



Experimental study of the effect of wall slope on the discharge coefficient of labyrinth weirs

Mahdi Majedi-Asl^{✉1}, Rasoul Daneshfaraz², Meysam Shahbazi Marsa³

1. Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran. Email: mehdi.majedi@gmail.com
2. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran. Email: daneshfaraz@yahoo.com
3. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran. Email: mey13sam@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Jan. 4, 2022</p> <p>Received: May. 28, 2022</p> <p>Accepted: June. 6, 2022</p> <p>Published online: July. 23, 2022</p> <p>Keywords: Labyrinth, Weirs, Slope, Trapezoidal, Convergence.</p>	<p>The advantages of labyrinth weirs include high discharge coefficient and low water fluctuations, when flowing through the weir. The main objective of the present study is to experimentally investigate the variations of labyrinth weirs discharge coefficient (Cd) through altering the geometric parameters as the wall slope and the length of upstream and downstream apexes of each cycle. A total of 135 experiments were performed on 9 physical models in contracted canal (20 cm on each side). All models have been compared with the control sample (normal labyrinth weir, 80A). The results showed that the trapezoidal labyrinth weir with an upstream apex of 5 cm with a wall slope of 10 degrees in the state of convergence (U10A) has a higher discharge coefficient and efficiency than the model without a wall slope. Their maximum difference is more than 12%. Also, the trapezoidal labyrinth weir with an upstream apex of 8 cm with a wall slope of 10 degrees in the state of divergence (D10A) at the ratio of h/p lower than 0.37, has a higher performance than the 80A model. By increasing this ratio and discharge, its superiority decreases. Finally, the results showed that by changing the slope of the walls by 10 degrees, the performance of the trapezoidal labyrinth weir increases compared to the non-sloping walls (vertical walls).</p>

Cite this article: Majedi-Asl, M., Daneshfaraz, R., & Shahbazi Marsa, M. (2022). Experimental study of the effect of wall slope on the discharge coefficient of labyrinth weirs. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (5), 1023-1034.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.336840.669176>



بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب دیواره بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای

مهدی ماجدی اصل^۱، رسول دانشفراز^۲، میثم شهبازی مرصع^۳۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. ایمیل: mehdi.majedi@gmail.com۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. ایمیل: daneshfaraz@yahoo.com۳. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. ایمیل: mey13sam@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

از مزایای سرریزهای کنگره‌ای می‌توان به بالا بودن ضریب آبدی سرریز و پایین بودن نوسانات آب هنگام عبور جریان از روی تاج سرریز اشاره کرد. در این تحقیق ضریب دبی عبوری با تغییر هندسه سرریز از لحاظ تغییر شیب دیواره و تغییر طول دماغه در بالادست و پایین‌دست هر سیکل از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌است. در مجموع ۱۳۵ آزمایش بر روی ۹ مدل فیزیکی در تنگ شونده‌گی ۸۰ سانتی‌متری انجام شده‌است. تمامی مدل‌ها با مدل شاهد (سرریز کنگره ای نرمال) (80A) مورد مقایسه قرار گرفته‌است. نتایج نشان داد سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با دماغه بالادست ۵ سانتی‌متر با شیب دیواره ۱۰ درجه به صورت همگرایی (U10A) از ضریب دبی و کارایی بالاتری نسبت به مدل بدون شیب دیواره برخوردار است. اختلاف آنها در حالت حداکثر، بیشتر از ۱۲ درصد می‌باشد. همچنین مدل سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با دماغه بالادست ۸ سانتی متر با زاویه شیب دیواره ۱۰ درجه به صورت واگرایی (D10A) و نسبت $\frac{H_f}{P}$ پایین‌تر از ۰/۳۷ از عملکرد بالاتری نسبت به مدل 80A برخوردار است و با افزایش این نسبت و افزایش دبی، برتری آن کاهش می‌یابد. این تحقیق نشان داد که با تغییر ۱۰ درجه‌ای در شیب دیواره‌ها عملکرد سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای نسبت به حالت بدون شیب دیواره افزایش می‌یابد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۵/۱

واژه‌های کلیدی:

سرریزهای کنگره‌ای،

همگرایی،

واگرایی،

دوزنقه‌ای،

ضریب دبی

استناد: ماجدی اصل، مهدی؛ دانشفراز، رسول؛ شهبازی مرصع، میثم (۱۴۰۱). بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب دیواره بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای. مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۵)، ۱۰۳۴-۱۰۲۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.336840.669176>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

