

بررسی آزمایشگاهی عملکرد سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و نیم‌دایره‌ای همسان

فارهه السادات ارحام نمازی^۱، جواد مظفری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه اراک

*۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه اراک

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰

چکیده

سرریز کنگره‌ای با افزایش طول تاج، ضریب آبگذری را افزایش می‌دهد و ارتفاع سیل را نسبت به سرریز خطی کاهش خواهد داد. هدف از این پژوهش بررسی سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای و مثلثی همسان است. بدین معنی که سرریز کنگره‌ای مثلثی تک‌سیکل با سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل و سرریزهای دو سیکل مقایسه می‌شوند و تعداد سیکل در مقایسه تاثیر نخواهد داشت. همچنین، پارامتر L/W ثابت خواهد ماند و بنابراین فقط تغییرات زاویه راس سرریز و زاویه با جداره کانال موثر خواهد بود. آزمایش‌ها در کانالی با عرض ۰/۸ متر و در دبی ۶ تا ۷۰ لیتر بر ثانیه اجرا شدند. ده مدل با ضخامت ۴ میلی‌متر ساخته شد که پنج مدل آن سرریز مثلثی و ۵ مدل آن سرریز نیم‌دایره‌ای هستند. ارتفاع سرریزها ۱۵ سانتی‌متر و طول سرریزها ۱۲۶ سانتی‌متر است. مقایسه سرریز کنگره‌ای مثلثی با سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای همسان نشان داد که ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی تا حدودی بالاتر است. با افزایش تعداد سیکل، تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی افزایش و ضریب دبی کاهش می‌یابد. زاویه راس سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای رو به پایین (۱۸۰ درجه) بیشتر از زاویه راس سرریز کنگره‌ای مثلثی (۳۵/۵ درجه) است که سبب برخورد جت‌های جریان در سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای با زاویه بزرگتری می‌شود و باعث ایجاد آشفستگی و کاهش راندمان بیشتر می‌شود. با قرارگیری راس سرریز کنگره‌ای به سمت بالادست، برخورد جت‌های جریان در راس حذف می‌شود و زاویه سرریز با جدار کانال پایین دست نیز افزایش می‌یابد که نهایتاً سبب افزایش راندمان سرریز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره، سرریز کنگره‌ای مثلثی، تیغه‌های ریزشی، استغراق موضعی

مقدمه

ظرفیت عبور جریان بیشتر می‌شود (Esmaeili Varak and

Safarrazavi Zadeh, 2013). در زمینه سرریزهای کنگره‌ای

پژوهش‌های بسیار زیادی شده است که از آن جمله می‌توان

به تحقیقات بی‌جن‌خان و کوچک زاده (Bijankhan and

یکی از راهکارهای موثر و اقتصادی برای افزایش راندمان

سرریز، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای است که با تغییر

هندسه پلان و افزایش طول سرریز در عرض ثابت از کانال،

تا نسبت H_T/P برابر با ۰/۳۶ صعودی است و پس از آن رفتار کاهش می‌دهد و این سرریزها نسبت به سرریزهای خطی سریع‌تر دچار استغراق می‌شوند. عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای در نسبت‌های H_T/P پایین بهتر است. نوری و عارف (Noori and Aaref, 2017) طی مطالعات آزمایشگاهی، سرریز کنگره‌ای با تاج دایره‌ای را بررسی کردند و دریافتند که افزایش پارامتر بدون بعد H_T/P موجب کاهش ضریب دبی شده است. فیلی و همکاران (Fili et al., 2022) با بررسی ظرفیت آبگذری در سرریزهای زیگزاکی قوسی دوزنقه‌ای نشان دادند که با کاهش نسبت عرض دماغه سیکل‌های سرریز، ضریب دبی روند افزایشی تا ۳۳ درصد از خود نشان می‌دهد. میثاقی و همکاران (Misaghi et al., 2021) به بررسی ضریب دبی جریان در سرریز کنگره‌ای تک-سیکل به روش CFD پرداختند و نشان دادند با افزایش زاویه راس، ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد و عملکرد سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال نسبت به سرریز کنگره‌ای تک‌سیکل کمتر است. سرریز کنگره‌ای تک‌سیکل در بارهای هیدرولیکی کم، عملکرد مناسبی دارد و ضریب دبی نیز روند صعودی دارد. با توجه به پارامترهای متعدد موثر در ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای، در این پژوهش به بررسی سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای و مثلثی همسان پرداخته می‌شود و پارامتر L/W نیز ثابت خواهد ماند. بنابراین فقط تغییرات زاویه راس سرریز و زاویه سرریز با جدار کانال مقایسه و بررسی می‌شوند و اثر نسبت L/W و اثر تعداد سیکل حذف خواهد شد. این در حالی است که در پژوهش‌های پیشین L/W به عنوان پارامتر موثر مورد بررسی قرار می‌گرفت و ثابت در نظر گرفته نمی‌شد، با افزایش تعداد سیکل سرریز، مقدار L/W تغییر می‌کرد و

(Karami et al., 2017)، کرمی و همکاران (Kouchakzadeh, 2017) (2018)، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2020) روی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و منجزی و همکاران (Monjezi et al., 2018)، دوتا و همکاران (Dutta et al., 2020) و صفررضوی‌زاده و همکاران (Safarrazavi Zadeh et al., 2021) روی سرریزهای کنگره‌ای قوسی اشاره کرد. یاسی و محمدی (Yasi and Mohammadi, 2007)، سرریزهای کنگره‌ای قوسی را بررسی کردند و نشان دادند که این شکل سرریز کنگره‌ای، نسبت به سرریزهای دوزنقه‌ای و مثلثی با طول تاج یکسان، کارایی هیدرولیکی بهتری دارد. در پژوهشی به طور گسترده به مطالعه ضریب دبی سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای پرداخته و معادله‌ای خطی برای تخمین ضریب دبی سرریزهای جانبی کنگره‌ای به شکل نیم‌دایره پیشنهاد گردید (Mousavi, 2011). در پژوهشی نشان داده شد که با کاهش زاویه سرریز کنگره‌ای، تداخل تیغه‌های ریزشی افزایش و ضریب دبی کاهش می‌یابد (Crookston and Tullis, 2012). در پژوهشی دیگر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای با پلان نیم‌دایره-خطی و نیم‌دایره‌ای با شعاع‌های مختلف و تعداد سیکل‌های متفاوت بررسی و نشان داده شد که در کلیه سرریزهای کنگره‌ای مورد آزمایش، ضریب دبی جریان با افزایش نسبت H_T/P تا مقدار ۰/۳۷ روندی صعودی دارد و پس از آن به دلیل تداخل تیغه‌های ریزشی، ضریب دبی کاهش می‌یابد (Esmaili Varak and Safarrazavi Zadeh, 2013). قادری و همکاران (Qadri et al., 2016) به بررسی عددی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای پرداختند و نشان دادند که روند تغییرات ضریب دبی در مدل‌های سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای

