrinth weirs, 9 physical models have been built and a total of (196) tests have been performed, in which three wall angles ( $\alpha = 12, 20, \text{ and } 35$ ) degrees, two heights of the weirs (10 and 11.5 centimeters, including 15% increase) were studied. The number of cycles in all experiments is equal to four cycles, the width of the channel is  $W = 120$  cm, the width of each cycle is  $w = 30$  cm, the length and diameter of the apex (in the form of half circle) 2 cm and the presence or absence of slope in their entrance and exit openings (the slope of the openings 1:1.5) were considered.

**Results and Discussion:** The discharge coefficient of the Labyrinth weirs with the wall angle ( $\alpha=12^\circ$ ) is lower than the wall angle ( $\alpha=20^\circ$ ) and the discharge coefficient of this wall angle is also lower than the wall angle ( $\alpha=35^\circ$ ). The reason for this can be stated that by increasing the angle of the wall of the cycles, the angle of approach of the flow with the wall of the cycles becomes closer to the vertical state and these weirs act like linear weirs and as a result the flow rate coefficient becomes more. In the case of the Labyrinth weir with an angle of  $\alpha = 12^\circ$ , applying a slope to the inlet openings (1:1.5) increased the discharge coefficient by reducing the energy drop at the entrance. At a head ratio of  $Ht/p = 0.2$ , the

discharge coefficient improved by about 7.5%. However, as the head ratio increased, the benefit of sloping the inlet openings decreased. Modifying the upstream apex to a semi-circular shape had little effect, likely due to the short apex length ( $A = 2$  cm). On the other hand, increasing the weir height by 10% and reshaping the crest into a quarter-circle slightly improved the discharge coefficient.

For the Labyrinth weir with  $\alpha = 35^\circ$  (LW35), introducing a slope at the inlet openings (1:1.5) combined with a semi-circular apex produced a consistent increase in the discharge coefficient across all head ratios ( $Ht/p$ ), ranging from about 8–10%. Furthermore, raising the height by 10% and reshaping the crest into a quarter-circle yielded a significant increase in the discharge coefficient, particularly within the range of  $0.1 < Ht/p < 0.6$ .

**Conclusion:** This study investigated how geometric parameters—including wall angle ( $\alpha$ ), weir height ( $P$ ), apex shape, crest form, and inlet slope—affect the hydraulic performance of Labyrinth weirs. Results indicate that reducing the wall angle improves efficiency, primarily because a smaller angle increases the effective weir length. Since discharge capacity is directly related to crest length, this extension enhances flow efficiency. In short, the effect of increasing crest length outweighs changes in the discharge coefficient, leading to improved overall performance.

**Keywords:** Labyrinth weirs, Angle of the weir wall, Shape of the crest, Shape of the apex, Cycle efficiency

# بررسی آزمایشگاهی تاثیر تغییر پارامترهای هندسی بر بهبود کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای

مهدي كوهدرق

گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملکان، ملکان، ایران.

\* Mehdi\_k550@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، نقد و بررسی: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱ و ب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** دبی جریان در سرریزها به طور مستقیم با طول تاج سرریز متناسب است، در صورتی که عرض کانال یا مخزنی که سرریز بر روی آن اجرا می‌شود محدود باشد، یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت، افزایش طول تاج سرریز با زیگزاگ کردن سرریز در پلان می‌باشد. در این تحقیق تعداد ۱۹۶ آزمایش بر روی ۹ مدل فیزیکی با تغییر پارامترهای هندسی از جمله زاویه دیواره سرریز ( $\alpha$ )، ارتفاع سرریز ( $P$ )، شکل دماغه‌ها، فرم تاج سرریز و شیب دهانه‌های ورودی جهت بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای انجام گردید. ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با زاویه دیواره ( $\alpha=12^\circ$ ) کمتر از زوایای دیگر ( $20^\circ$  و  $35^\circ$ ) بدست آمده است. علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش زاویه دیواره سیکل‌ها، زاویه نزدیک شدن جریان با دیواره سیکل‌ها به حالت عمودی نزدیک‌تر شده و این سرریزها شبیه سرریزهای خطی عمل می‌کنند و در نتیجه ضریب دبی جریان بیشتر می‌شود. شیب‌دار کردن دهانه‌های ورودی بدلیل کاهش افت جریان ورودی به سرریز و همچنین افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع سرریز و تغییر فرم تاج سرریز به فرم ربع دایره‌ای، ضریب دبی را افزایش داده ولی با نیم‌دایره‌ای کردن دماغه‌های بالادست تاثیر چندانی در ضریب دبی مشاهده نگردید. کارایی سیکل سرریزهای کنگره‌ای با افزایش زاویه دیواره‌ها کاهش می‌یابد بطوریکه در  $H/p=0/2$  کارایی سیکل سرریزهای کنگره‌ای با زوایای دیواره ۲۰، ۳۵ و ۱۲ درجه به ترتیب برابر ۲، ۱ و ۳ بدست آمده است.

**کلیدواژگان:** سرریز کنگره‌ای، زاویه دیواره سرریز، فرم تاج سرریز، شکل دماغه، کارایی سیکل.

## ۱- مقدمه

مهم‌ترین عامل آن کافی نبودن ظرفیت سرریز است. عملکرد ایمن سرریزها، در شرایط غیرعادی، عامل مهمی در ایمنی سدهاست. در نتیجه با توجه به حساس بودن کارکرد، سرریز باید سازه‌ای قوی، مطمئن و با کارایی بالا انتخاب شود که در هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد. به‌طور کلی انتخاب سیل مبنای طرح سرریزهای سدهای مخزنی و معیارهای طراحی آنها از جمله مسئله‌های مهم سدسازی به‌شمار می‌آید و نقش عمده‌ای در کاهش خطر سیل گرفتگی شهرها یا اراضی بالادست سدهای مخزنی دارد. متأسفانه به دلیل نبود معیارهای فنی و تجربه‌های مناسب در زمینه مدیریت سیلاب گاهی شاهد انتخاب نادرست نوع سرریز سدهای مخزنی هستیم. سرریزها باید در همه شرایط آماده بهره‌برداری بوده و قادر

از جمله سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و آبراهه‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند. سرریزها سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای اندازه‌گیری سرعت جریان، مدیریت و مهار سیل، فراهم کردن ذخیره آب، انحراف جریان و تغییر رژیم جریان در آبراهه یا رودخانه به کار برده می‌شوند. همچنین برای عبور آب‌های اضافی از سراب به پایاب سدها از سرریز استفاده می‌شود. سرریز یکی از کلیدی‌ترین اعضای سد به‌شمار می‌رود که شکست بسیاری از سدها به کافی نبودن ظرفیت سرریزشان نسبت داده شده است. ایمنی سدها به‌طور مهم ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با کفایت ظرفیت سرریز دارد. بیشتر شکست سدها در اثر عبور آب از روی تاج آنها رخ می‌دهد که

بررسی‌های جامع‌تری را انجام دادند. مطالعاتی تجربی نیز توسط Maghalas and Lax and Henchileef (1985)، Tolis et al. (1995) و Lorna (1994) انجام شده است. Maghalas and Lorna (2002) در ادامه کار (1989) برای سرریزهای کنگره‌ای در آبراهه با دیواره‌های همگرا را بررسی کردند. (2007) Tolis et al. یک رابطه بی‌بعد برای هد استغراق و تخلیه (استغراق پایاب) ارائه کردند که Lopez et al. (2009) آن را باز بینی کردند. Karkosten (2010) شرایط هوادهی تیغه‌ها را بررسی کردند. Amir Oghli et al. (2010) پژوهش‌هایی در مورد ظرفیت تخلیه یک سرریز کنگره‌ای یک چرخه‌ای که به عنوان یک سرریز جانبی در یک آبراهه مستقیم عمل می‌کند، بررسی کردند. (2013) Dablinh et al. پژوهش‌هایی را در مورد سرریزهای کنگره‌ای با ارتفاع تاج متفاوت (Stage) را بررسی کردند. Bizhankhah and Kochakzadeh (2017) رابطه ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی جریان آزاد و مستغرق را یکسان‌سازی کردند. (2017) Hakim رفتار هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای لبه تیز با حوضچه پایین‌دست را بررسی کردند. (2018) Roshangar et al. ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای و کنگره‌ای قوسی را با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بررسی کردند.

