تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۷/ زمستان ۱۴۰۳/ ص ۹۵ - ۷۹

نوع مقاله: پژوهشی

شبیه‌سازی اثر نسبت راس سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای بر ضریب آبگذری با نرم‌افزار FLOW 3D

صائب الغزی[۱] و جواد مظفری[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، ایران.

[۲*] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای، نسبت به سرریزهای خطی، طول بیشتری دارند و دبی بیشتری را در هد ثابت آب از خود عبور می‌دهند. در این پژوهش به بررسی ضریب آبگذری در سرریز کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای با استفاده از نرم افزار FLOW 3D و مدل $k-\varepsilon$ *RNG* پرداخته شد. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش هد نسبی (H_T/P) و نیز با افزایش نسبت بزرگنمایی، استغراق موضعی و تداخل تیغه‌های ریزشی افزایش می‌یابد و سبب کاهش ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان داد با افزایش نسبت راس، تا ۱۲/۷ درصد ضریب دبی کاهش می‌یابد. با افزایش عرض راس تا ۲۰ سانتی‌متر در سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای، منطقه‌ای بزرگ‌تر در بالادست راس سرریز با سرعت کمتر ایجاد می‌شود و آشفتگی بیشتری در جریان نزدیک به راس به‌وجود می‌آید. از طرفی، ایجاد سرعت کمتر در راس سبب حرکت جریان به سمت کناره‌ها می‌شود که حرکت جریان به سمت کناره‌ها سبب ایجاد آشفتگی بیشتری در کناره‌ها می‌شود و ضریب دبی را کاهش خواهد داد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس در کناره‌ها، عملکرد کمتری نشان می‌دهد زیرا میزان تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در راس آن بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: استغراق موضعی، تداخل تیغهٔ ریزشی، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای، سرریز کنگره‌ای مثلثی

مقدمه

سرریزها در کانال‌های انتقال آب و رودخانه‌ها برای تنظیم کردن سطح آب و کنترل جریان سیل استفاده می‌شوند. عوامل محدود کننده مانند توپوگرافی و عرض محدود ساخت سرریز ممکن است اجازهٔ ساخت سرریز با طول تاج زیاد را ندهد. یکی از راهکارهای افزایش آبگذری و افزایش راندمان عبور آب از سرریز، استفاده از سرریز با تاج غیرخطی است. تکل و همکاران (Tacail *et al.*, 1990) می‌گویند در عرض‌های یکسان، سرریزهای کنگره‌ای دو سیکلی از سرریزهای کنگره‌ای سه سیکلی بهتر عمل می‌کنند. ویلمور (Willmore, 2004) با پژوهش در بارهٔ سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای در سیکل‌های مختلف نشان داد که سرریز با تاج اوجی، نسبت به سرریز با تاج نیم‌دایره و ربع‌دایره، راندمان بیشتری دارد. محمدی و یاسی (Mohammadi & yasi, 2008)، نشان دادند که پلان قوسی سرریز کنگره‌ای، نسبت به سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای و مثلثی با طول تاج یکسان، کارایی هیدرولیکی بهتری دارد. طالب بیدختی و زهرایی‌فرد (Taleb bidokhti & Zahrayi fard, 2008) نشان دادند که با تیزتر شدن نوک راس سرریز