$$f\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, \frac{H}{W}, \frac{H}{t}, Fr, \theta, C\right) = 0 \quad (3)$$

در نتیجه، ضریب دبی مدل سرریز کنگره‌ای تابعی از پارامترهای بدون بعد رابطه (۳) است. در آزمایش‌ها با استفاده از این پارامترهای بدون بعد تغییرات ضریب دبی بررسی می‌شود. با توجه به ثابت بودن P, L, W, t و θ و تاثیر یکسان آنها در تمامی آزمایش‌ها، پارامترهای فوق بررسی نخواهند شد و ضریب C تابعی از H و Fr خواهد بود. بنابراین، نسبت H_T/P و H_T هد کل آب روی سرریز که نشان‌دهنده تغییرات عمق آب بالادست و تغییرات سرعت خواهد بود در این پژوهش بررسی خواهد شد.

تالیس و همکاران (Tullis et al., 1995) با توجه به تحقیقات خود روی انواع سرریزهای کنگره‌ای، رابطه (۴) را برای سرریز کنگره‌ای مناسب ارزیابی نمودند:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_T^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

در این رابطه، Q دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای (m^3/s)، C_d ضریب دبی سرریز کنگره‌ای، L طول موثر سرریز کنگره‌ای (m) و H_T هد کل آب روی سرریز (m) است. در این تحقیق، مدل‌های هیدرولیکی مورد نظر در داخل یک فلوم شیشه‌ای به طول ۱۰ متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر آزمایش شدند. پمپ تغذیه با حداکثر دبی ۹۰ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شود. دقت اندازه‌گیری دبی پمپ توسط دستگاه حدود ۰/۰۱ لیتر در ثانیه است. برای اندازه‌گیری تراز سطح آب نیز از پوینت گیج ریلی استفاده می‌شود که در طول فلوم قابل حرکت کردن است.

بنابراین اثر تعداد سیکل و نسبت ابعاد سرریز با یکدیگر همپوشانی داشت (Tullis et al, 2020).

مواد و روش‌ها

پارامترهای موثر برای ضریب دبی سرریز کنگره‌ای عبارت-

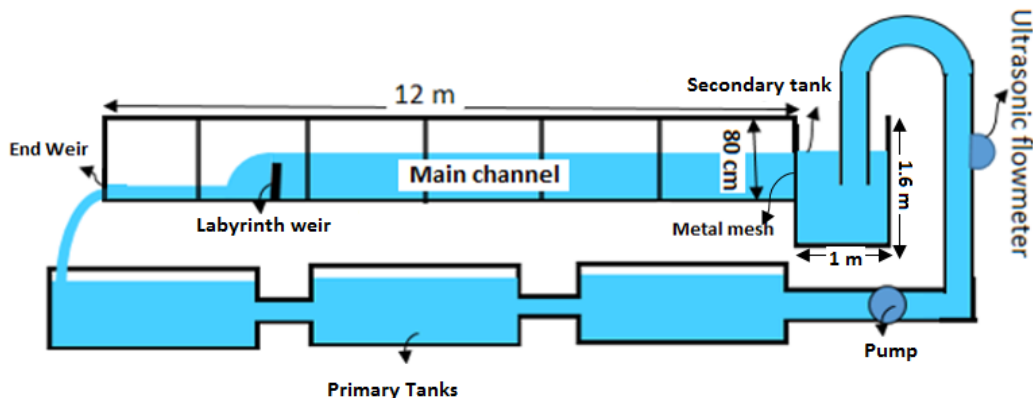
اند از:

$$f(P, L, W, t, \theta, H, v, g, \sigma, \mu, \rho, C) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه، P ارتفاع سرریز، L طول سرریز، W عرض کانال، t ضخامت سرریز، θ زاویه راس سرریز، H عمق آب بالادست، v سرعت، g شتاب ثقل، σ کشش سطحی، μ لزوجت، ρ جرم مخصوص و C ضریب دبی است. در نتیجه، پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست خواهند آمد:

$$f\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, \frac{H}{W}, \frac{H}{t}, Fr, We, Re, \theta, C\right) = 0 \quad (2)$$

در اینجا، Fr عدد فرود، We عدد وبر و Re عدد رینولدز است. اگر جریان روی سرریز ورقه‌ای نباشد، از رابطه فوق می‌توان تاثیر لزوجت در رفتار سیال را نادیده گرفت. بدین ترتیب عدد بی‌بعد رینولدز از رابطه بالا حذف خواهد شد. اگر مقدار محدودیت حداقل ارتفاع آب روی سرریز (۳ سانتی‌متر) رعایت شود، می‌توان اثر کشش سطحی را کاهش داد. بدین ترتیب عدد بی‌بعد وبر نیز از رابطه فوق حذف خواهد شد. بنابراین با توجه به آنچه گفته شد رابطه (۲) را می‌توان به صورت رابطه (۳) بیان کرد:



شکل ۱- نمایی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده
Figure 1. A view of the laboratory flume used

حداکثر ۷۰ لیتر در ثانیه استفاده شدند. علاوه بر این، در محل خروج آب پمپ یونولیت جاسازی شد تا انرژی آب را بگیرد و جریان نوسان نداشته باشد. جدول (۱) سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و جدول (۲) سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای مورد استفاده در این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. زاویه‌های راس سرریز کنگره‌ای ۳۲/۴ درجه هستند. شکل (۲) یکی از مدل‌های در حال آزمایش را نشان می‌دهد.