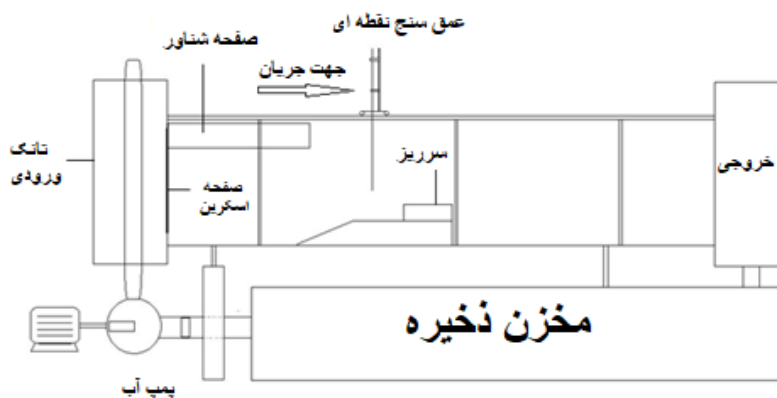
مقدمه

برای تخلیه آب سیلاب‌ها و آب اضافی از بالادست به پایین دست سدها، از سازه‌هایی به نام سرریز استفاده می‌شود با توجه به حساس بودن مسئولیت سازه‌ای سرریز، ضروری است این سازه مطمئن، قوی و با عملکرد بالا باشد، تا در هر زمان آمادگی کافی بهره‌برداری را داشته باشد. از اهداف ساخت سرریزها می‌توان به اندازه‌گیری شدت جریان، کنترل فرسایش بستر رودخانه‌های با شیب زیاد نیز اشاره کرد. در شرایطی که محل احداث سرریز با محدودیت در عرض و سطح آب بالادست مواجه باشد، یکی از مهم‌ترین راهکارهای افزایش ظرفیت دبی، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای می‌باشد. که در این گونه از سرریزها، افزایش طول تاج سرریز با زیگزاک کردن سرریز در پلان صورت می‌گیرد. لذا در این راستا گرایش محققان به تحقیق در مورد ضریب دبی و کارایی سرریزها رو به افزایش بوده و در این راستا مطالعات تجربی و آزمایشگاهی زیادی در جهت بهبود و پیشبرد روش‌های تجربی جهت محاسبه ضریب دبی، انتخاب هندسه مناسب و افزایش کارایی این گونه سرریزها انجام شده‌است. اولین بار Gentilini (1940) به بررسی سرریزهای هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای پرداخت. توسعه و طراحی سرریزهای کنگره‌ای توسط Taylor (1968) و بعد از آن توسط Hay and Taylor (1970) شروع شد. Darvas (1971) نتایج تحقیقات خود را ساده‌تر و جدا از برآورد دبی سرریز خطی ارائه کرد. همچنین یک دسته منحنی برای طراحی سرریزهای دوزنقه‌ای با شکل تاج ربع دایره‌ای ارائه کرد. همچنین Tullis et al (1995) بیان کردند که کارایی و دبی سرریزهای کنگره‌ای تا چند برابر سرریزهای خطی می‌باشد. Copeland and Fletcher (2000) بیان کردند که ظرفیت سرریزهای کنگره‌ای به دو پارامتر اندازه و جهت جریان نزدیک شونده حساس می‌باشند. Jafari nadoshan (2010) به بهینه‌سازی هندسه سرریزهای کنگره‌ای با بهره‌گیری از مدل فازی - عصبی و الگوریتم ژنتیک پرداخت و اعلام کرد از لحاظ اقتصادی سرریز کنگره‌ای با شکل پلان دوزنقه‌ای نسبت به نوع مثلثی آن مورد مناسب‌تری هست. بعلاوه با استفاده از داده‌های به دست آمده از روش CFD و بر اساس طول‌های متفاوت دماغه، روشی برای طراحی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل ارائه نمود. Khode et al (2012) با انگیزه افزایش دامنه اختیارات در طراحی سرریزهای کنگره‌ای، دسته‌ای دیگر از نمودارهای طراحی را در بازه گسترده‌تری از زاویه دیوار جانبی سرریز ارائه کردند. Seamons (2014) تأثیر تغییرات در هندسه سرریزهای کنگره‌ای بر روی عملکرد آن‌ها را مورد آزمایش قرار داد. Rezaee at el (2016) با مطالعه بر روی سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی به این نتیجه رسیدند که در یک نسبت H_t/p ثابت با افزایش طول دماغه، دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد. Zamiri et al (2017) به مطالعه عددی موثر بر عملکرد هیدرولیکی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای پرداختند که نتیجه گرفتند افزایش ضخامت دیواره سرریز کنگره‌ای سبب افزایش عمق و سرعت جریان عبوری از سرریز شده و به تبع آن از مقدار ضریب دبی کاسته می‌شود. Goodarzi et al (2017) با مطالعه بر روی تأثیر شیب دیواره پایین دست بر ضریب آبگذری سرریز کنگره‌ای انحنادار به این نتیجه رسیدند که شیب پایین دست سرریزهای کنگره‌ای انحنادار باعث کاهش سودمندی سرریزهای کنگره‌ای می‌شود. Roushangar et al (2018) با تحقیق بر روی تأثیر عملکرد زاویه سیکل قوسی بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای و کلید پیانویی به این نتیجه رسیدند که سرریزهای کنگره‌ای قوسی در دبی‌های پایین هرچه زاویه سیکل قوسی بیشتر باشد عملکرد سرریز بهتر هست. Sangsedifi et al (2018) با مطالعه بررسی اثرات تأثیر دیوارهای هادی جریان بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای قوسی به این نتیجه رسیدند که تعبیه دیوارهای هادی جریان کارایی سرریز را در بارهای هیدرولیکی بالا تا حدود ۲۰ درصد بهبود می‌بخشد. Azarpeyvand et al. (2019) نشان داد در یک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب با توجه به افزایش طول موثر عملکرد سرریز نسبت به سایر سرریزهای خطی و کنگره‌ای افزایش می‌یابد. هدف از این تحقیق بررسی شیب‌های بدنه متفاوت دیواره سرریز (نسبت به حالت نرمال و عمودی) در شرایط هندسی و هیدرولیکی مختلف برای یافتن مناسب‌ترین شیب بدنه دیواره به منظور شناسایی بهترین عملکرد سرریز می‌باشد. Samadi Garehveran at el (2019) به بررسی تأثیر آرایش‌های مختلف شمع بر عملکرد هیدرولیکی و ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک سیکل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وجود شمع‌ها باعث افزایش ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای دایره‌ای از $2/6$ تا 15 درصد می‌شود که شعاع سرریز، نحوه و محل قرارگیری شمع‌ها در میزان این افزایش موثر است.

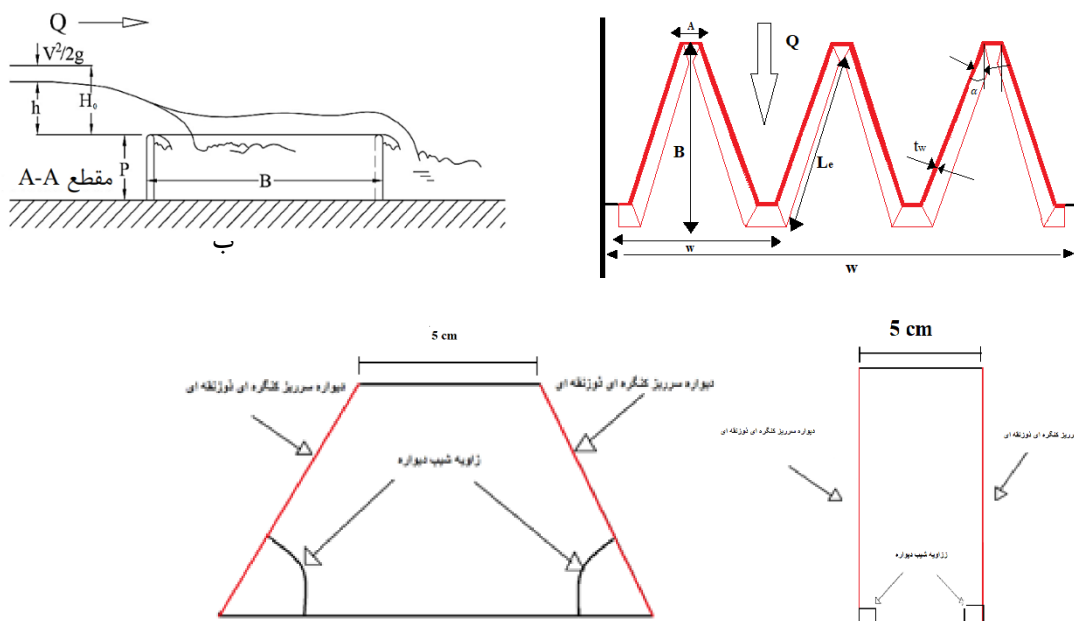
مواد و روش‌ها

کلیه آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه در کانال روباز با مقطع مستطیلی به طول ۱۳ متر، عرض ۱۲۰ سانتی متر و عمق ۸۰ سانتی متر با سیستم جریان آزاد انجام گردید. این فلوم دارای کف فلزی می‌باشد که جهت تامین دبی مورد نیاز هر آزمایش از پمپ آب با قابلیت ایجاد تغییرات در دبی استفاده شده است که قدرت پمپاژ آن بین ۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. دبی‌های مورد نظر توسط دستگاه دبی‌سنج آلتراسونیک با دقت حدود $0/01$ که حسگرهای آن بر روی لوله مکش پمپ نصب گردیده است، اندازه‌گیری شد. در ابتدای فلوم جهت آرام کردن جریان ابتدا از دو صفحه مشبک استفاده گردیده است که جریان ابتدا از این دو