نگارنده مسئول: **Email:** j-mozafari@araku.ac.ir

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.368514.1607

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

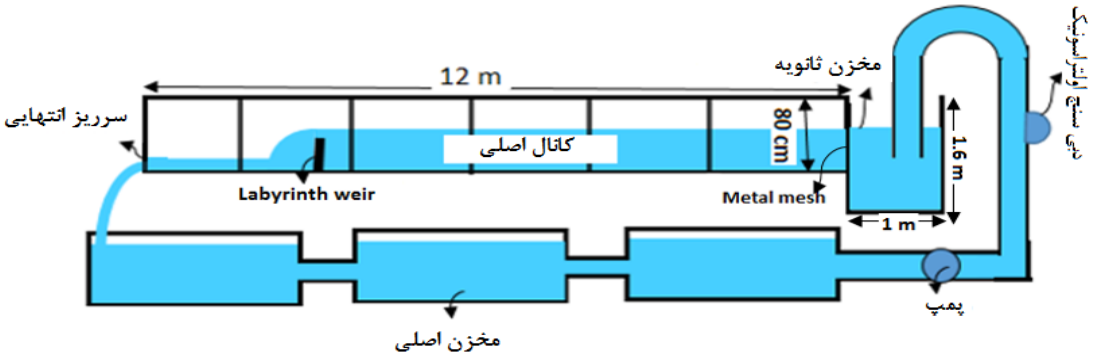
کنگره‌ای، کارایی سرریز افزایش می‌یابد و با کاهش زاویه بین دیوارهٔ کانال و امتداد جریان، میزان کارایی سرریز کنگره‌ای افزایش می‌یابد. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2011) با مطالعهٔ آزمایشگاهی در زمینهٔ ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی نشان دادند با کاهش زاویهٔ راس سرریز، طول ناحیهٔ تداخل جریان افزایش می‌یابد و ضریب دبی جریان سرریز کنگره‌ای کاهشی محسوس پیدا می‌کند. اژدری مقدم و همکاران (Azhdari moghadam *et al.*, 2012) پارامترهای جریان سرریز کنگره‌ای مثلثی را با مدل عددی $k-\varepsilon\ RNG$ در نرم‌افزار Flow-3D تعیین و با داده‌های تالیس و همکاران (Tullis *et al.*, 1995) مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد که مدل عددی رفتار هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مثلثی را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند. کروکستون و همکاران (Crookston *et al.*, 2010) عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای را بررسی و گزارش کردند کارایی سرریز با افزایش زاویهٔ راس افزایش می‌یابد. میرزایی و همکاران (Mirzayee *et al.*, 2022) با بررسی عددی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای در زاویه‌های مختلف نسبت به امتداد جریان با کمک نرم‌افزار Flow3d نشان دادند که افزایش زاویهٔ سرریز در امتداد جریان و در طول راس، سبب افزایش ضریب دبی جریان می‌گردد. آیدین و همکاران (Aydyn *et al.*, 2024) با بررسی تعیین رفتار جریان موثر بر عملکرد دبی سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با استفاده از مدل های عددی و فیزیکی نشان دادند شرایط جریان در سیکل‌های پایین دست (یعنی تداخل ریزشی و استغراق موضعی) و همچنین ویژگی‌های جریان در چرخه‌های بالادست (یعنی جریان‌های جانبی مؤثر) تأثیرات قابل‌توجهی بر راندمان هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دارند. سلیم و همکاران (Selim *et al.*, 2024) با بررسی مشخصات جریان و اتلاف انرژی در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای نتیجه گرفتند که تطابق خوبی بین نتایج تجربی و عددی وجود دارد. بنابراین می‌توان برای طراحی سرریزهای کنگره‌ای با دقت قابل قبولی، از مدل‌های عددی در نرم‌افزار Flow3d استفاده کرد. از طرفی، نسبت راس پارامتری موثر بر تداخل تیغه‌های ریزشی در سرریز کنگره‌ای است که تغییرات آن می‌تواند سبب تغییر در ضریب آبگذری شود و در این پژوهش به کمک شبیه‌سازی بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

کانال آزمایشگاهی

آزمایش‌های مدل هیدرولیکی در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک گروه علوم و مهندسی آب اجرا گردید که شمای فلوم مورد استفاده در شکل (۱) آمده است. مدل هیدرولیکی مورد استفاده در داخل یک فلوم شیشه‌ای به طول ۱۲ متر، ارتفاع و عرض ۸۰ سانتی‌متر آزمایش شد. این فلوم دارای پمپی با حداکثر دبی ۹۰ لیتر در ثانیه است. دبی توسط دبی‌سنج اولتراسونیک با دقت $\pm$ ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌گردد. برای اندازه‌گیری تراز سطح آب نیز از چند عمق‌سنج ریلی استفاده می‌شود که در طول فلوم قابل حرکت است.

شکل (۲) نمایی از دبی‌سنج اولتراسونیک و سرریز آزمایشگاهی مورد استفاده را نشان می‌دهد. جنس مدل آزمایشگاهی از ورق آهنی به ضخامت ۴ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر است. طول تاج مدل ۱۲۶ سانتی‌متر و نسبت L/W برابر با ۱/۵۸ است. L طول تاج و W عرض کانال است.

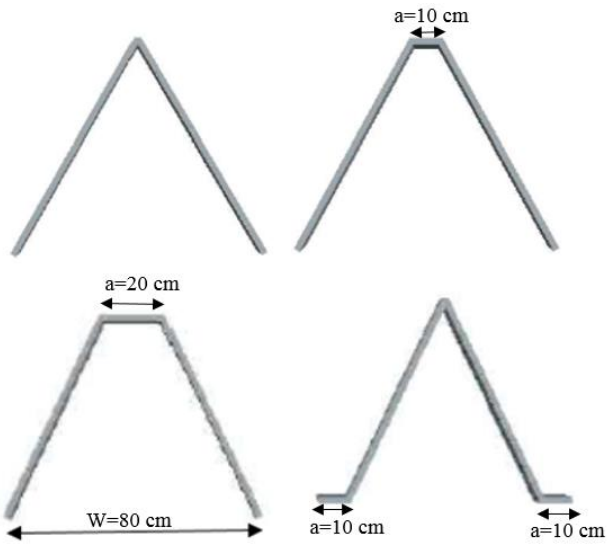


شکل ۱- شمای فلوم آزمایشگاهی

Fig. 1- Laboratory flume schematic

شکل ۲- الف) دبی سنج اولتراسونیک و ب) مدل آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مثلثی