جنس تمامی مدل‌ها از ورق آهنی به ضخامت ۴ میلی‌متر انتخاب شده است. مهم‌ترین ویژگی این ورق‌های آهنی خم نشدن آنها در مقابل جریان آب است. برای مقایسه سرریز کنگره‌ای مثلثی و نیم‌دایره از طول یکسان (۱۲۶ سانتی‌متر) استفاده شد. طول مورد استفاده برابر با محیط نیم‌دایره با قطر ۸۰ سانتی‌متر است. ارتفاع تمامی مدل‌ها نیز ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر آزمایش، دبی‌های با حداقل ۶ و

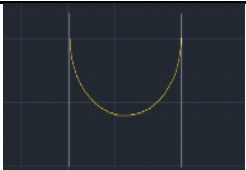
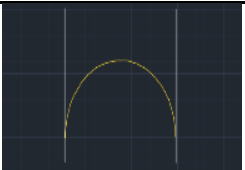
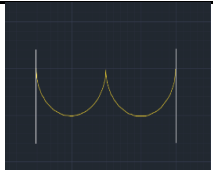
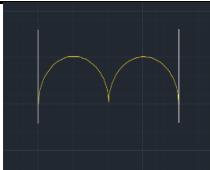
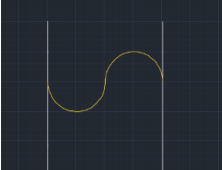
جدول ۱- سرریزهای کنگره‌ای مثلثی همراه با نام‌های اختصاری

Table 1- Triangular labyrinth weir with their abbreviations

نوع سرریز Weir type	سرریز مثلثی تک سیکل با راس رو به پایین	سرریز مثلثی تک سیکل با راس رو به بالا	سرریز مثلثی دو سیکل با رو به پایین	سرریز مثلثی دو سیکل با راس رو به بالا	سرریز مثلثی غیرهم راس non-aligned triangular weir
	One-cycle triangular weir with downward apex	One-cycle triangular weir with upward apex	two-cycles triangular weir with downward apex	two-cycles triangular weir with upward apex	
شکل سرریز Weir figure					
	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5

جدول ۲- سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره استفاده شده همراه با نام‌های اختصاری

Table 2- Semi-circular labyrinth weir with their abbreviations

نوع سرریز Weir type	سرریز نیم دایره‌ای تک سیکل با راس رو به پایین One-cycle semi-circular weir with downward apex	سرریز نیم دایره‌ای تک سیکل با راس رو به بالا One-cycle semi-circular weir with upward apex	سرریز نیم دایره‌ای دو سیکل با راس رو به پایین two-cycles semi-circular weir with downward apex	سرریز نیم دایره‌ای دو سیکل با راس رو به بالا two-cycles semi- circular weir with upward apex	سرریز نیم دایره‌ای غیرهم راستا non-aligned semi- circular weir
شکل سرریز Weir figure					
	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5



شکل ۲- سرریز کنگره‌ای دو سیکل مثلثی با راس رو به بالا

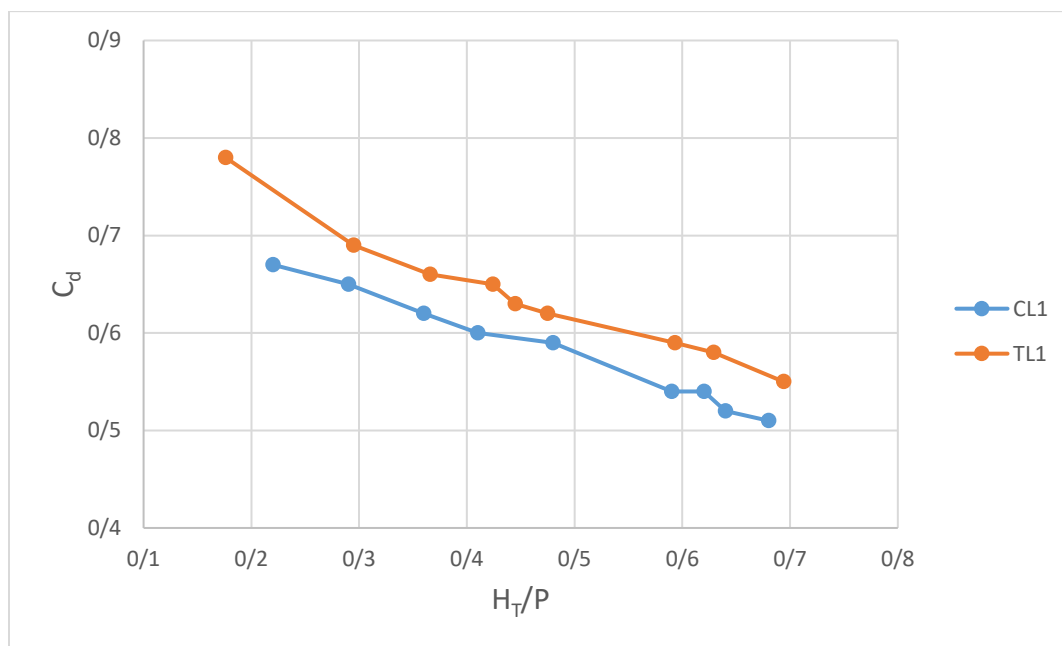
Figure 2- Two-cycle triangular labyrinth weir with upward apex

در این پژوهش، سرریزهای کنگره‌ای همسان با یکدیگر و سرریز تک‌سیکل مثلثی با راس رو به پایین بررسی می‌شوند. سرریزهای همسان دیگر نیز با یکدیگر مقایسه خواهند شد و TL1 با مشابه نیم‌دایره‌ای CL1 مقایسه خواهد شد و سرریزهای همسان دیگر نیز با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