(2007) Yasi and Mohamadi در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند که شکل قوسی (دماغه سرریز) منجر به افزایش کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای می‌شود. (2009) Azhdari et al. از قابلیت سامانه نتیجه‌گیری فازی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن هندسه سرریز کنگره‌ای مثلثی (مطالعه موردی سد Hyrum در ایالات یوتای آمریکا) و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب استفاده کردند. (2013) Nezami et al. در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند که ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای دوزنقه‌ای در مقایسه با سرریزهای جانبی معمولاً حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش داشته است. (2013) Azhdari et al. در مورد بهینه‌یابی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی سد Ute در ایالات متحده آمریکا) پرداختند. همچنین

به تخلیه سیل مبنای طرح باشند تا در هنگام رخداد سیل شاهد تلفات جانی و زیان‌های مالی بیش از حد انتظار نباشیم. سرریزهای غیرخطی نسبت به سرریزهای خطی سنتی (مانند سرریز با تاج اوجی) می‌تواند ضریب دبی را برای یک عرض مشخص و بدون افزایش بار آبی، افزایش دهد. تفاوت سرریزهای خطی و غیرخطی در شکل و اجرای دیواره‌های آنها در پلان می‌باشند. به طور کلی سرریزهای غیرخطی شامل سرریزهای کنگره‌ای و کلید پیانویی می‌باشند که در حال حاضر استفاده آنها در سراسر جهان روبه افزایش است. معیار اصلی در طرح زیگزاگی سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است. به ویژه برای سرریزهای قدیمی که درست طراحی نشده‌اند و نیاز به سرریز جایگزین شونده دارند به کار می‌روند. برای سرریزهای جدیدی که امروزه استفاده می‌شود بایستی تحقیقات بیشتری برای بهبود اطلاعات آن انجام گیرد. الگوی سه بعدی جریان و نامحدود بودن شمار فراسنجه‌های هندسی آن، دشواری درک کامل سرریزهای کنگره‌ای را برای چگونگی عملکرد آنها افزایش می‌دهد. هیدرولیک سرریزهای کنگره‌ای برای نخستین بار توسط (1940) Gentilini بررسی شده است (Kristensin, 2012). سرریزهای غیرخطی نسبت به سرریزهای خطی می‌تواند ظرفیت تخلیه را برای یک عرض مشخص و بدون افزایش بار آبی، افزایش دهد. در این سرریزها به دلیل افزایش طول تاج سرریز، دبی سه تا چهار برابر افزایش خواهد یافت (Tolis at al., 1995). به عنوان نمونه این سرریزها، می‌توان به سرریز کنگره‌ای آون (Avon) در کشور استرالیا و سرریز کلید پیانویی گلوورز (Goulours) در کشور فرانسه اشاره کرد. بررسی و ارزیابی در زمینه سرریزهای کنگره‌ای به وسیله تیلور در سال 1968 انجام شد (Taylor, 1968). (1970) Hey and Taylor روشی برای محاسبه دبی و طراحی این نوع سرریزها ارائه کردند. در ادامه بررسی‌های آنان، روش دیگری توسط (1971) Darvas برای طراحی این سرریزها ارائه شد. پس از سال 1980 مؤسسه‌های تحقیقاتی و فنی دیگر مانند دانشگاه جورجیا، اداره عمران ایالات متحده (USBR) و مرکز تحقیقات آب دانشگاه یوتا

عرض ۱/۲ متر و عمق ۰/۸ متر با سامانه جریان آزاد انجام گرفت. فلوم دارای دیواره‌های از جنس پلاکسی گلاس و کف فلزی (گالوانیزه) می‌باشد که برای تامین دبی از پمپ با قابلیت تغییر دبی (۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه) استفاده شد. فلوم در بالادست به یک مخزن آرام کننده جریان مجهز بوده و برای آرام کردن آشفتگی جریان از دو صفحه توری فلزی و در پایین دست آن از سفال‌های سوراخدار و در ادامه از یک صفحه شناور بر روی سطح آب (برای کاهش آشفتگی سطح آب) استفاده شد. جریان آب پس از عبور از طول فلوم به درون مخزنی در پایین دست ریخته شده و توسط پمپ این سیکل چرخشی تکرار شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان در آبراه از دبی سنج فراصوتی نصب شده بر روی لوله مکش پمپ استفاده شد. برای اندازه‌گیری عمق آب از عمق‌سنج با دقت (mm ۰/۱) استفاده شد که این عمق سنج قادر بود در طول و عرض آبراه حرکت کرده و ارتفاع تاج سرریز و عمق آب در کل آبراه را اندازه‌گیری کند. شیب فلوم مورد آزمایش با استفاده از جک قابل تغییر بوده که در این تحقیق شیب فلوم برای همه‌ی آزمایش‌ها در صفر درجه (افقی) ثابت شد. همه مدل‌ها بر روی یک صفحه افقی مسطح (Platform) به ارتفاع ۲۲ سانتی‌متری نصب شده و یک صفحه شیب دار (Ramp)، کف فلوم را به صفحه افقی مسطح متصل کرده تا خطوط جریان به طور موازی از کف آبراه به صفحه افقی جریان یابد. بر مبنای یافته‌های ویلمور (2004) که اثرگذاری‌های صفحه شیب‌دار بالادست سرریزهای کنگره‌ای را مورد آزمون قرار داده است، نصب و هندسه این صفحه شیب‌دار تاثیری بر روی کارایی هیدرولیکی مدل‌های فیزیکی (نسبت به حالت نزدیک شدن افقی جریان) ندارد. برای هر دبی مشخص برای اطمینان از جریان پایدار در فلوم، اندازه‌گیری فراسنجه‌های هیدرولیکی پس از ده دقیقه انجام می‌گرفت. شمای کلی از امکانات فلوم آزمایشگاهی در شکل (۱) آورده شده است. برای محاسبه ضریب جریان (Cd) در سرریزهای کنگره‌ای از معادله عمومی جریان روی سرریزها مطابق رابطه زیر استفاده شده است.