Fig. 2- Laboratory models of triangular labyrinth weir



شکل ۳- مدل‌های شبیه‌سازی شده با L/W برابر با ۲

Fig. 3- Simulated models with L/W=2

مدل‌های شبیه‌سازی شده

ابتدا مدل آزمایشگاهی با مدل شبیه‌سازی شده مقایسه گردید. پس از آن ۱۰ مدل سرریز کنگره‌ای بررسی شد. سه مدل سرریز کنگره‌ای مثلثی و شش مدل سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با بزرگ‌نمایی‌های $L/W = 2$، $L/W = 3$ و $L/W = 4$ شبیه‌سازی گردید. شکل (۳) مدل‌های شبیه‌سازی شده با L/W برابر با ۲ را نشان می‌دهد. برابر این شکل، نسبت راس برابر است با نسبت عرض راس (a) به عرض سرریز (W). جدول (۱) مدل‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مدل‌های شبیه‌سازی شده

Table 1- Simulated models

مدل Model	شکل سرریز Weir Plan	L/W	نسبت راس Apex Ratio	زاویهٔ سرریز با جریان (درجه) Weir angle with flow (degrees)
1	مثلثی	2	0	30
2	ذوزنقه‌ای	2	0.125	27.8
3	ذوزنقه‌ای	2	0.250	25.4
4	مثلثی	3	0	19.4
5	ذوزنقه‌ای	3	0.125	18
6	ذوزنقه‌ای	3	0.250	16
7	مثلثی	4	0	14.5
8	ذوزنقه‌ای	4	0.125	13
9	ذوزنقه‌ای	4	0.250	11.4
10	ذوزنقه‌ای	2	0.250*	25.4

*عرض راس در کناره‌ها قرار گرفته است.

مدل دهم، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با راس مدل در کناره‌های سرریز است، به‌طوری‌که ۱۰ سانتی‌متر از عرض راس در کنارهٔ چپ و ۱۰ سانتی‌متر در کنارهٔ راست قرار گرفته است. همچنین زاویهٔ جدارهٔ مدل با دیوارهٔ کانال برای سرریز کنگره‌ای مثلثی، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۱۰ سانتی‌متر و برای سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر در جدول آمده است.

رابطه‌های حاکم و شرایط مرزی

به منظور شبیه‌سازی میدان جریان ،از نرم افزار Flow-3D استفاده گردید. این نرم افزار برای تحلیل سه بعدی جریان رابطه‌های ناویراستوکس را با استفاده از روش حجم محدود حل می‌کند. این رابطه‌ها در دستگاه مختصات کارتزین (x،y،z) به صورت رابطه (۱) تا (۴) می‌باشند (Ghasemzadeh, 2024).

$$V_f \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial (pvA_x)}{\partial x} + \frac{\partial (pvA_y)}{\partial x} + \frac{\partial (pvA_z)}{\partial x} = R_{SOR} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z}\right) = -\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (۲)$$

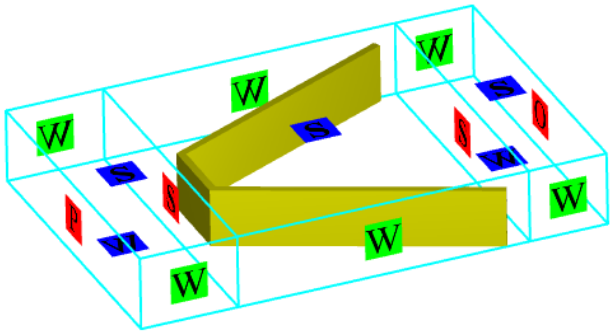
$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z}\right) = -\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (۳)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \mathrm{t}}+\frac{1}{V_F}\left(uA_x\frac{\partial w}{\partial x}+vA_y\frac{\partial w}{\partial y}+wA_z\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial z}+G_z+f_z \qquad (۴)$$

که در آن (u، v، w): مولفه های سرعت، (Ax، Ay، Az): کسری از مساحت مرتبط با جریان، (Gx، Gy، Gz): شتاب جرمی، (fx، fy، fz): شتاب لزوجت در جهت‌های (x، y، z)، P : چگالی سیال، Rsor : ترم چشمه، Vf: کسری از حجم مرتبط با جریان و P : فشار است (Ghasemzadeh, 2024). در نرم‌افزار Flow-3dبرای شبیه‌سازی سطح آزاد از روش (VOF) استفاده می‌شود که در این روش با حل رابطه (۵)، F به عنوان جزو حجم سیال در یک سلول سطوح آزاد محاسبه می‌شود (Ghasemzadeh, 2024).