نتایج و بحث

کانال نسبت به TL1 دارد. این مسئله سبب برخورد بیشتر تیغه های ریزشی با جدار کانال و ایجاد استغراق موضعی بیشتر در سرریز CL1 می شود و راندمان آن را کاهش می دهد. زاویه برخورد جت های جریان در راس سرریز CL1 بیشتر است تا در سرریز TL1 ($\beta_2 > \beta_1$) و بنابراین سبب ایجاد آشفتگی بیشتری در راس CL1 و کاهش راندمان بیشتری می شود. کروکستون و تالیس (Crookston and Tullis, 2012) در پژوهش های خود نتیجه گرفتند که کاهش زاویه با جدارها سبب افزایش تداخل تیغه های ریزشی و استغراق موضعی می شود و کاهش ضریب دبی را به دنبال خواهد داشت؛ این نتیجه گیری با کاهش راندمان CL1 نسبت به TL1 همخوانی دارد.

شکل (۳) تغییرات ضریب دبی C_d را برای سرریز کنگره ای مثلثی تک سیکل TL1 و نیم دایره ای تک سیکل CL1 نشان می دهد. طبق شکل (۳)، کارایی سرریز TL1 نسبت به CL1 بهتر است، به طوری که ضریب دبی سرریز نیم دایره CL1 در H_T/P برابر با ۰/۳ در حدود ۶ درصد و در H_T/P برابر با ۰/۶ در حدود ۹ درصد کمتر از سرریز کنگره ای مثلثی TL1 است. این روند بصورت کاملا یکنواخت دیده نمی شود و دارای کمی نوسان است. بر طبق شکل (۴)، دو سرریز مورد بررسی راس رو به پایین دارند اما سرریز کنگره ای نیم دایره CL1 زاویه کمتری ($\alpha_2 < \alpha_1$) با جداره پایین دست



شکل ۳- مقایسه ضریب دبی در سرریزهای کنگره ای TL1 و CL1

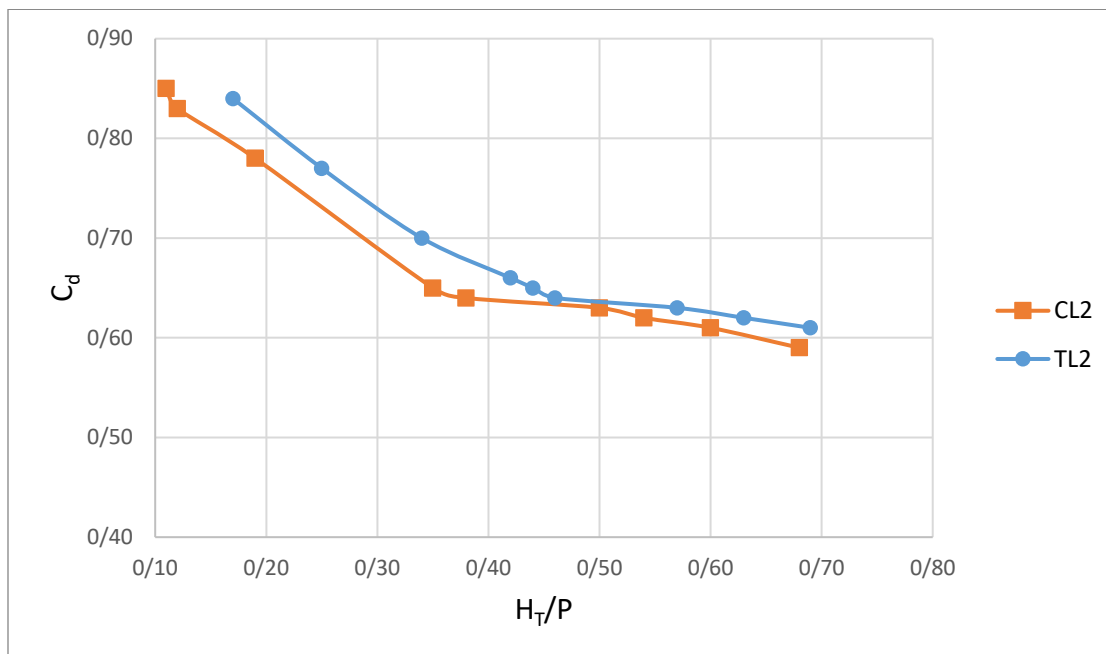
Figure 3. Comparison of discharge coefficient in TL1 and CL1 labyrinth weir



شکل ۴- الگوی جریان در سرریزهای کنگره‌ای تک‌سیکل CL1 و TL1
Figure 4. Flow pattern in CL1 and TL1 one-cycle labyrinth weirs

فاصله بین دو نمودار نسبت به شکل (۴) کمتر شده است، به طوری که سرریز CL2 در H_T/P برابر با $0/3$ در حدود ۴ درصد و در H_T/P برابر با $0/6$ ، تقریباً ۳ درصد نسبت به TL2 ضریب دبی کمتری دارد. با تغییر راس دو سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره و مثلثی به سمت بالا، راندمان آنها افزایش یافته است، اما راندمان سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره افزایش بیشتری نشان می‌دهد و به سرریز کنگره‌ای مثلثی نزدیک‌تر شده است. دلیل این افزایش راندمان در سرریز CL2، افزایش زیاد زاویه کناره‌های سرریز نسبت به دیواره پایین دست کانال است. جت‌های جریان در راس سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره CL1 با زاویه تقریباً 180° درجه با هم برخورد می‌کردند که در CL2 این مسئله حذف شده است. در سرریز کنگره‌ای مثلثی نیز برخورد جت در راس و زاویه کم با جدار کانال وجود داشته است، اما تاثیر آنها کمتر بوده است.