صفحه عبور کرده و در ادامه از یک صفحه شناور برای کاهش تلاطم سطح آب نیز استفاده شده است. همه مدل‌های مورد آزمایش بر روی کف‌بند شیشه‌ای نصب گردیده‌اند و برای آرام کردن جریان از یک صفحه شیب‌دار متصل استفاده شده است. تا خطوط جریان موازی از کف فلوم به صفحه کف بند جریان یابد. که طبق یافته‌های Willmore (2004) تاثیری بر روی کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای ندارد. برای هر دبی اندازه‌گیری شده جهت حصول اطمینان از جریان پایدار در کانال، اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی مانند عمق و دبی جریان بعد از ۱۰ دقیقه انجام گرفته است. برای اندازه‌گیری عمق آب نیز از عمق سنج میله‌ای (نقطه‌ای) با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شده است این عمق سنج توانایی حرکت در طول و عرض کانال را دارا می‌باشد. همچنین در انتهای فلوم از یک دریچه جهت کنترل رقوم سطح جریان استفاده شده است. جهت قرائت داده‌های آزمایش ابتدا دبی جریان از روی عمق سنج قرائت شده سپس عمق سنج نقطه‌ای در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از دماغه سرریز قرار داده شده و سپس عمق آب قرائت شده است. شماتیک کلی از فلوم آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است همچنین پلان سرریزهای کنگره‌ای و پروفیل طولی جریان عبوری در شکل ۲ نیز نشان داده شده است. در این تحقیق ۹ مدل آزمایشگاهی ساخته شده است و در مجموع حدود ۱۳۵ آزمایش انجام شده است. خلاصه‌ای از مدل‌های مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. شماتیک کلی از امکانات فلوم آزمایشگاهی



د

ج

شکل ۲. الف) پلان سرریزهای کنگره‌ای واگرا (با شیب دیواره‌ها) ب) پروفیل طولی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای (کورکستون، ۲۰۱۰) ج) طرح شماتیک دماغه سرریز کنگره‌ای دوزنقه همراه با شیب دیواره به صورت همگر در بالادست د) طرح شماتیک دماغه سرریز کنگره‌ای دوزنقه در حالت بدون شیب دیواره

در جدول ۱، 80A علامت اختصاری سرریز بدون شیب دیواره است، U در ابتدای علامت اختصاری مدل بیانگر شیب دیواره به صورت همگرا همانند شکل ۲-ج (طول دماغه بالادست ۵ سانتی متر) و D ها بیانگر شیب دیواره به صورت واگرا (طول دماغه پایین دست ۵ سانتی متر) است. همان طور که در جدول شماره ۱ مشخص است. ۸ مدل با شیب دیواره بررسی شده است که ۴ مدل به صورت همگرا و ۴ مدل به صورت واگرا است. زوایای شیب دیواره به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ تعیین گردیده اند. تعداد سیکل های همه مدل ها N=3 در نظر گرفته شد. مدل های سرریز از جنس پلی اتیلن و با ضخامت ۱ سانتی متر ساخته شد. سرریزها در فاصله ۴ متری از بالادست کانال و در عرض ۸۰ سانتی متری (۲۰ سانتی متر فشردگی از هر سمت) نصب گردیده و بعد از حصول اطمینان از استقرار جریان پایدار اندازه گیری پارامترهای هیدرولیکی انجام گرفته است. محدوده تغییرات دبی ۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد و برای محاسبه ضریب جریان (Cd) در سرریزهای کنگره ای از معادله عمومی جریان روی سرریزها مطابق رابطه (۱) استفاده شده است (Henderson (1996)):

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2g} H_t^{1.5} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه Q، شدت جریان عبوری از روی سرریز کنگره ای قوسی برحسب مترمکعب بر ثانیه، L طول تاج سرریز برحسب متر، H_t ارتفاع انرژی کل جریان بالادست نسبت به تاج سرریز برحسب متر، C_d ضریب شدت جریان و g شتاب ثقل برحسب متر بر مجذور ثانیه می باشد.

جدول ۱- مشخصات مدل های فیزیکی ساخته شده در این تحقیق

ردیف	علامت مدل Experiment	نوع سرریز Weir type	ارتفاع سرریز P	طول دماغه بالادست Au	طول دماغه پایین دست Ad	تعداد سیکل N	نسبت بزرگنمایی Lc/w	زاویه شیب دیواره ها φ
۱	80A	کنگره ای	۱۰ cm	۵	۵	۳	۲/۸۱	۰
۲	U10A	کنگره ای	۹/۸ cm	۵	۸	۳	۲/۹۴	۱۰
۳	D10A	کنگره ای	۹/۸ cm	۸	۵	۳	۲/۹۴	۱۰
۴	U20A	کنگره ای	۹/۴ cm	۵	۱۱/۵	۳	۳/۰۶	۲۰
۵	D20A	کنگره ای	۹/۴ cm	۱۱/۵	۵	۳	۳/۰۶	۲۰
۶	U30A	کنگره ای	۸/۶ cm	۵	۱۵	۳	۳/۱۸	۳۰
۷	D30A	کنگره ای	۸/۶ cm	۱۵	۵	۳	۳/۱۸	۳۰
۸	U45A	کنگره ای	۷/۰۷ cm	۵	۱۹	۳	۳/۳۳	۴۵
۱۰	D45A	کنگره ای	۷/۰۷ cm	۱۹	۵	۳	۳/۳۳	۴۵

با استفاده از روش تحلیل ابعادی و با در نظر گرفتن پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی، پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره ای شامل H_t ارتفاع انرژی کل جریان بالادست نسبت به تاج سرریز، P ارتفاع تاج سرریز در سراب، D ارتفاع تاج سرریز در پایاب، L_c طول تاج سرریز، ضخامت دیواره سرریز، S₀ شیب کف بستر، W عرض سرریز، H_d بار هیدرولیکی کل در پایاب سرریز، g شتاب ثقل، σ ضریب کشش سطحی، μ لزجت دینامیکی، ρ جرم مخصوص، S_e عامل تعیین کننده شکل مقطع سرریز، N تعداد سیکل، α زاویه دیواره با راستای اصلی جریان، y₁ عمق آب در بالادست سرریز، v₁ سرعت آب در بالادست سرریز، A طول داخلی دماغه و φ زاویه شیب دیواره می باشد. پارامترهای مؤثر در ضریب دبی سرریزها در رابطه (۲) مشخص شده است.

$$Q = f(C_d, H_t, P, D, L_c, t, S_0, W, H_d, g, \sigma, \mu, \rho, S_e, N, \alpha, y_1, v_1, A, \varphi) \quad \text{رابطه (۲)}$$