(Azhdari et al. (2013) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند که با افزایش طول دماغه، به‌خاطر کاهش تداخل جریان ریزشی، ضریب آبگذری جریان افزایش یافته است که این افزایش در زوایای کوچک به علت کاهش چشم‌گیر در تداخل لایه‌های ریزشی، قابل توجه است. Roshanghar et al. (2018) تاثیر پذیری‌های زاویه سیکل قوسی بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی و کلید پیانویی قوسی را ارزیابی کردند. (Mansouri et al. (2018) تأثیر آزمایشگاهی هندسه سرریزهای کنگره‌ای- دوزنقه‌ای بر افزایش مقدار اکسیژن محلول آب را بررسی کردند. (Taghizadeh et al. (2019) اثر گذاری تغییر منحنی استاندارد سرریزهای سه جانبی در بهبود عملکرد هیدرولیکی آن‌ها را با روش‌های عددی بررسی کردند. (Hamidinia et al. (2019) تاثیر محل قرارگیری دیواره سپری بر عملکرد سرریز زیگزاگی و کلید پیانویی با مقطع دوزنقه‌ای را در آزمایشگاه بررسی کردند. Magedi Asl et al. (2022) به مقایسه عملکرد روش‌های آزمایشگاهی و فرامدلی برای پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریزهای کنگره‌ای به‌کار بردند. (Majedi asl et al. (2022) به مقایسه کارایی هیدرولیکی سرریزهای غیر خطی قوسی در پلان پرداختند. (Majedi asl et al. (2022) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب دیواره بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی دوزنقه‌ای پرداختند. (Majedi asl et al. (2022) مقایسه عملکرد روش‌های آزمایشگاهی و فرامدلی را برای پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریزهای کنگره‌ای به‌کار بردند. با توجه به اینکه در بیشتر پژوهش‌های پیشین فراسنجه‌های هندسی به طور جداگانه بررسی شده است لذا هدف از این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تغییر همزمان فراسنجه‌های هندسی از جمله زاویه دیواره سرریز ( $\alpha$ )، ارتفاع سرریز (P)، شکل دماغه‌ها، شکل تاج سرریز، شیب دهانه‌های ورودی و تغییر شکل دماغه‌ها به نیم‌دایره‌ای بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای می‌باشد.

## ۲- روش تحقیق

آزمایش‌های این تحقیق در آبراه‌ای به طول ۱۳ متر،

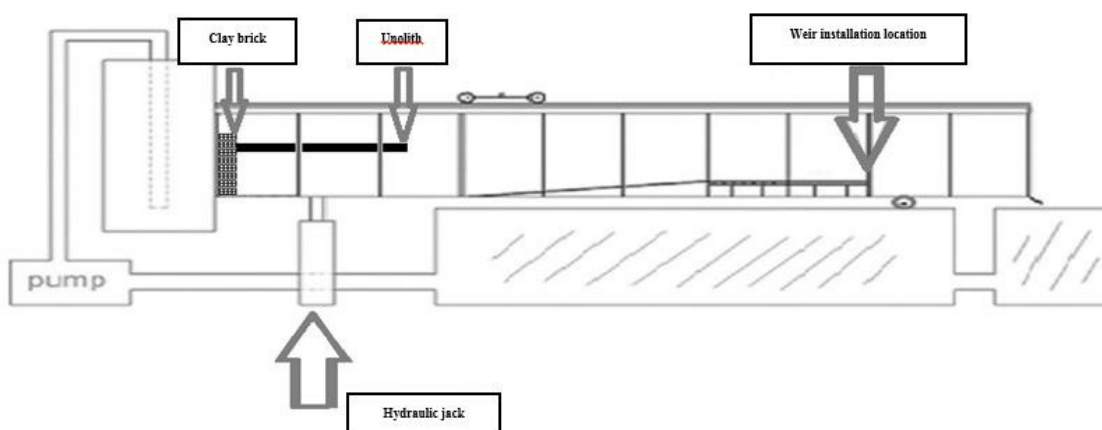


Figure 1 - Schematic of laboratory flume and related equipment

شکل ۱ - نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی و تجهیزات مربوطه

به ترتیب شیب دهلنه‌های ورودی و خروجی  $v$ ، لزوجت سیال  $g$ ، شتاب ثقل  $p$ ، جرم حجمی سیال و  $\sigma$  کشش سطحی می‌باشد. انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE, 2000, Manual 97) بیان کرده است که تاثیر کشش سطحی در سرریزها در صورت  $W_e \geq 100$  ناچیز بوده و همچنین تاثیر لزوجت سیال در جریان‌های آشفته بسیار کم می‌باشد (Henderson, 1966). با توجه به اینکه سرریزها عمود بر جریان اصلی نصب گردیده و هیچ‌گونه تنگ‌شدگی در آبراهه ایجاد نشده و همچنین شرایط جریان نزدیک شونده، ضخامت سرریزها، شمار سیکل‌ها یکسان می‌باشد لذا معادله بالا به شکل معادله زیر ساده می‌شود.

$$Cd = f(H_t/P, S_i/S_o, A/W, w/p, CR, \alpha) \quad (2)$$

فراسنجه‌های موثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای شامل بار آبی کل در بالادست سرریز، ارتفاع سرریز، عرض و شیب دهانه‌های ورودی و خروجی، شکل تاج سرریز، شرایط جریان نزدیک شونده می‌باشند (شکل ۲) که می‌توان به صورت رابطه (۱) نوشت:

$$Cd = f(W, L_c, H_b, P, T_s, N, CR, AF, \alpha, A, w, S_i, S_o, v, g, \rho, \sigma) \quad (1)$$

در این رابطه  $W$ ، عرض کل آبراهه‌ای که سرریز در آن نصب شده است،  $L_c$ ، طول تاج سرریز  $H_t$ ، بار کل جریان در بالادست  $P$ ، ارتفاع سرریز  $T_s$ ، ضخامت سرریز  $\alpha$  زاویه دیواره هر سیکل  $N$ ، شمار سیکل‌ها  $CR$ ، فراسنجه معرف شکل تاج سرریز  $AF$ ، فراسنجه معرف شرایط جریان نزدیک شونده  $w$ ، عرض هر سیکل  $A$ ، طول دماغه  $S_i$  و  $S_o$ ،

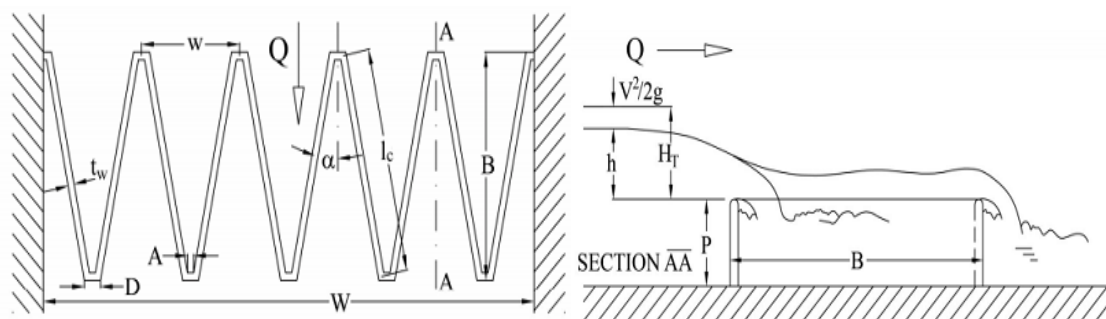


Fig. 2 Geometrical and hydraulic parameters of labyrinth weir

شکل ۲ فراسنجه‌های هندسی و هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای

چسب Cyano acrylate و برای آب‌بندی از چسب Silicon sealant استفاده شده است. سرریزها در فاصله ۵ متری از بالادست آبراهه نصب شده و با استقرار جریان پایدار

همه مدل‌های بررسی شده در این تحقیق از جنس پلی‌اتیلن با ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شده و برای برش دادن از CNC استفاده شده است و برای چسباندن آن‌ها از

شیب در دهانه‌های ورودی و خروجی آن‌ها (شیب دهانه‌ها ۱:۰.۵)، بررسی شد. خلاصه‌ای از ویژگی‌های مدل‌های آزمایشگاهی سرریزهای کنگره‌ای در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول علامت اختصاری S و U به ترتیب به معنی شیب‌دار بودن دهانه‌های ورودی و نیم‌دایره بودن دماغه‌های بالادست سرریزها می‌باشند. دو نمونه از سرریزهای کنگره‌ای این تحقیق در شکل (۳) آورده شده است.