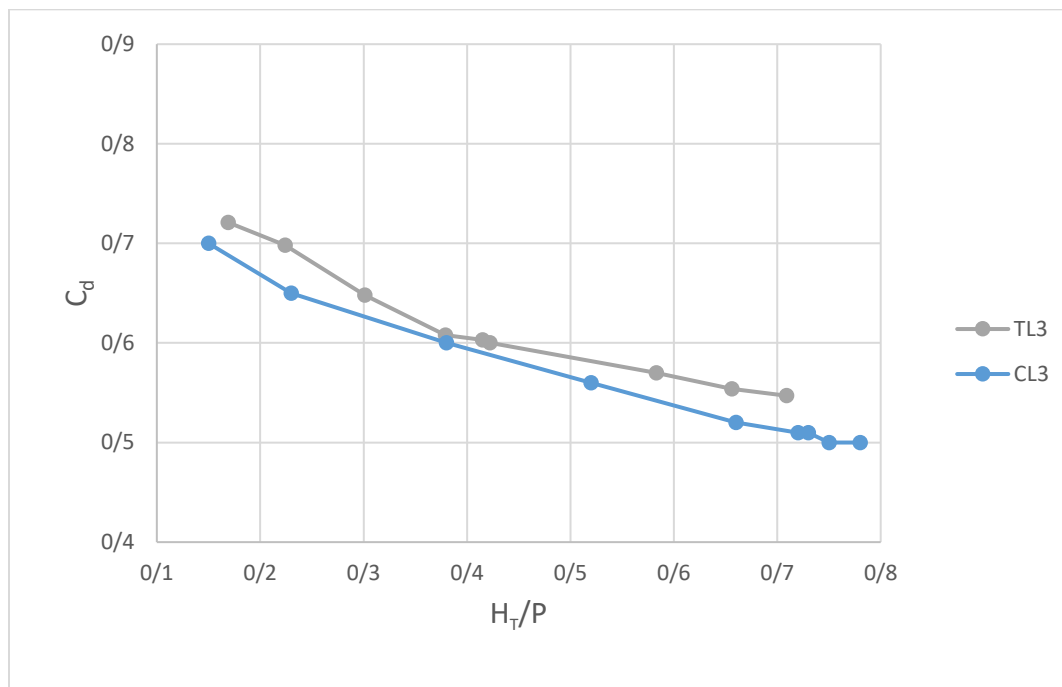
شکل (۵) به مقایسه سرریزهای کنگره‌ای تک‌سیکل با راس رو به بالای مثلثی TL2 و نیم‌دایره‌ای CL2 می‌پردازد. در پایین دست سرریز کنگره‌ای CL2، زاویه بین سرریز و جدار کانال بسیار بزرگ‌تر از CL1 است و تیغه‌های ریزشی عملاً برخورد شدیدی با دیواره کناری نخواهند داشت. در راس سرریزهای کنگره‌ای CL2 و TL2، جت‌های جریان از هم دور می‌شوند و برخوردی در راس ندارند و بنابراین سبب ایجاد آشفستگی نمی‌شوند. تالیس و همکاران (Tullis *et al.*, 2020) نیز نشان دادند که هندسه‌های راس بالادست نسبت به هندسه‌های دارای راس پایین دست از نظر راندمان هیدرولیکی عملکرد بهتری دارند و بنابراین سرریزهای کنگره‌ای دارای راس رو به بالای CL2 و TL2 به ترتیب و به طور میانگین ۱۰ درصد و $5/4$ درصد راندمان بالاتری از CL1 و TL1 دارند. بر طبق شکل (۵) سرریز کنگره‌ای مثلثی راندمان بالاتری از سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دارد. البته



شکل ۵- مقایسه ضریب دبی در سرریزهای کنگره ای TL2 و CL2
 Figure 5. Comparison of discharge coefficient in TL2 and CL2 labyrinth weir

در کاهش ضریب دبی موثر است. برخورد جت های جریان با زاویه بزرگتر در سرریز CL3 نسبت به TL3 سبب آشفتگی بیشتر جریان و کاهش راندمان سرریز نیم دایره ای می شود. افزایش تعداد سیکل ها بر طبق پژوهش های پیشین از جمله کریستنسن (Christensen, 2013) و تالیس و همکاران (Tullis et al., 2020) میزان راندمان عبور جریان را در سرریز کنگره ای کاهش خواهد داد. تالیس و همکاران (Tullis et al., 2020) می گویند افزایش تعداد سیکل و تعداد راس ها سبب بیشتر شدن اثر استغراق موضعی خواهد شد و در نتیجه ضریب دبی را کاهش خواهد داد.

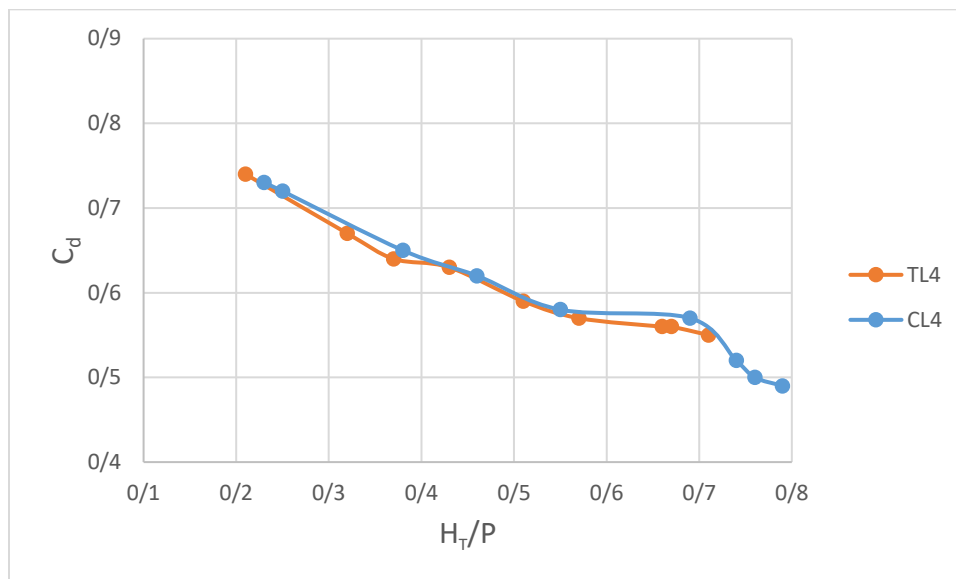
شکل (۶) تغییرات ضریب دبی را در سرریزهای کنگره ای مثلثی دو سیکل با راس رو به پایین (TL3 و CL3) نشان می دهد. بر طبق شکل، سرریز کنگره ای نیم دایره CL3 در H_T/P برابر با $0.3/6$ نزدیک به $3/5$ درصد و در H_T/P برابر با $0.4/6$ در حدود 4 درصد ضریب دبی کمتری دارد. بنابراین، نسبت به سرریزهای کنگره ای تک سیکل رو به پایین، ضریب های دبی دو نوع سرریز مثلثی و نیم دایره به هم نزدیک تر شده اند. در این شکل نیز سرریز کنگره ای مثلثی همچنان راندمان بالاتری را دارد. زاویه کم سرریز CL3 با جدار کانال، سبب برخورد تیغه ریزشی با جدار کانال و ایجاد استغراق موضعی می شود و