با توجه به عدم تراکم جریان در سرریزها، می توان از اثر تغییرات جرم مخصوص جریان (ρ) صرف نظر نمود. همچنین چون جریان متلاطم هست می توانیم از اثر نیروی لزجت و کشش سطحی نیز صرف نظر کنیم (ASCE, (2000)). در نتیجه رابطه ۱ به ترتیب زیر در می آید:

$$Q = f(C_d, H_t, P, D, L_c, t, S_0, W, H_d, g, S_e, N, \alpha, y_1, v_1, A, \varphi) \quad \text{رابطه (۳)}$$

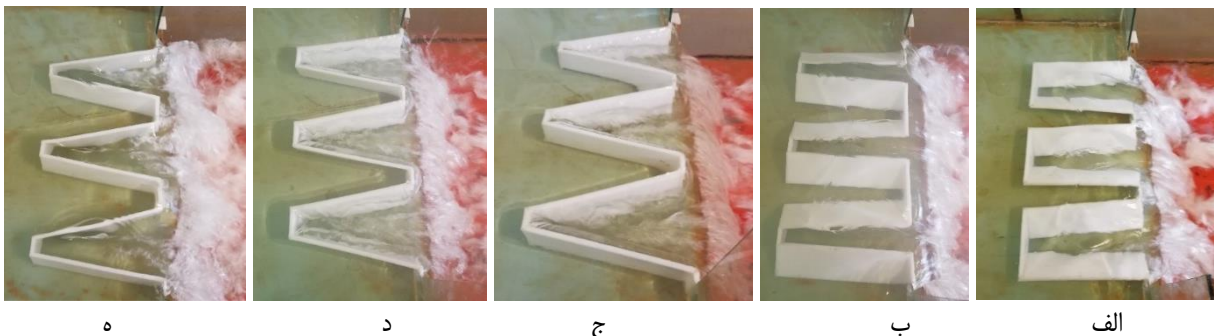
با کمک آنالیز ابعادی و بعد از ترکیب کردن می توان نمایش داد:

$$f\left(\frac{Q}{L_c \sqrt{g} H_0^{1.5}}, \frac{H_t}{P}, \frac{W}{P}, \frac{t}{P}, \frac{D}{P}, \frac{H_d}{H_0}, \frac{A}{t}, \frac{\rho y_1, v_1}{\mu}, \frac{\sigma}{\rho y_1, v_1^2}, S_e, S_0, N, \alpha, \varphi\right) = 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

معادله بالا رابطه کلی پارامترهای بی بعد در سرریز کنگره‌ای را نمایش می‌دهد. لذا با توجه به اینکه شیب کف کانال ثابت بوده و شکل تاج سرریز یکسان است می‌توان از پارامترهای S_e و S_0 چشم‌پوشی کرد. سرریزها در همه آزمایش‌ها به شکل آزاد عمل می‌کنند عبارتی دیگر جریان تحت شریط استغراق قرار نداشته و H_d برابر صفر بوده و در نتیجه پارامتر H_d/H_0 از معادله فوق حذف می‌گردد. با نظر به اینکه عرض کانال، ضخامت، زاویه دیواره و ارتفاع سرریزها ثابت می‌باشند، جریان در سرریز در کانال با محدوده ۳۵۰۰-۱۸۵۰۰ متلاطم بوده و می‌توان از عدد رینولتز $(\frac{\rho y_1, v_1}{\mu})$ صرف‌نظر کرد با توجه به اینکه حداقل ارتفاع آب روی سرریز برای جلوگیری از تأثیر کشش سطحی معادل ۳ سانتی‌متر در آزمایش‌های این تحقیق منظور شده است می‌توان از عدد وبر $(\frac{\rho y_1, v_1}{\mu})$ نیز صرف‌نظر کرد. لذا پارامترهای α ، N ، t/P ، W/P و D/P نیز از معادله فوق حذف می‌گردند و رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f\left(\frac{Q}{L_c \sqrt{g} H_0^{1.5}}, \frac{H_t}{P}, \frac{A}{t}, \varphi\right) = 0 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این مقاله تأثیر پارامتر بدون بعد $\frac{H_t}{P}$ بر ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با شیب‌های مختلف دیواره و طول دماغه‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است تا مناسب‌ترین سرریز از لحاظ عملکرد انتخاب گردد. در شکل (۳)، تصاویر سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با شیب دیواره به صورت همگرا (طول دماغه بالادست کوچک‌تر) و واگرا (طول دماغه بالادست بزرگ‌تر) نشان داده شده است.



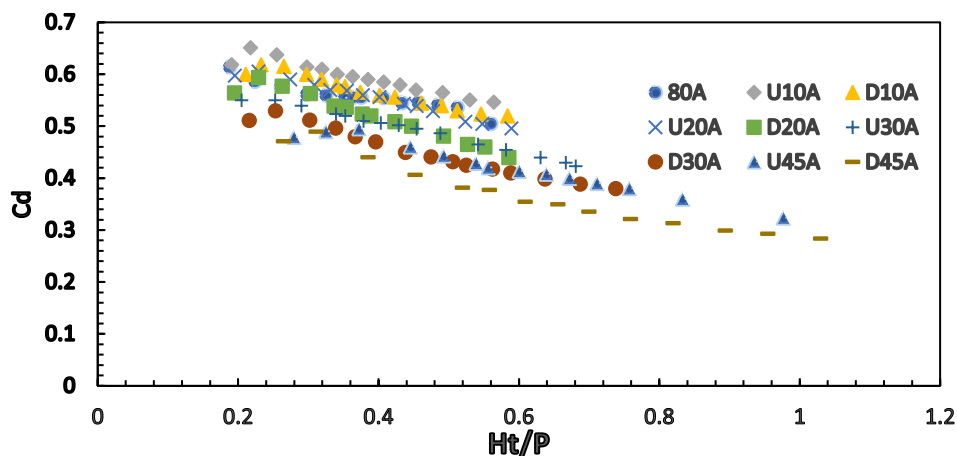
شکل ۳. نمونه‌ای از مدل‌های آزمایشگاهی: الف) سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای بدون شیب دیواره (80A) ب) سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با شیب دیواره ۱۰ درجه به صورت واگرا (U10A) ج) سرریز کنگره‌ای با شیب دیواره ۱۰ درجه به صورت همگرا (D10A) د) سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با شیب دیواره ۴۵ درجه به صورت واگرا (D45A) ه) سرریز کنگره‌ای با شیب دیواره ۴۵ درجه به صورت همگرا (U45A)