اندازه‌گیری فراسنجه‌های هیدرولیکی انجام پذیرفته است. برای بررسی کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای، ۹ مدل فیزیکی ساخته شده که در کل (۱۹۶) آزمایش بر روی آنها انجام شده است که در آنها سه زاویه دیواره (۱۲ و ۲۰ و ۳۵) درجه، ارتفاع سرریزها ۱۰ و ۱۱/۵ سانتی‌متر (افزایش ۱۵ درصدی)، شمار چرخه‌ها در همه آزمایش‌ها برابر چهار سیکل بوده، عرض آبراهه  $W=120$  سانتی‌متر، عرض هر سیکل  $w=30$  سانتی‌متر، طول و قطر دماغه‌ها (به شکل نیم‌دایره) ۲ سانتی‌متر و بود یا نبود

جدول ۱ ویژگی‌های مدل‌های فیزیکی سرریزهای کنگره‌ای ساخته شده در این تحقیق

Table 1 Specifications of the physical models of labyrinth weirs made in this research

W(cm)	Apex	Crest form	W(cm)	$S_i=S_o$	P(cm)	$\alpha$	Abbreviation name	Model
-	-	Flat	120	-	10	-	RLW*	1
30	2 cm	Flat	120	-	10	12	LW12**	2
30	2 cm	Flat	120	1:1.5	10	12	LW12S	3
30	Semicircular	Flat	120	1:1.5	10	12	LW12SU	4
30	Semicircular	Quarter circle	120	1:1.5	11.5	12	LWM12SU	5
30	2 cm	Flat	120	-	10	20	LW20	6
30	2 cm	Flat	120	-	10	35	LW35	7
30	Semicircular	Flat	120	1:1.5	10	35	LW35SU	8
30	Semicircular	Quarter circle	120	1:1.5	11.5	35	LWM35SU	9

\*Rectangular weir, \*\* Labyrinth Weir with a wall angle of 12 degrees



(b)



(a)

Fig. 3 An example of the labyrinth weirs model of this research: (a)  $\alpha = 20^\circ$  (b)  $\alpha = 35^\circ$  and a semi-circular upstream Apex  
 شکل ۳ نمونه‌ای از مدل سرریزهای کنگره‌ای این تحقیق: (a)  $\alpha = 20^\circ$  (b)  $\alpha = 35^\circ$  و دماغه بالادست نیم‌دایره‌ای

است (LW12S)، مقایسه شده است به طوری که مشاهده می‌شود ضریب دبی سرریز LW12S در همه دبی‌ها نسبت به سرریز LW12 بیشتر می‌باشد ولی با افزایش دبی، اختلاف

### ۳- نتایج و بحث

در شکل (۵-ا)، سرریز کنگره‌ای ۱۲ درجه (LW12) با سرریز کنگره‌ای ۱۲ درجه که دهانه‌های ورودی آن شیب‌دار شده

زیادی بین آن‌ها مشاهده می‌شود و منحنی تغییرپذیری‌های ضریب دبی سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۳۵ درجه ( $\alpha=35^\circ$ ) بالاتر از دیگر سرریزها قرار گرفته است که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش زاویه دیواره سیکل‌ها، زاویه نزدیک شدن جریان با دیواره سیکل‌ها به ۹۰ درجه نزدیک‌تر شده و شبیه سرریز خطی عمل می‌کند و با کاهش  $\alpha$ ، زاویه نزدیک شدن جریان با دیواره سیکل‌ها کمتر شده و در نتیجه ضریب دبی جریان کمتر می‌شود. همچنین با کاهش زاویه دیواره سیکل‌ها، استغراق موضعی در دهانه‌های خروجی بیشتر شده و لذا تداخل تیغه‌های جریان نیز افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب دبی می‌شود.

ضریب دبی آنها کاهش می‌یابد. در شکل (b-۵) سرریز LW12S با سرریز کنگره‌ای ۱۲ درجه که هم دهانه‌های آن شیبدار شده و هم دماغه‌های بالادست آن نیم‌دایره‌ای شده است (LW12SU) مقایسه شده است. به طوری که مشخص است اختلاف قابل توجهی در ضریب دبی آنها مشاهده نمی‌شود، که نشان دهنده آن است که تغییر شکل دهانه‌های بالادست سرریز تأثیر چندانی بر ضریب دبی ندارد. در شکل (۴) ضریب دبی همه سرریزهای کنگره‌ای نسبت به  $Ht/p$  ترسیم شده است. به طوری که مشخص است ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با زاویه دیواره ۱۲ درجه ( $\alpha=12^\circ$ ) (در چهار حالت مختلف) از دیگر سرریزهای کنگره‌ای پایین‌تر می‌باشد و پس از آن سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۲۰ درجه ( $\alpha=20^\circ$ ) قرار گرفته که اختلاف

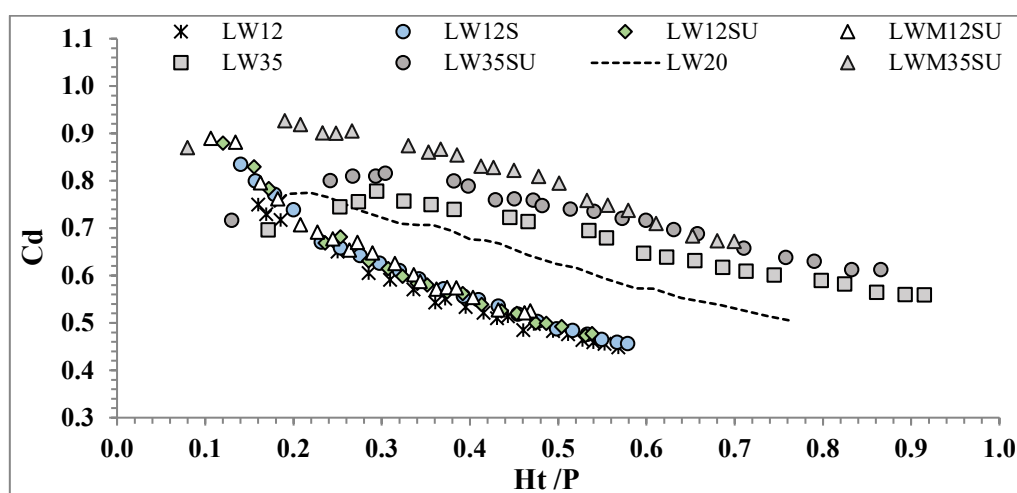


Fig. 4 The curve of changes in the flow rate of all types of weirs against the water load ratio

شکل ۴ منحنی تغییرپذیری ضریب دبی انواع سرریزها در مقابل نسبت بار آبی

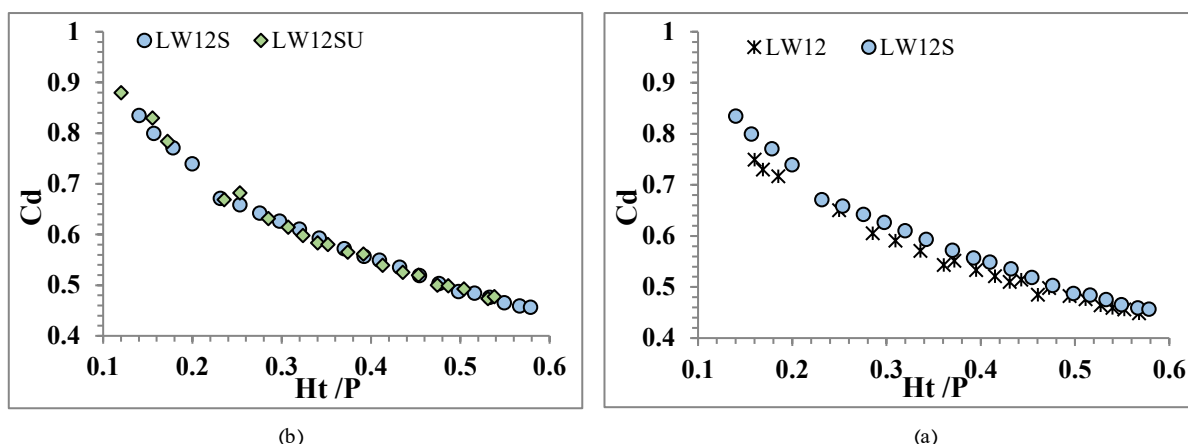


Fig. 5 Comparison of the discharge coefficient of the labyrinth weir  $\alpha = 12$  degree (a) The effect of tilting the mouths (b) the effect of tilting the mouths and arching the upstream apexes