شکل ۶- مقایسه ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای TL3 و CL3
Figure 6. Comparison of discharge coefficient in TL3 and CL3 labyrinth weirs

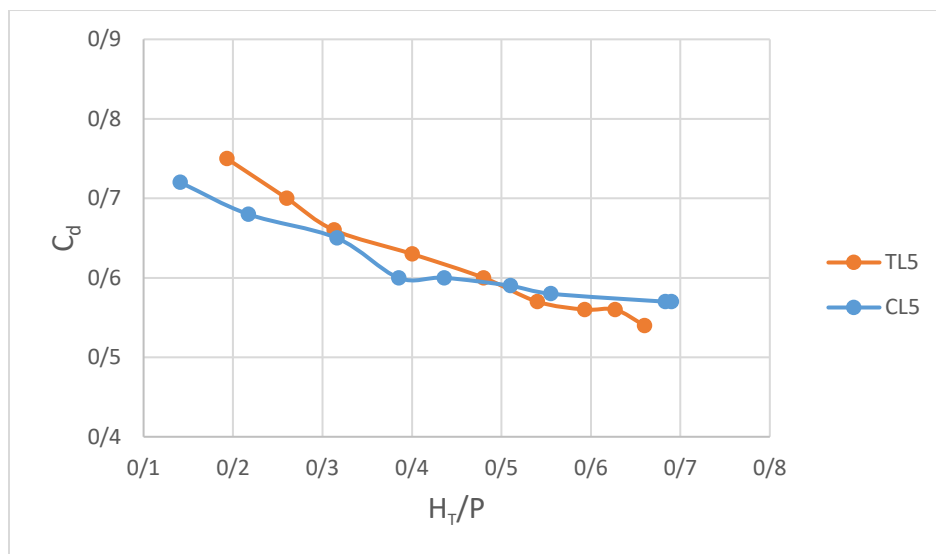
ریزشی با دیواره‌ها و کاهش جریان عبوری می‌شود. بنابراین، سرریز TL3 تا حدودی ضریب دبی کمتری دارد. سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دو سیکل CL4 نیز به دلیل وجود راس رو به بالا راندمان بهتری نسبت به سرریز نیم‌دایره‌ای دو سیکل CL3 با راس رو به پایین دارد. زاویه بسیار کم کناره سرریز CL3 با جدار کانال، سبب برخورد تیغه ریزشی در کناره‌ها با جدار کانال و ایجاد استغراق موضعی شده است که راندمان CL3 را به میزان زیادی کاهش داده است. بنابراین، با افزایش زیاد زاویه سرریز با جدار کانال در CL4، راندمان CL4 نسبت به CL3 افزایش زیادی داشته و سبب شده است دو نمودار TL4 و CL4 به هم نزدیک شوند.

شکل (۷) تغییرات ضریب دبی را در سرریزهای کنگره‌ای مثلثی دو سیکل با راس رو به بالا (TL4 و CL4) نشان می‌دهد. روند کلی دو سرریز مورد بررسی نشان می‌دهد که ضریب دبی تقریباً یکسانی دارند. سرریز کنگره‌ای TL4 راندمان کمی بالاتر از راندمان سرریز کنگره‌ای TL3 دارد. در سرریز TL3 دو راس به سمت پایین دست وجود دارد و تعداد برخورد جت‌های جریان در آنها بیشتر است تا در سرریز TL4 با یک راس به سمت پایین دست. برخورد بیشتر جت‌ها سبب آشفتگی بیشتر جریان و حذف بیشتر طول سرریز می‌شود. از طرفی، در سرریز TL3 زاویه بین سرریز و دیواره کانال در پایین دست سرریز کمتر شده است. این موضوع سبب برخورد تیغه‌های



شکل ۷- مقایسه ضریب دبی در سرریزهای کنگره ای TL4 و CL4
 Figure 7. Comparison of discharge coefficient in TL4 and CL4 labyrinth weirs

شکل (۸) ضریب دبی را برای سرریزهای کنگره ای همسان TL5 و CL5 نشان می دهد. سرریزهای مورد بررسی در این شکل دارای راندمان بین نوع ۲ و ۴ هستند، زیرا یک راس رو به پایین و یک زاویه کوچک بین سرریز و جدار کانال دارند. در این شکل، سرریز مثلثی TL5 تا H_T/P برابر با ۰/۵ راندمان بالاتری از CL5 دارد و سپس راندمان آن کمتر می شود.