نتایج و بحث

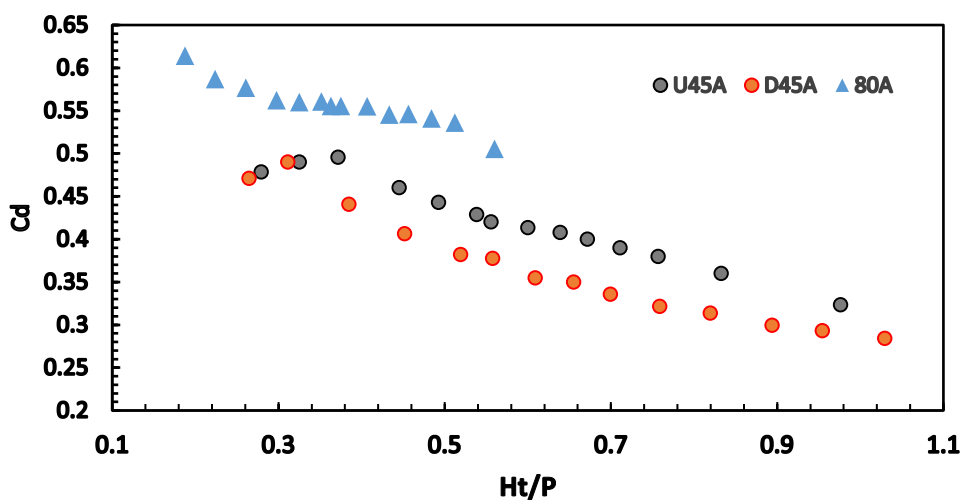
در شکل ۴ ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای ساخته شده در مقابل نسبت بار آبی (H_t/P) ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است سرریز کنگره‌ای D45A با واگرایی دیواره ۴۵ درجه (طول دماغه در بالادست آن ۱۹ سانتی‌متر و پایین دست آن ۵ سانتی‌متر) از کمترین ضریب دبی برخوردار می‌باشد و به ترتیب در بیشتر مواقع هرچه مقدار زاویه واگرایی و همگرایی کاسته می‌شود ضریب دبی افزایش می‌یابد. با دقت در شکل می‌توان دریافت که منحنی سرریز 80A پایین‌تر از سرریز U10A می‌باشد و اختلاف کمی با سرریزهای D10A و U20A دارد. در این نمودار همان‌طور که مشخص است با افزایش بار آبی در ابتدا عملکرد سرریز مقداری بهتر می‌شود و سپس با کاهش ضریب و عملکرد دبی مواجه می‌شوند. لذا در منحنی‌های بعدی به بررسی دقیق‌تر آن‌ها پرداخته شده است.

در شکل ۵ سرریز کنگره‌ای با زاویه همگرایی ۴۵ درجه و طول دماغه در بالادست ۵ سانتی‌متر (U45A) با سرریز کنگره‌ای با زاویه واگرایی ۴۵ درجه با طول دماغه بالادست ۱۹ سانتی (D45A) مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سرریز D45A کمترین ضریب دبی را نسبت به مدل U45A دارا است. با توجه به شکل در دبی‌های پایین ضریب دبی این دو سرریز بسیار نزدیک به هم می‌باشند با افزایش دبی اختلاف آن‌ها زیاد می‌شود. که علت آن‌ها می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش طول دماغه در بالادست، مقدار برخورد جریان با دماغه افزایش یافته و همین امر سبب افت انرژی بیشتر جریان می‌شود فلذا باعث کاهش ضریب دبی می‌شود. در شکل ۶ سرریز کنگره‌ای با زاویه همگرایی ۳۰ درجه و طول دماغه بالادست ۵ سانتی‌متر (U30A) با سرریز کنگره‌ای با زاویه واگرایی ۳۰ درجه با

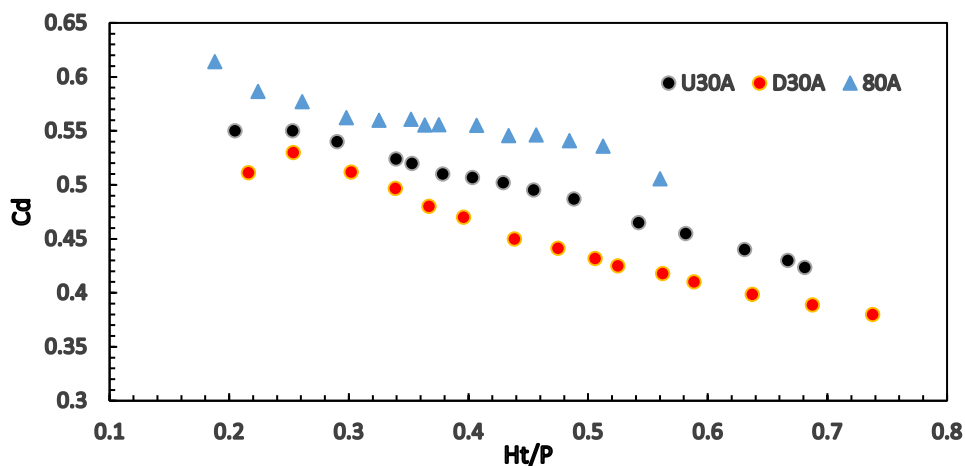
طول دماغه بالادست ۱۵ سانتی متر مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که از این منحنی می توان متوجه شد U30A از ضریب دبی بیشتری برخوردار می باشد. در دبی های پایین اختلافی حدود ۷ درصد دارند که در ادامه در محدوده $0.25 < H_t/P < 0.37$ مقداری این دو منحنی به هم نزدیک می شوند و مجدداً بعد از این ناحیه اختلاف افزایش می یابد. همچنین همانطور که پیش تر نیز بیان شد با افزایش بار آبی و یا به عبارتی با افزایش دبی عملکرد سرریز ابتدا بهتر شده و اما در نهایت شاهد کاهش عملکرد سرریز هستیم.



شکل ۴- منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره ای نسبت به بار آبی

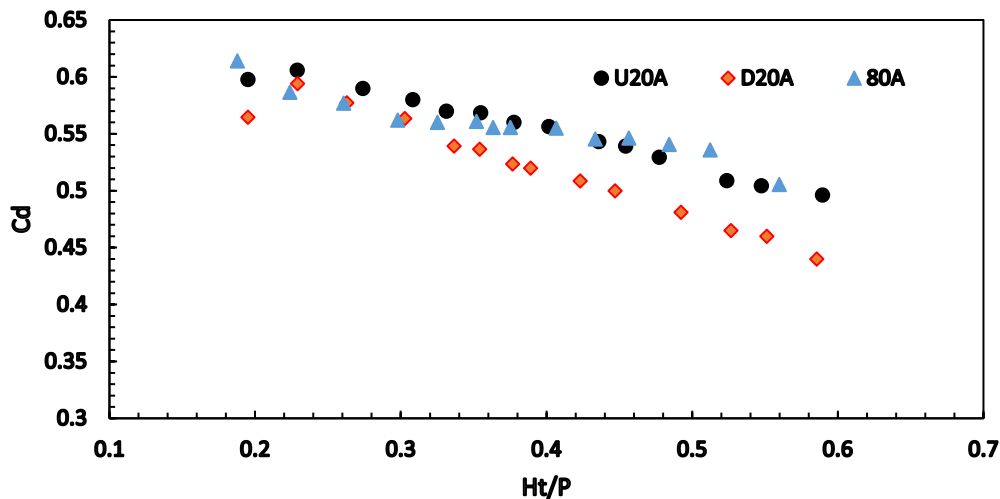


شکل ۵- منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره ای با همگرایی و واگرایی ۴۵ درجه نسبت به بار آبی