شکل ۵ مقایسه ضریب دبی سرریز کنگره‌ای  $\alpha = 12$  درجه (a) تاثیر شیبدار کردن دهانه‌ها (b) تاثیر شیبدار کردن دهانه‌ها و قوسی کردن دماغه‌های بالادست

مقایسه سرریز LW12 با سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۱۲ درجه به طور کامل اصلاح شده (LWM12SU)، شکل (b-۶) ترسیم شده است. به طوری که مشاهده می‌شود سرریز به طور کامل اصلاح شده در همه دبی‌ها دارای ضریب دبی بالاتری نسبت به سرریز اصلاح نشده دارد. دلیل عمده این اختلاف، شیب دهانه‌های ورودی بوده که باعث کاهش افت انرژی جریان نزدیک شونده به سرریز می‌شود.

در شکل (a-۶)، سرریز LW12SU با سرریز اصلاح شده خود که ۱۵ درصد افزایش ارتفاع داشته و شکل تاج از حالت مسطح به حالت ربع دایره‌ای تغییر یافته است (LWM12SU)، مقایسه شده است به طوری که مشاهده می‌شود تنها در محدوده  $0.25 < Ht/p < 0.4$ ، ضریب دبی سرریز LW12SU حدود ۳ درصد بیشتر از سرریز LW12SU می‌باشد و در دیگر محدوده‌ها تفاوت چندانی در ضریب دبی سرریزها مشاهده نمی‌شود. به منظور

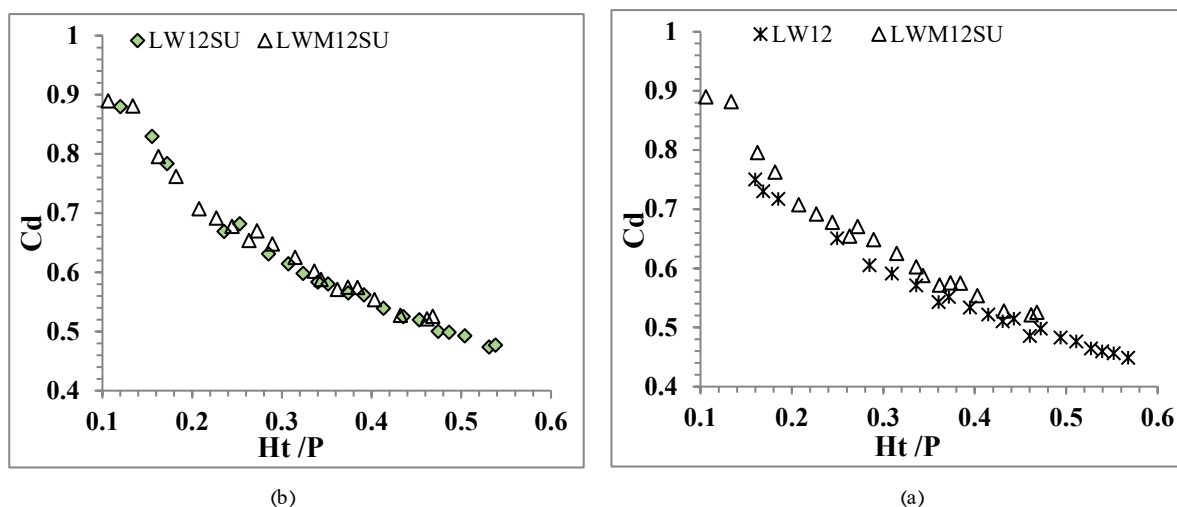


Fig. 6 Comparison of the discharge coefficient of the labyrinth weir  $\alpha = 12$  degree (a) The effect of steepening the mouths and arching of the upstream apexes with fully modified (b) normal labyrinth weir with fully modified

شکل ۶ مقایسه ضریب دبی سرریز کنگره‌ای  $\alpha = 12$  درجه (a) تاثیر شیب‌دار کردن دهانه‌ها و قوسی کردن دماغه‌های بالادست با کاملا اصلاح شده (b) سرریز کنگره‌ای معمولی با کاملا اصلاح شده

همزمان شکل دماغه‌ها و شیب دهانه‌های ورودی، ضریب دبی به طور متوسط حدود ۹ درصد در همه دبی‌ها افزایش یافته است. همچنین سرریز LW35SU با همان سرریز که ارتفاع آن  $1/5$  درصد افزایش یافته و تاج آن از حالت مسطح به شکل ربع دایره تغییر یافته است (LWM35SU)، مقایسه شده است. به طوری که مشخص است ضریب دبی سرریز LW35SU در محدوده  $Ht/p < 0.6$  بیشتر از سرریز LW35SU می‌باشد و با افزایش این نسبت، اختلاف ضریب دبی کاهش می‌یابد. در شکل (b-۷) ضریب دبی سه سرریز کنگره‌ای با زاویه‌های دیواره ۱۲ و ۲۰ و ۳۵ درجه اصلاح نشده ترسیم شده است (LW12, LW20, LW35)، به طوری که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه دیواره، ضریب دبی این سرریزها نیز افزایش می‌یابد (بدلیل راستای

در شکل (a-۷) سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۲۰ درجه (LW20) با سه نوع سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ۳۵ درجه (LW35) مقایسه شده است. به طوری که مشخص است منحنی ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با زاویه ۳۵ درجه با اختلاف قابل توجهی بالاتر از سرریز LW20 قرار گرفته‌اند. به طوری که سرریز کنگره‌ای با زاویه ۳۵ درجه (LW35) در  $Ht/p$  برابر  $0.4$  و  $0.7$  نسبت به سرریز LW20 به ترتیب  $6/5$  و  $15$  درصد، ضریب دبی بیشتری دارد. می‌توان مشاهده کرد که با افزایش  $Ht/p$ ، تفاوت ضریب دبی این دو سرریز نیز افزایش می‌یابد. در این شکل سرریز LW35 با همان سرریز که دماغه‌های بالادست آن نیم‌دایره و دهانه‌های ورودی آن شیب‌دار شده است (LW35SU)، مقایسه شده است. به طوری که مشاهده می‌شود با تغییر

می‌یابد، هرچند که با کاهش زاویه دیواره، ضریب دبی هم کاهش می‌یابد ولی تاثیر افزایش طول تاج سرریز بیشتر از ضریب دبی می‌باشد. با توجه به شکل یاد شده در  $Ht/p=0/2$  کارایی سیکل سرریزهای کنگره‌ای با زاویه دیواره ۳۵ و ۲۰ و ۱۲ درجه به ترتیب برابر ۱، ۲ و ۳ بوده و در  $Ht/p = 0/6$  به ترتیب برابر ۱ و  $1/43$  و  $1/74$  می‌باشد. که نشان دهنده برتری سرریزهای با زاویه دیواره کمتر می‌باشد.