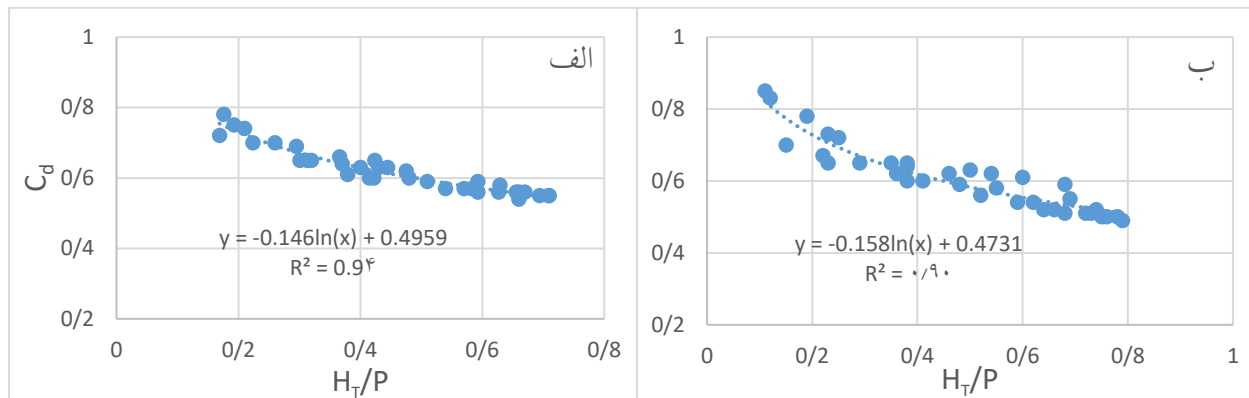
شکل ۸- مقایسه ضریب دبی در سرریزهای کنگره ای TL5 و CL5
 Figure 8. Comparison of discharge coefficient in TL5 and CL5 labyrinth weirs

نشاندهنده برازش مناسب به داده‌ها می‌باشند.

$$C_d = -0.146 \ln\left(\frac{H_T}{P}\right) + 0.4959 \quad (5)$$

$$C_d = -0.158 \ln\left(\frac{H_T}{P}\right) + 0.4731 \quad (6)$$

شکل (۹) تغییرات ضریب دبی را برای تمامی آزمایش‌های سرریزکنگره‌ای مثلثی و نیم‌دایره نشان می‌دهد. رابطه (۵) برای سرریزهای کنگره‌ای مثلثی با رگرسیون ۰/۹۴ و رابطه (۶) برای سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای با رگرسیون ۰/۹۰



شکل ۹- منحنی تغییرات C_d بر حسب H_T/P برای سرریزهای کنگره‌ای الف) مثلثی و ب) نیم‌دایره‌ای

Figure 9. The curve of changes of C_d in terms of H/P for labyrinth weirs a) Triangular and b) Semi.circular

نظیر تعداد سیکل حذف شود و تنها پارامترهای زاویه با جدار کانال و زاویه راس سرریز اهمیت پیدا کند. سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره با راس رو به پایین دارای زاویه کمتری با جدار پایین‌دست کانال نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی مشابه است. این موضوع سبب برخورد بیشتر تیغه‌های ریزشی با جدار کانال و ایجاد استغراق موضعی بیشتر در کناره‌ها می‌شود و راندمان سرریز را کاهش می‌دهد. زاویه برخورد جت‌های جریان در راس سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای با راس رو به پایین بیشتر است تا در راس سرریز کنگره‌ای مثلثی که سبب ایجاد آشفتگی بیشتر در راس سرریز کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای و در نتیجه کاهش راندمان بیشتر می‌شود. با قرارگیری راس سرریز کنگره‌ای به سمت بالادست، برخورد جت‌های جریان در راس حذف می‌شود و زاویه سرریز با جدار کانال پایین‌دست افزایش می‌یابد که نهایتاً سبب افزایش راندمان سرریز می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و نیم‌دایره‌ای همسان در یک و دو سیکل پرداخته شد. با توجه به همپوشانی اثر L/W ، تعداد سیکل و زاویه راس سرریز بر ضریب دبی، سعی بر ثابت نگه داشتن تعدادی از پارامترها برای بررسی ضریب دبی بوده است. طول سرریز در این پژوهش ثابت و برابر با ۱/۲۶ متر در نظر گرفته شد و بنابراین اثر L/W از مقایسه بین سرریزها حذف گردید. از طرفی، سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و نیم‌دایره‌ای همسان مورد بررسی قرار گرفتند. بدین معنی که سرریز کنگره‌ای مثلثی تک سیکل با راس رو به پایین با مشابه آن که به شکل نیم‌دایره است، مقایسه گردید و سرریزهای دیگر نیز با سرریز همسان خود مقایسه شدند. این نوع بررسی سبب می‌شود تا اثر پارامترهای

میزان افزایش راندمان در سرریزکنگره‌های نیم‌دایره‌ای با راس بیشتر است و در نتیجه ضریب دبی دو سرریز در حالت راس به سمت بالادست نسبت به سرریزکنگره‌ای مثلثی مشابه رو به بالا به هم نزدیک و تقریباً یکسان می‌شوند.

مراجع

- Abbasi, S., Fatemi, S., Ghaderi, A., and Di Francesco, S. (2020). The effect of geometric parameters of the antivortex on a triangular labyrinth side weir. *Water Journal*, 13(1), 14.
- Bijankhan, M., and Kouchakzadeh, S. (2017). Unified discharge coefficient formula for free and submerged triangular labyrinth weirs. *Flow Measurement and Instrumentation Journal*, 57, 46-56.
- Christensen, N. A. (2013). Flow characteristics of arced labyrinth weirs. M.S. thesis, Utah State Univ., Logan, UT.
- Crookston, B.M. and Tullis, B.P. (2012). Labyrinth weirs. Nappe interference and local submergence. *Journal of irrigation and drainage*, 138(8):757-765.
- Dutta, D., Mandal, A., and Afzal, M. S. (2020). Discharge performance of plan view of multi-cycle W-form and circular arc labyrinth weir using machine learning. *Flow Measurement and Instrumentation Journal*, 73, 101740.
- Esmaeili Varak, M., Safarrazavi Zadeh, M. (2013). Study of Hydraulic Features of Flow Over Labyrinth Weir with Semi-circular Plan form, *Water and Soil Journal*, 27(1), 224-234. (In Persian)
- Fili, J., Heidarnejad, M. Masjedi, A and Asadi Lor, M. (2022). Experimental Investigation of the Effect of the Geometry of Trapezoidal Arced Labyrinth Weirs on Flow Discharge Coefficient. *Water Resources Engineering Journal*, 14(51), 73-86. (In Persian)
- Karami, H., Karimi, S., Bonakdari, H., and Shamshirband, S. (2018). Predicting discharge coefficient of triangular labyrinth weir using extreme learning machine, artificial neural network and genetic programming. *Neural Computing and Applications Journal*, 29(11), 983-989.
- Misaghi, F., Seddigh, A., Amani, A. (2021). Flow rate coefficient in jap weir single-cycle by CFD, *Water Engineering Journal*, 8(4), 31-43. (In Persian)
- Monjezi, R., Heidarnejad, M., Masjedi, A., Purmohammadi, M. H. and Kamanbedast, A. (2018). Laboratory investigation of the discharge coefficient of flow in arced labyrinth weirs with triangular plans. *Flow Measurement and Instrumentation Journal*, 64, 64-70.
- Mousavi, S. (2011). Investigating the drainage coefficient in the labyrinth side weirs in the combined shapes of quarter circle and triangle. Master's thesis. Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)
- Noori, B.M. and Aaref, N.T. (2017). Hydraulic Performance of Circular Crested Triangular Plan Form Weirs. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 11(4), 1-10.
- Qadri, A. and Daneshfaraz, R. and Hossein Jani, A., (2016), Numerical investigation of hydraulic performance of semi-circular labyrinth weir, 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran. (In Persian)