شکل ۶. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره ای با همگرایی و واگرایی ۳۰ درجه نسبت به بار آبی

در شکل سرریز کنگره‌ای با زاویه همگرایی ۲۰ درجه و طول دماغه در بالادست ۵ سانتی‌متر (U20A) با سرریز کنگره‌ای با زاویه واگرایی ۲۰ درجه با طول دماغه بالادست ۱۱/۵ سانتی (D20A) مورد مقایسه قرار گرفته است و همچنین برای مقایسه دقیق‌تر از مدل 80A نیز استفاده شده است. همان‌طور که مشخص است در این منحنی نیز U20A ضریب دبی بالاتری از D20A دارد. اما همان‌طور که در شکل مشخص است در دبی‌های پایین این دو منحنی باهم مقدار کمی اختلاف دارند در ناحیه $0.22 < H_t/P < 0.33$ اندکی این دو منحنی به هم نزدیک می‌شوند و به‌مرور با افزایش دبی اختلاف ضریب دبی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که به‌وضوح می‌توان دریافت منحنی 80A در دبی‌های پایین ابتدا ضریب دبی بالاتری دارد اما با مقداری افزایش دبی یعنی در بازه $0.22 < H_t/P < 0.35$ مقداری ضریب دبی کاهش یافته و به‌طور تقریبی با منحنی D20A مساوی می‌شود. اما به تدریج با افزایش دبی و بعد از محدوده ذکر شده ضریب دبی افزایش یافته است و از D20A بیشتر شده و مماس با U20A می‌شود. همان‌طور که در بالا اشاره شد در $H_t/P < 0.4$ مدل U20A ضریب دبی بیشتر از 80A دارد که این بدان معناست که مایل (همگرا) بودن دیواره‌ها سبب هدایت جریان و افزایش دبی در این محدوده شده است ولی بعد از آن ضریب دبی نسبت به 80A برابر و تا حدودی کاهش یافته است که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که به سبب ارتفاع کم سرریز و استعراق سریع‌تر دهانه‌ها می‌باشد. در این منحنی نیز شاهد کاهش عملکرد سرریز در دبی‌های بالا هستیم که نشان دهنده این است که با افزایش دبی و افزایش بار آبی عملکرد سرریز کاهش می‌یابد.



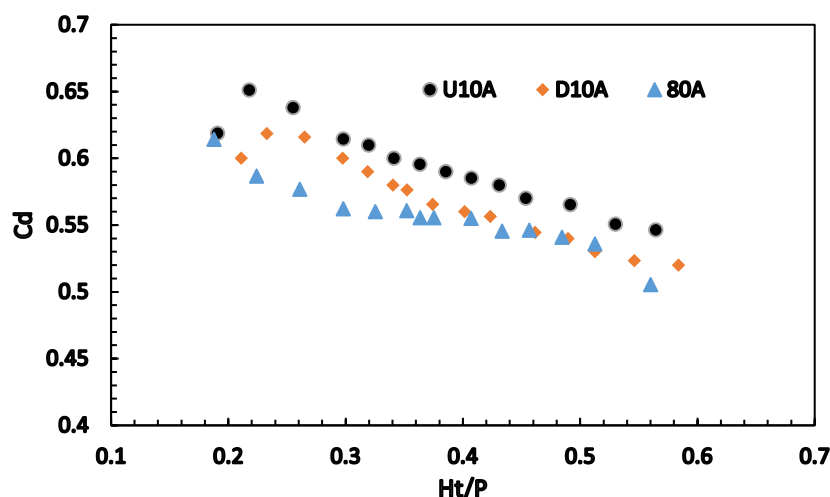
شکل ۷. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با همگرایی و واگرایی ۲۰ درجه نسبت به بار آبی

در شکل ۸ آنچه مشخص است مدل سرریز U20A در $H_t/P = 0.331$ تیغه‌های جریان در پشت دماغه باهم تداخل داشته که همین امر سبب می‌شود با افزایش دبی مقداری از کارایی سرریز کاهش یافته و ارتفاع آب بالای تاج سرریز افزایش یابد و منحنی تغییرات دبی نسبت به بار آبی آن در دبی‌های بالا مماس با منحنی مدل 80A باشد.

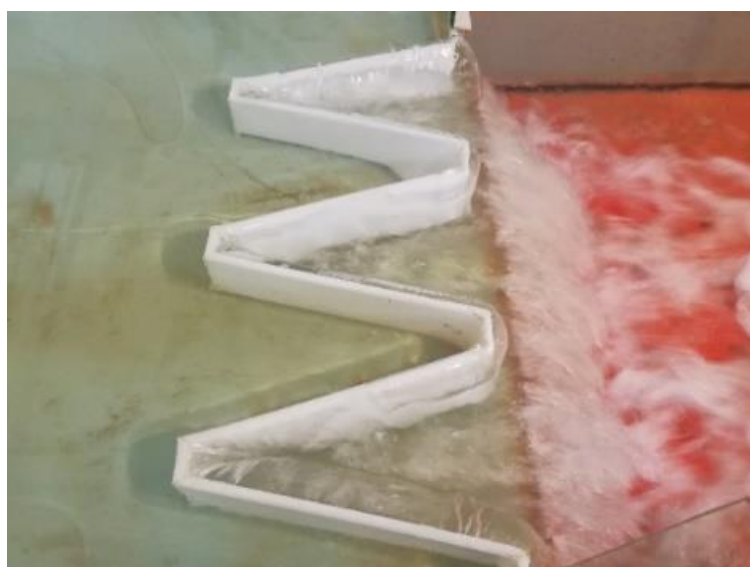


شکل ۸. مدل U20A در $H_t/P=0.331$

در شکل ۹ سرریز کنگره‌ای با زاویه همگرایی ۱۰ درجه و طول دماغه در بالادست ۵ سانتی‌متر (U10A) با سرریز کنگره‌ای با زاویه واگرایی ۱۰ درجه با طول دماغه بالادست ۸ سانتی (D10A) مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین در این شکل نیز سرریز 80A به‌منظور مقایسه دقیق‌تر (سرریز شاهد) استفاده شده است. در این منحنی در دبی‌های پایین ضریب دبی مدل U10A با مدل 80A در نقطه ماکزیمم، اختلاف ۱۲٪ دارند و به‌مرور با افزایش دبی و در محدوده $0.25 < H_t/P < 0.37$ این اختلاف کاهش یافته و بعد از این ناحیه مقدار ناچیزی این اختلاف بیشتر می‌شود. همچنین با مقایسه مدل 80A درمی‌یابیم که این مدل در دبی‌های پایین از ضریب دبی کمتری نسبت به دو مدل ذکر شده برخوردار است اما با افزایش دبی و افزایش H_t/P به تدریج این اختلاف کاهش یافته است و مماس با مدل D10A عملکرد یکسانی دارند. همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد مایل بودن دیواره‌ها سبب هدایت جریان و افت انرژی کمتر شده فلذا در مورد سرریز U10A با توجه به کوتاه‌تر بودن دماغه افت انرژی کمتر بوده و بالاتر از D10A قرار گرفته است همچنین در مدل D10A نیز دهانه‌های خروجی مؤثر واقع شده‌اند و جریان عملکرد بهتری نسبت به 80A داشته است. شکل ۱۰ مدل 80A در $H_t/P=0.26$ نشان داده شده است همان‌طور که مشخص است تداخل تیغه‌های جریان در دهانه‌های سرریز را نشان می‌دهد. مانند شکل‌های پیشین این شکل نیز بیان‌گر این موضوع است که با افزایش بار آبی عملکرد سرریز کاهش می‌یابد.