جریان با دیواره‌های سرریز و کاهش استغراق موضعی) ولی با توجه به شکل (۸) که در آن کارایی سیکل ( $\epsilon$ ) (رابطه ۳) این سرریزها در مقابل نسبت بار آبی ترسیم شده است (Vilmoz 2004)، با افزایش زاویه دیواره، کارایی سیکل یا کارایی سرریز کاهش می‌یابد. که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد، با کاهش زاویه دیواره‌ها، طول سرریز افزایش می‌یابد و از سوی دیگر دبی سرریزها با طول سرریز رابطه مستقیم دارد و در نتیجه دبی و کارایی سرریز افزایش که در رابطه بالا  $M = Lc/W$ ، بزرگنمایی سرریز می‌باشد.

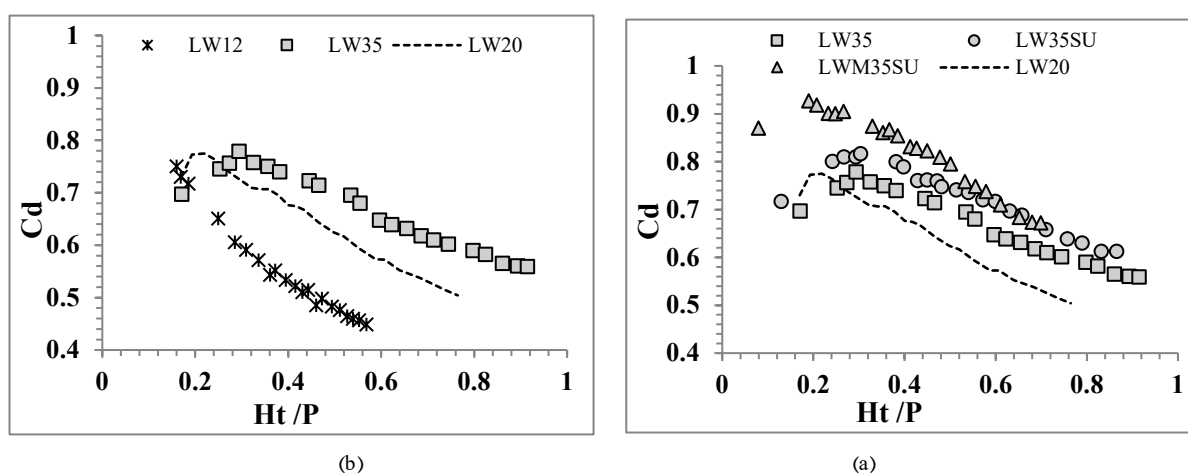


Fig. 7 The curve of changes in discharge coefficient of different labyrinth weirs against water load ratio (a) wall angle 35- and 20-degrees (b) wall angle 35, 20 and 12 degrees

شکل ۷ منحنی تغییرپذیری‌های ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مختلف در مقابل نسبت بار آبی (a) زاویه دیواره ۳۵ و ۲۰ درجه (b) زاویه دیواره ۳۵، ۲۰ و ۱۲ درجه

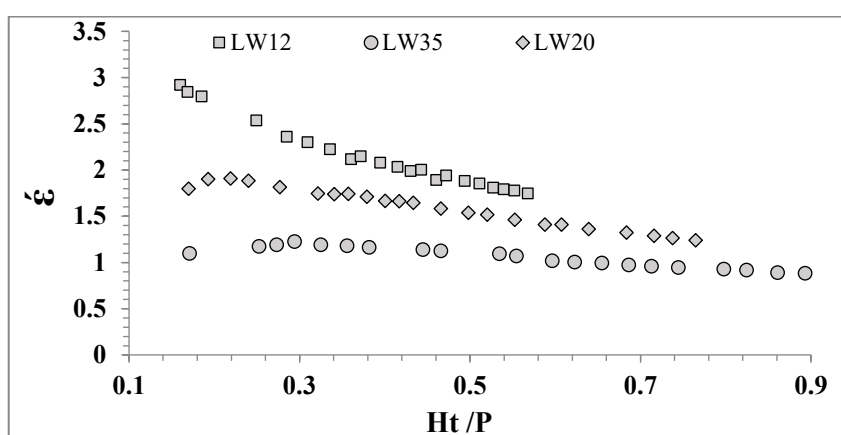


Fig. 8 The curve of changes in the cycle efficiency of labyrinth weirs with different angles against water load ratio شکل ۸ منحنی تغییرپذیری‌های کارایی سیکل سرریزهای کنگره‌ای با زاویه‌های مختلف در مقابل نسبت بار آبی

سیکل ( $\alpha$ ) در نسبت‌های بار آبی  $Ht/P=0/3$  و  $Ht/P=0/5$  ترسیم شده است. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود با افزایش

در شکل (۹) نمودار کارایی سیکل ( $\epsilon$ )، ضریب دبی ( $Cd$ ) و عدد فرود بالادست سرریز ( $Fr$ ) در مقابل زاویه دیواره

بالای  $H_t/P$  می‌باشد. در شکل (۱۰) نمودار عدد فرود بالادست سرریزها در مقابل نسبت بار آبی نمایش داده شده است به طوری که مشاهده می‌شود عدد فرود سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره سیکل ۳۵ درجه ( $\alpha=35$ ) پایین‌تر از دیگر سرریزها می‌باشد و با کاهش این زاویه، عدد فرود جریان بالادست سرریز افزایش می‌یابد. به طوری که بیان گردید علت آن این است که با افزایش این زاویه، کارایی سیکل کاهش یافته و در نتیجه عمق آب در بالادست بیشتر شده و در نتیجه باعث کاهش عدد فرود می‌شود. با دقت در این شکل مشاهده می‌شود که عدد فرود سرریز کنگره‌ای مستطیلی تا  $H_t/P=0/3$  بر روی سرریز LW12 سازگار و همخوان بوده و در  $H_t/P>0/5$  بر روی سرریز LW20 سازگار و همخوان می‌شود. یعنی با افزایش نسبت  $H_t/P$ ، کارایی این سرریز نسبت به دیگر سرریزها با شدت بیشتری، کاهش می‌یابد.

زاویه سیکل، کارایی سیکل و عدد فرود کاهش یافته و ضریب دبی افزایش می‌یابد. علت اینکه با افزایش زاویه دیواره سیکل، ضریب دبی افزایش می‌یابد این است که با افزایش این زاویه، زاویه برخورد جریان آب با سرریز به ۹۰ درجه نزدیک‌تر شده و سرریز مانند سرریز خطی عمل کرده و نیز استغراق موضعی کاهش یافته و لذا ضریب دبی افزایش می‌یابد ولی با افزایش زاویه دیواره سیکل، طول کل سرریز کاهش یافته در نتیجه کارایی سیکل ( $\epsilon$ ) سرریز کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه دیواره سیکل و کاهش کارایی سیکل سرریز و به ازای نسبت بار مشخص (ثابت  $H_t/P$ ) در بالادست، سرعت جریان و عدد فرود در بالادست کاهش می‌یابد. با مقایسه این دو شکل مشاهده می‌شود که این اختلاف در  $H_t/P=0/3$  بیشتر از  $H_t/P=0/5$  می‌باشد. به این معنی که در نسبت‌های پایین  $H_t/P$ ، تغییرپذیری‌ها ضریب دبی و کارایی سیکل این سرریزها با افزایش زاویه دیواره سیکل، بیشتر از نسبت‌های