Safarrazavi Zadeh, M., Esmaeili Varaki, M., and Biabani, R. (2021). Experimental study on flow over sinusoidal and semicircular labyrinth weirs. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27(1), 304-313.

Tullis, B.P, Amanian, N., and Waldron, D. (1995). Design of labyrinth spillways. *American Society of Civil Engineering. Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3), 247-255.

Tullis, P. Crookstone, M. Brislin, J. and Seamons, T. (2020). Geometric Effects on Discharge Relationships for Labyrinth Weirs. *Journal of Hydraulic engineering*, 146(10), 0402006.

Yasi, M. Mohammadi. M. (2007). Study of Labyrinth Spillways with Curved Planform. *Jwss*, 11 (41) ,1-13



Original Research

Laboratory Investigation of the Performance of Triangular and Semi-circular Homologous Labyrinth Weirs

Farehesadat Arham Namazi, Javad Mozaffari*

*Corresponding Author: Associate Professor, Water Science & Engineering Department, Arak University.
Email: Javad_370@yahoo.com

http://doi: 10.22092/IDSER.2023.362473.1547

Received: 2 June 2023, Accepted: 11 August 2023

Abstract

Introduction

Labyrinth weirs, compared to linear weirs, reduce the flood height. Labyrinth weirs have a longer length than linear weirs and therefore the flood will pass over it with a lower height. But different forms of Labyrinth weirs have different efficiency. Considering the many effective parameters in the discharge coefficient of Labyrinth weirs, in this research, semi-circular and triangular homologous labyrinth weirs are investigated. Therefore, only changes in the angle of the weir head and the angle with the channel wall will be compared and investigated.

Methodology:

Experiments were performed in a channel with a width of 0.8 meters and a flow rate of up to 70 liters per second. Ten weir models with a thickness of 4 mm were made, five of which are triangular weirs and the others are semi-circular weirs. The height of the weirs is 15 cm and the ratio of the length of the weirs to the width of the channel (L/W) is equal to 1.58. Each triangular labyrinth weir was compared with its homologous semi-circular weir. This means that the single-cycle semi-circular Labyrinth weir with the upward apex will be compared with the triangular single-cycle Labyrinth weir with the upward apex. Other Labyrinth weirs will also be compared with their corresponding triangular Labyrinth weirs. This causes the angle of the head of the weir as well as the angle of the weir with the wall of the downstream channel to be investigated and other parameters effective in the discharge coefficient are constant in this investigation. Finally, according to the measured data, a relation for the discharge coefficient will be presented.

Results and Discussion:

The comparison of the triangular labyrinth weir with the identical semi-circular weir showed that the discharge coefficient of the triangular weirs is generally higher. The maximum reduction of discharge coefficient for semi-circular labyrinth weir is for single-cycle semi-circular weir and about 9% compared to TL1 triangular labyrinth weir. With the increase of cycles and the placement of the weir's apex towards the upstream, the distance between the discharge coefficient of the identical semi-circular and triangular labyrinth weirs decreases and their efficiency becomes almost the same. The smaller angle of the semi-circular labyrinth weir with downward apex with channel wall causes more interference of Nappe with the channel wall and cause more local submergence and reduce its efficiency. Also, the angle of impact of the flow jets at the apex of the semi-circular labyrinth weir with downward apex is greater than that of the triangular labyrinth weir, which causes more turbulence and as a result reduces the efficiency more at the apex of the semi-circular labyrinth weir. By placing the apex of the labyrinth weir towards the upstream, the impact of the flow jets at the apex is eliminated and the angle of the weir with the wall of the downstream channel increases, which ultimately increases the efficiency of the weir. The increase in efficiency in a semi-circular weir with the apex towards the upstream is more than in a similar triangular weir, and as a result, the discharge coefficient of the two weirs is close to each other. For triangular labyrinth weir, the discharge coefficient is equal to $-0.146\ln(H_T/P)+0.4959$ with a regression of 0.94 and for semicircular labyrinth weir, the discharge coefficient is equal to $-0.158\ln(H_T/P)+0.4731$ with a regression of 0.9, which indicates that these relationships fit the data well.

Conclusion:

The results showed that the labyrinth weirs with the upward apex have a better performance than the labyrinth weirs with the downward apex. Also, semi-circular labyrinth weirs have lower efficiency than triangular labyrinth weirs. Of course, with the placement of the apex of the labyrinth weirs upstream, the performance of the semi-circular labyrinth weirs increases and they approach the triangular labyrinth weirs. Therefore, in labyrinth weirs with upward apex, which have better performance, the use of each of semi-circular and triangular labyrinth weirs will not make much difference.

Key words: Semi-circular labyrinth weir, Triangular Labyrinth weir, Nappe Interference, local submergence