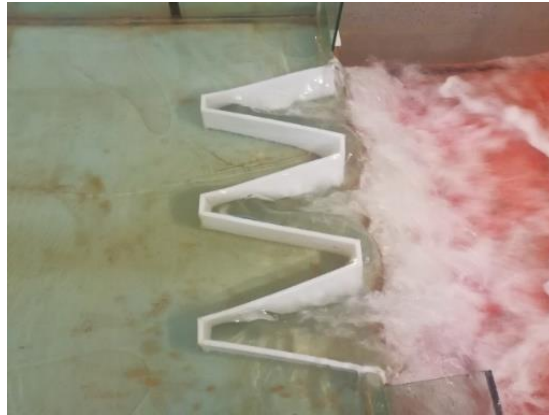


شکل ۹. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با همگرایی و واگرایی ۱۰ درجه نسبت به بار آبی



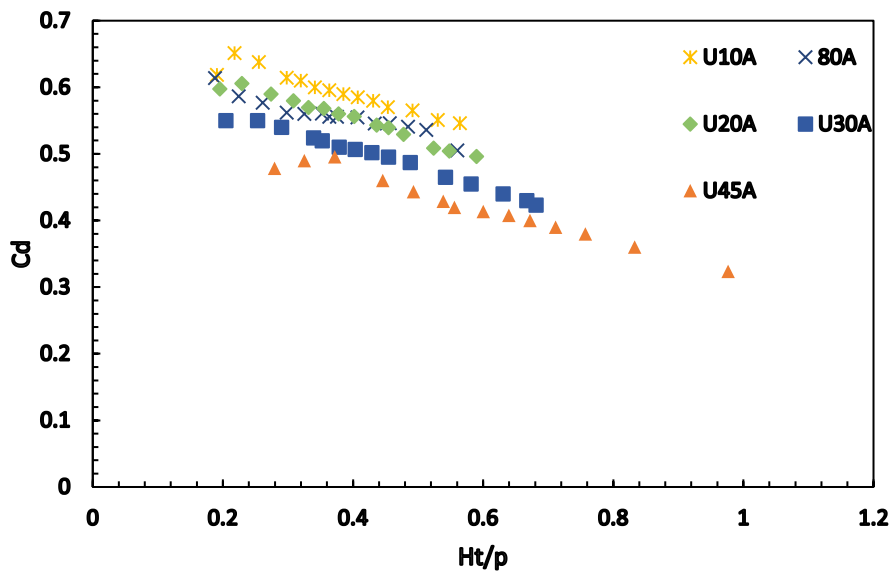
شکل ۱۰. مدل 80A در $H_t/P=0.26$

همچنین با توجه به منحنی و شکل ۱۱ می‌توان این‌گونه برداشت کرد که مدل 80A در $H_t/P > 0.52$ دچار استغراق موضعی به‌خصوص در سیکل اول و آخر (سیکل‌های کناری) شده که سبب کاهش عملکرد در این مدل می‌شود.



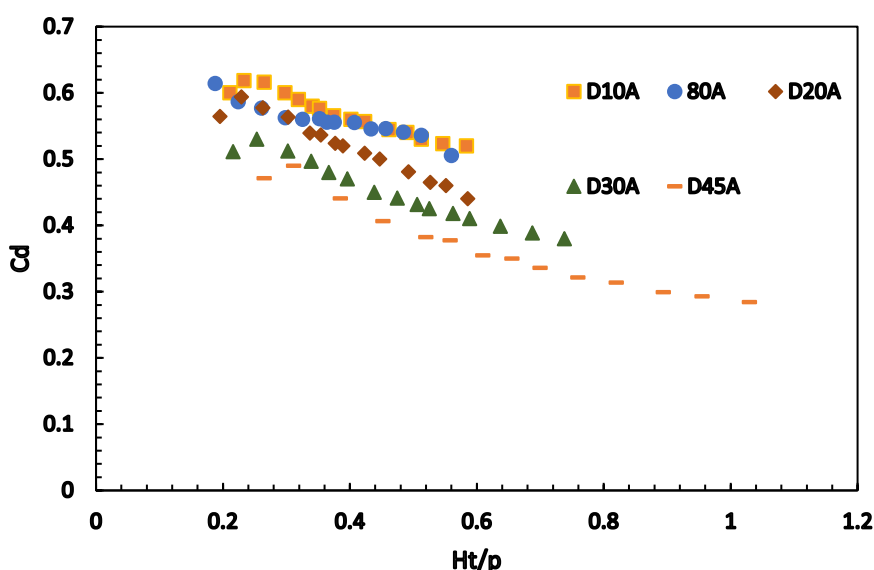
شکل ۱۱. مدل 80A در $\frac{H_t}{P} > 0.5$

در شکل ۱۲ به بررسی و مقایسه مدل‌ها با دیواره واگرا (دماغه جلو ۵ سانتی‌متر) می‌پردازیم همان‌طور که از شکل برداشت می‌شود و پیش‌تر مشاهده شد مدل U10A از ضریب دبی بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است و مدل U20A و 80A عملکرد بسیار نزدیکی به هم داشته‌اند و در نهایت مدل U45A از پایین‌ترین عملکرد نسبت به سایر مدل‌ها در این شکل برخوردار است. این نمودار نیز بیانگر کاهش عملکرد سرریز با افزایش دبی و بار آبی است



شکل ۱۲. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با واگرایی دیواره نسبت به بار آبی

همچنین در شکل ۱۳ به بررسی مدل‌ها با دیواره همگرا (دماغه پایین دست ۵ سانتی‌متر) می‌پردازیم در این شکل هم همان‌طور که پیش‌تر بیان شد D10A در محدوده $H_t/P < 0.37$ از عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است اما بعد از این محدوده تقریباً مماس با 80A می‌باشد. همچنین در ناحیه $0.22 < H_t/P < 0.33$ مدل 80A مماس با مدل D20A می‌باشد که بعد از این ناحیه و با افزایش دبی مدل 80A بالاتر از مدل D20A قرار می‌گیرد و همان‌طور که در شکل مشخص است مدل D45A از ضریب دبی پایین‌تری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. در این نمودار نیز همانند موارد پیشین شاهد کاهش عملکرد در دبی‌ها بالا هستیم.