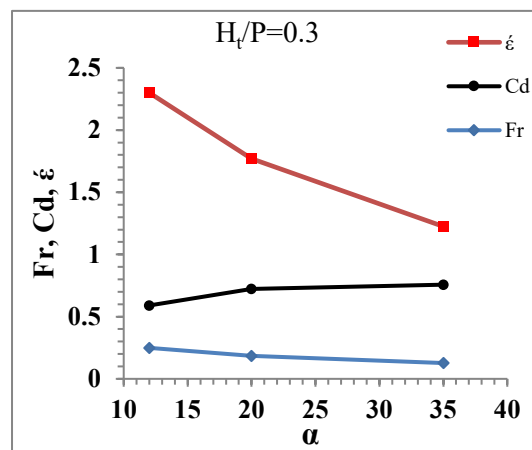
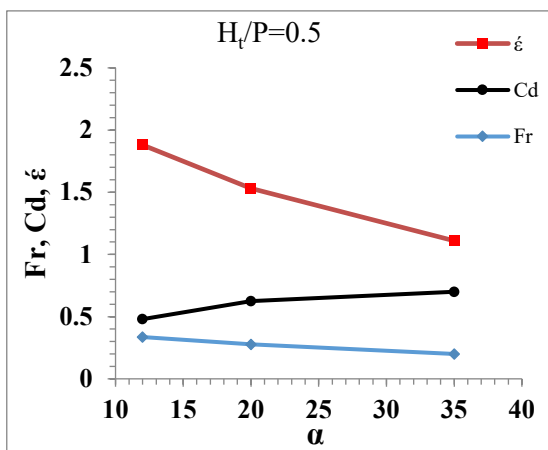
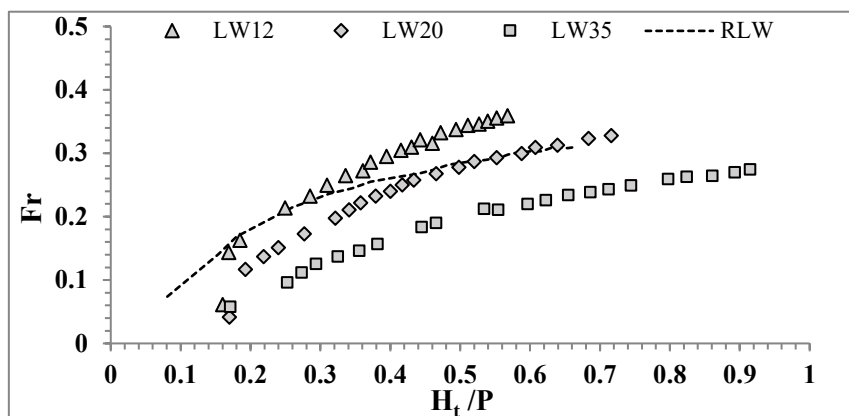


Fig. 9 Changes in Froude number, discharge coefficient and cycle efficiency of labyrinth weirs in relation to the angle of the cycle wall

شکل ۹ تغییرات عدد فرود، ضریب دبی و کارایی سیکل سرریزهای کنگره‌ای نسبت به زاویه دیواره سیکل

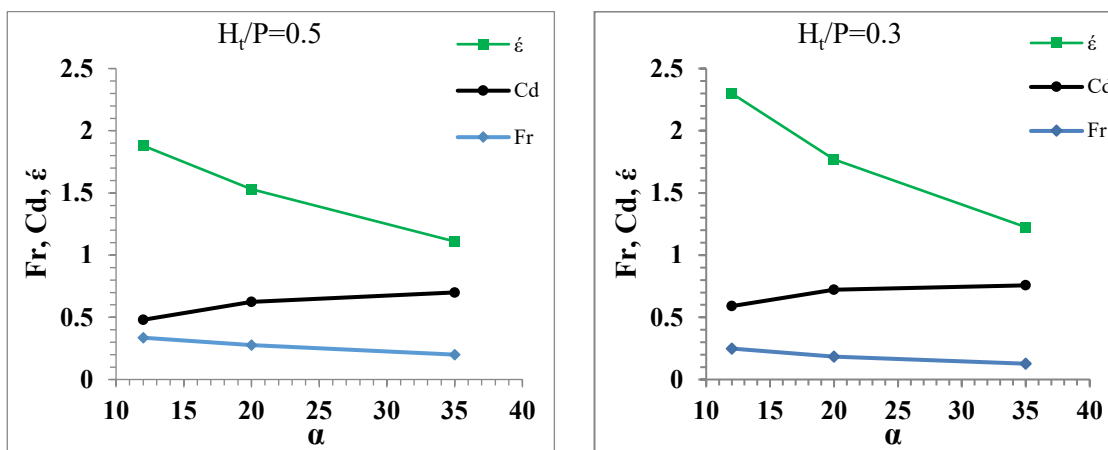


Fig. 10 Changes in the Froude number of labyrinth weirs in relation to the water load

شکل ۱۰ تغییرپذیری‌های عدد فرود سرریزهای کنگره‌ای نسبت به بار آبی

دبی را تا حدود کمی افزایش داده است.

در سرریز کنگره‌ای ( $\alpha=350$ ) با شیب‌دار کردن دهانه‌های ورودی سیکل‌ها (۵:۱/۱) و تغییر دماغه بالادست به شکل نیم‌دایره‌ای، ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای (LW35) در همه نسبت بار آبی ( $Ht/p$ ) افزایش یافته است (در حدود ۱۰-۸ درصد). همچنین افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع و تغییر شکل تاج این سرریز به شکل ربع دایره‌ای، ضریب دبی در محدوده ( $0.1 < Ht/p < 0.6$ ) را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است.

با کاهش زاویه دیواره، کارایی سیکل یا کارایی سرریزها افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که با کاهش زاویه دیواره‌ها، طول سرریز افزایش می‌یابد و از سوی دیگر دبی سرریزها با طول سرریز رابطه مستقیم دارد و در نتیجه دبی و کارایی سرریز افزایش می‌یابد، یعنی تأثیر افزایش طول تاج سرریز بیشتر از ضریب دبی می‌باشد.

#### ۵- فهرست نشانه‌ها

Cd	ضریب دبی
W	عرض آبراهه (m)
$L_c$	طول تاج سرریز (m)
$\alpha$	زاویه دیواره سرریز (درجه)
$T_s$	ضخامت سرریز (m)
P	ارتفاع سرریز (m)
N	شمار سیکل‌ها
AF	شکل تاج سرریز
A	طول دماغه (m)

#### ۴- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی تغییر فراسنجه‌های هندسی از جمله زاویه دیواره سرریز ( $\alpha$ )، ارتفاع سرریز (P)، شکل دماغه‌ها، شکل تاج سرریز و شیب دهانه‌های ورودی بر روی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای می‌باشد.

ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با زاویه دیواره ( $\alpha=120$ ) کمتر از زاویه دیواره ( $\alpha=200$ ) و ضریب دبی این زاویه دیواره نیز کمتر از زاویه دیواره ( $\alpha=350$ ) به دست آمده است. علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش زاویه دیواره سیکل‌ها، زاویه نزدیک شدن جریان با دیواره سیکل‌ها به حالت عمودی نزدیک‌تر شده و این سرریزها شبیه سرریزهای خطی عمل می‌کنند و در نتیجه ضریب دبی جریان بیشتر می‌شود.

در سرریز کنگره‌ای ( $\alpha=120$ ) با شیب‌دار کردن دهانه‌های ورودی سیکل‌ها (۵:۱/۱)، ضریب دبی بدلیل کاهش افت جریان ورودی به سرریزهای کنگره‌ای افزایش یافته است. ضریب دبی سرریز کنگره‌ای ( $\alpha=120$ ) در نسبت بار آبی ( $Ht/p=0.2$ ) حدود ۷/۵ درصد افزایش یافته است و با افزایش نسبت بار آبی، کارایی شیب‌دار کردن دهانه‌ها کاهش می‌یابد. در این سرریزها تغییر دماغه بالادست به شکل نیم‌دایره‌ای، تغییری در ضریب دبی ایجاد نکرده است که علت آن را می‌توان کوچک بودن طول دماغه‌ها ( $A=2\text{cm}$ ) بیان نمود. همچنین افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع و تغییر فرم تاج این سرریز به شکل ربع دایره‌ای، ضریب

crested rectangular and triangular labyrinth weirs with downstream pool. MSc. Thesis, Lakehead University, Thunder Bay, Canada, 123p.