شکل ۱۳. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با همگرایی دیواره نسبت به بار آبی

با توجه به شکل ۴ می‌توان این‌گونه برداشت کرد که سرریز U10A از عملکرد بهتری نسبت به سایر سرریزها برخوردار است که دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که این سرریز بعد از همگرا شدن با زاویه ۱۰ درجه باعث کاهش عمق آب در بالادست می‌شود که این عمل باعث افزایش عدد فرود می‌شود که با توجه به تحقیقات (ماجدی اصل، ۱۳۹۶) در یک H_t/P ثابت با افزایش عدد فرود کارایی سرریز نیز افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با طول دماغه در بالادست ۱۹ سانتی‌متر و پایین‌دست ۵ سانتی‌متر و یا به عبارتی دیگر مدل سرریز کنگره ای با واگرایی دیواره ۴۵ درجه نسبت به سایر مدل‌ها در تنگ‌شوندگی ۸۰ سانتی‌متر از ضریب دبی پایین‌تری برخوردار است. بعلاوه می‌توان نتیجه گرفت در هر زاویه همگرایی و واگرایی دیواره مدل‌هایی عملکرد بهتری دارند که دیواره آن‌ها در حالت همگرایی قرار گیرد به بیانی دیگر در هر زاویه همگرایی و واگرایی سرریزهایی که طول دماغه بالادست آن‌ها ۵ سانتی‌متر است از عملکرد بالاتری نسبت به سرریزهایی که طول دماغه پایین‌دست آن‌ها ۵ سانتی‌متر است برخوردار هستند.

مدل سرریز با طول دماغه بالادست ۵ سانتی‌متر و پایین‌دست ۸ سانتی‌متر یا به عبارتی دیگر مدل سرریز با همگرایی دیواره ۱۰ درجه در تنگ‌شوندگی ۸۰ سانتی‌متر از بالاترین ضریب دبی و کارایی نسبت به سایر مدل‌ها در تنگ‌شوندگی ۸۰ سانتی‌متر برخوردار است. به طوری که این مدل در تنگ‌شوندگی ۸۰ سانتی‌متری نسبت به مدل D45A که پایین‌ترین عملکرد را دارد در $H_t/P \approx 0.25$ اختلاف ضریب دبی آن‌ها تقریباً معادل ۳۴ درصد می‌باشد.

به طوری که سرریزها با شیب دیواره ۱۰ درجه در تنگ‌شوندگی ۸۰ سانتی‌متری چه در حالت همگرا چه در حالت واگرایی از عملکرد بالاتری برخوردار هستند بقیه مدل‌ها به جز مدل U20A که در دبی‌های پایین عملکرد بالاتری نسبت به مدل 80A داشته‌است از عملکرد پایین‌تری نسبت به مدل 80A برخوردارند. فلذا به منظور دستیابی به بالاترین عملکرد می‌توان با شیب‌دار کردن دیواره (۱۰ درجه) به صورت همگرا از سرریز کنگره‌ای استفاده نمود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- ASCE. (2000). Hydraulic modeling: Concepts and practice. Manual 97, American Society of Civil Engineering, Reston, Va, United States.
- Azarpeyvand, H., & Emadi, A., & Sedghi Asl, M. (2019). an experimental study of the discharge of the length



- increase effect on the composite trapezoidal labyrinth spillway. water and soil science (journal of science and technology of agriculture and natural resources), 23(1), 405-418. <https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=774890>
- Darvas, L.A. (1971). Discussion of 'Performance and design of labyrinth weirs,' by Hay and Taylor", American Society of Civil Engineering, *Journal of Hydraulic Engineering*, 97(80), 1246-1251.
- Gentilini, B.(1940). Stramazzi con cresta a pianta obliqua e a zig-zag. Memorie Studi dell Istituto di Idraulica e Construzioni Idrauliche del Regil Politecnico di Milano, No. 48 (in Italian)
- Goodarzi, M., & Ghodsian, M., & Mehraein, M. (2017). Yhe effect of downstream wall slope of curved labyrinth spillways on discharge coefficient. journal of civil engineering (journal of school of engineering), 30(1), 1-12. <https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=569892>
- Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weirs. Ph.D. thesis, University of Nottingham, Nottingham, England
- Hay, N. and Taylor, G. (1970). Performance and design of labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering Engrg*, ASCE, 96(11), 2337-2357.
- Henderson, FM. (1966). open channel flow. Macmillan, New York, USA.
- Jafari nadoshan, e.(2010). Investing on Discharge Coefficient of Labyrinth spillway Using CFD Method and Optimization of its Geometry Applying ANFIS and Genetic Algorithms. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan. (In Farsi)
- Khode, B.V. Tembhurkar, A.R. Porey, P.D. Ingle, R.N. (2012). Experimental Studies on Flow over Labyrinth Weir. American Society of Civil Engineering, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(6), 548-552.
- Rezaee, M., & Emadi, A., & Aqajani Mazandarani, Q. (2016). Experimental study of rectangular labyrinth weir. journal of water and soil (agricultural sciences and technology), 29(6), 1438-1446. <https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=549849>
- Roushangar, K. and Alami, M. and Shiri, J. and Majedi Asl, M. (2018). Evaluation Effect of Changing the Cycle Arc Angle on Discharge Coefficient of Arced Labyrinth and Arced Piano Key Weirs. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(2), 341-351. (In Farsi)
- Samadi Garehveran, S., & Farsadizadeh, D., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2019). Experimental Investigation of Effects of Piles on Hydraulic Performance and Discharge Coefficient of Semi-Circular Labyrinth Side Weir with One Cycle. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(74), 13-26. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=788413>
- Sangsefidi, Y., & Ghodsian, M. (2018). Investigation of Effects of Entrance Channel Walls on the Hydraulic Performance of Arced Labyrinth Weirs. *Modares Civil Engineering Journal*, 19(1), 181-193. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=698289>
- Seamons, T.R. (2014). LabyrinthWeir: A look into Geometric Variation and Its Effect on Efficiency and Design Method Pridictions. M.Sc. thesis, Utah State University, Logan, UT.
- Tullis, P. Amanian, N. and Waldron, D. (1995). Design of labyrinth weir spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 121(3), 247-255.
- Copeland, R. and Fletcher, B. (2000). Model study of Prado Spillway, California, hydraulic model investigation. Report ERDC/CHL TR-00-17, U.S. Army Corps of Engineers, Research and Development Center.
- Willmore, C. 2004. Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. M.S. report, Utah State University, Logan, Utah.
- Zamiri, E. karami, H. Farzin, S. (2017). Numerical Study of Effective Parameters in Hydraulic Performance of Flow over Labyrinth Weir. *Journal of Irrigation and Drainage*, 11(5), 865-875. (In Farsi)