Hamidinia., M., Heidarnejad., M., Purmohammadi, M.H., Masjedi, A. & Bordbar, A. (2018). Experimental Study of the Effect of Parapet Wall Location on the Performance of Trapezoidal Labyrinth and Piano-Key Weirs. *Iran Water and Soil Research*, 50(3), 543-553. (In Persian)

Hay, N. & Taylor, G. (1970). Performance and design of labyrinth weirs. *J. of Hydr. Engrg. ASCE*, 96(11), 2337-2357.

Lopes, R., Matos, J. & Melo, J. (2009). Discharge capacity for free-flow and submerged labyrinth weirs. Proc. 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver BC, Canada, 1054-1061.

Lux, F. & Hincliff, D. (1985). Design and construction of labyrinth spillways. 15<sup>th</sup> Congress ICOLD, Vol. IV, Q59-R15, Lausanne, Switzerland, 249-274.

Magalhães, A. & Lorena, M. (1989). Hydraulic design of labyrinth weirs. Report No. 736, National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon, Portugal.

Magalhães, A. & Lorena, M. (1994). Perdas de energia do escoamento sobre soleiras em labirinto. Proc. 6<sup>o</sup> SILUSB/1<sup>o</sup> SILUSBA, Lisboa, Portugal, 203-211. (In Portuguese)

Majedi Asl, M., Omidpour Alavian, T. & Kouhdaragh, M. (2023). Comparison of The Hydraulic Efficiency of labyrinth Weirs with a Quarter and Semi-Circular Crest Shape Using Neural Networks (QNET, SVM, GEP, ANN). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(4), 787-804. (In Persian)

Majedi Asl, M., Omidpour Alavian, T. & Kouhdaragh, M. (2023). Laboratory Investigation of the Effect of Wall Slope on the Discharge Coefficient of Trapezoidal Arced Labyrinth Weirs. *JWSS*, 27(4), 281-297. (In Persian)

Majedi Asl, M., Omidpour Alavian, T. & Shamsi, V. (2023). Comparison of Hydraulic Efficiency of Arched Non-linear Weirs in Plan Using GEP and SVM Neural Networks. *JWSS*, 27(3), 179-199.

Majedi-Asl, M., Ghaderi, A., Kouhdaragh, M. & Omidpour Alavian, T. (2024). A performance comparison of the Meta model methods for discharge coefficient prediction of labyrinth weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 96, 102563, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2024.102563>.

Mansouri, R., Esmaeili Varaki, R., Navabian, M. (2017). Experimental study of the geometric effect of trapezoidal labyrinth weirs on increase of the

$H_t$  بار کل جریان در بالادست (m)

$S_i$  شیب دهانه‌های ورودی

$S_o$  شیب دهانه‌های خروجی

$v$  لزوجت سیال ( $m^2/s$ )

$g$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ )

$\rho$  جرم حجمی سیال ( $Kg/m^3$ )

$\sigma$  کشش سطحی (N/m)

## ۶- منابع

Azhdari Moghadam, M., Amanian, N. & Jafari Nadoushan, E. (2013). Geometry optimization of triangle labyrinth spillway using ANFIS Models and Genetic Algorithms. *Journal of Modeling in Engineering*, 7(19), 57-68. (In Persian)

Azhdary Moghaddam., M. & Jafari Nadoushan. E.A. (2013). Optimization of Geometry of trapezoidal labyrinth Spillway with using ANFIS Models and Genetic Algorithms (Ute Dam Case Study in the United States of America). *Ferdowsi Civil Engineering*, 24(2), 129-140. (In Persian)

Azhdari Moghadam, M. & Jafari Nadoushan, E. (2013). Hydraulic Design of a Trapezoidal Labyrinth Spillway Using Computational Hydrodynamics. *MCEJ*, 13(2), 1-12. (In Persian)

Bijankhan, M. & Kouchakzadeh, S. (2017). Unified discharge coefficient formula for free and submerged triangular labyrinth weirs. *Flow Meas Instrum*, 57, 46-56.

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

Crookston, B.M. (2010). Labyrinth weirs. Ph.D. dissertation, Utah State University, Logan, UT.

Dabling, M.R., Tullis, B.P. & Crookston, B.M. (2013). Staged Labyrinth Weir Hydraulics. *J. of Irr. And Drain. Engrg.*, 139(11), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000636](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000636).

Darvas, L. (1971). Discussion of performance and design of labyrinth weirs, by Hay and Taylor. *J. of Hydr. Engrg. ASCE*, 97, 1246-1251.

Emiroglu, M., Kaya, N. & Agaccioglu, H. (2010). Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. *J. of Irr. And Drain. Engrg.*, 136(1), 37-46.

Gentilini, B. (1940). Stramazzi con cresta a planta obliqua e a zig-zag. Memorie e Studi dell Istituto di Idraulica e Construzioni Idrauliche Del Regil Politecnico di Milano, No. 48; Politecnico di Milano: Milano, Italy, 1941. (In Italian)

Hakim, S.S. (2017) Hydraulic behaviour of sharp-

- Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weirs. Ph.D. Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
- Tullis, B., Young, J. & Chandler, M. (2007). Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. *J. of Hydr. Engrg. ASCE*, 133(3), 248-254.
- Tullis, P., Amanian, N. & Waldron, D. (1995). Design of labyrinth weir spillways. *J. of Hydr. Engrg. ASCE*, 121(3), 247-255.
- United States Bureau of Reclamation (USBR). (1987). Design of Small Dams. Department of the Interior, Washington, DC.
- Willmore, C. (2004). Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. M.S. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- Yasi, M. & Mohammadi, M. (2007). Study of Labyrinth Spillways with Curved Planform. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(41), 1-13. (In Persian)
- dissolved oxygen. *Iran Water and Soil Research*, 49(5), 997-990. (In Persian)
- Melo, J., Ramos, C. & Magalhães, A. (2002). Descarregadores com soleira em labirinto de um ciclo em canais convergentes. Determinação da capacidade de vazão. Proc. 6º Congresso da Água, Porto, Portugal. (In Portuguese)
- Nezami, F., Farsadizadeh, D., Hosseinzadeh Dalir, A. & Salmasi, F. (2012). Experimental Study of Discharge Coefficient of Trapezoidal Labyrinth Side-Weirs. *Journal of Water and Soil Science*, 23(1), 247-257. (In Persian)
- Roushangar, K., Alami, M.T., Shiri, J. & Majedi Asl, M. (2018). Determining discharge coefficient of labyrinth and arced labyrinth weirs using support vector machine. *Hydrol Res.*, 49(3), 924-938.
- Roushangar, K., Taghi Alami, M., Shiri, J. & Majedi Asl, M. (2017). Evaluation Effect of Changing the Cycle Arc Angle on Discharge Coefficient of Arced Labyrinth and Arced Piano Key Weirs. *Iran Water and Soil Research*, 94(1), 341-351. (In Persian)
- Taghizadeh, H., Arzanlou, A. & Kardan, N. (2019). Numerical Investigating the Effect of Changing the Ogee Profile of Three-Sided Spillways on Improving their Hydraulic Performance. *MCEJ*, 19(1), 79-90.

© 2025 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.  
 This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