$$\frac{\partial F}{\partial \mathrm{t}}+\frac{1}{V_f}\left(\frac{\partial}{\partial x}(FuA_x)+\frac{\partial}{\partial y}(FvA_y)+\frac{\partial}{\partial z}(FwA_z)\right)=0 \qquad (۵)$$

اگر F=0 باشد، سلول پر از هوا و اگر F=1 باشد، سلول پر از آب است. سطح آزاد جایی تعیین می‌گردد که در آن F=۰/۵ است. همچنین برای حل آشفتگی میدان جریان نیز از مدل آشفتگی K-Ɛ از نوع RNG استفاده گردید. دلیل انتخاب این مدل آن بود که یک ترم اضافی نسبت به سایر رابطه‌های آشفتگی دارد که برای حل رابطه‌های مربوط به آشفتگی جواب دقیق‌تری می‌دهد (Kahe *et al.*, 2016). در پژوهش حاضر، در ورودی جریان از شرط مرزی عمق جریان۱ ، خروجی از شراط مرزی جریان خروجی۲، دیواره‌ها و کف از شرط مرزی دیواره۳ و در نهایت در سطح آب از شرایط مرزی تقارن۴ استفاده گردید. در محل اتصال بلوک‌ها از شرایط مرزی تقارن برای هر دو بلوک استفاده شد (شکل ۴).



شکل ٤- شرایط مرزی برای سرریزهای کنگره‌ای شبیه‌سازی شده

Fig. 4- Boundary conditions for simulated labyrinth weirs

بیشترین مش (تعداد سلول) مربوط به سرریز کنگره‌ای مثلثی با بزرگنمایی ۴ و هد ۱۵ سانتی‌متر به تعداد کل ۹۵۱۵۷۲ سلول، و کمترین مش مربوط به سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ با بزرگنمایی ۲ و هد ۱/۵ سانتی‌متر به تعداد کل ۳۱۳۲۵۲ سلول است. دلیل تغییر در مقادیر مش‌بندی، تغییر در عمق مورد بررسی است و برای کاهش زمان اجرای برنامه، با کاهش عمق مورد بررسی تعداد مش‌بندی عمودی نیز کاهش یافته است و حداکثر تا ۳ سانتی‌متر بالای

[1]Specified pressure
[2]Out Flow
[3]Wall
[4]Symmetry

عمق مش‌بندی اجرا شده است. مش‌ها در کنار دیواره ریزتر در نظر گرفته شد و با کاهش اندازهٔ مش‌ها و اجرای مدل، نهایتا ریزترین مش بدون تغییر در جواب نهایی به دست آمده استفاده گردید. پس از انتخاب ابزار عددی، اولین گام برای شبیه‌سازی عددی بررسی عملکرد مدل برای شبیه‌سازی است. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار عددی FLOW-3D نمونه در کانال یکسانی با نمونه شبیه‌سازی شده مقایسه می‌شود. با مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی و داده‌های موجود، ابزار عددی صحت‌سنجی می‌شود و اگر خطای شبیه‌سازی قابل قبول باشد، از مدل و نرم‌افزار مورد نظر استفاده خواهد شد. بنابراین پس از صحت سنجی و تایید توانایی مدل، سرریز کنگره‌ای، تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم افزار دنبال می‌شود. نرم‌افزار Flow3D یک شبکهٔ مش‌بندی سه بعدی متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی برای میدان مورد نظر ایجاد می‌کند. به همین منظور در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Autocad مدل سه‌بعدی مورد نظر تولید می‌شود و پس از آن نتایج حاصل به نرم‌افزار Flow3D وارد می‌شود و شبکه‌بندی و شرایط مرزی در نرم‌افزار صورت می‌گیرد. سرانجام برای مقایسهٔ نتایج آزمایشگاهی و عددی از پارامتر ضریب دبی استفاده می‌شود. برای تعیین ضریب دبی از رابطه زیر استفاده می‌گردد (Tullis *et al.*, 1995):

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_T^{\frac{3}{2}} \quad (۶)$$

که در آن Q: دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای بر حسب مترمکعب بر ثانیه، C_d: ضریب دبی سرریز کنگره‌ای، L: طول موثر سرریز کنگره‌ای بر حسب متر و H_T: هد کل آب روی سرریز بر حسب متر است.

معیار ارزیابی مدل

عملکرد مدل مورد استفاده در این پژوهش بر پایهٔ محاسبه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مربعات خطا (MSE) ارزیابی شد است. دو پارامتر آماری که در مقایسه کارایی مدل‌ها از آن‌ها بهره گرفته شده است عبارت‌اند از:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - t_i)^2}{N}} \quad (۷)$$

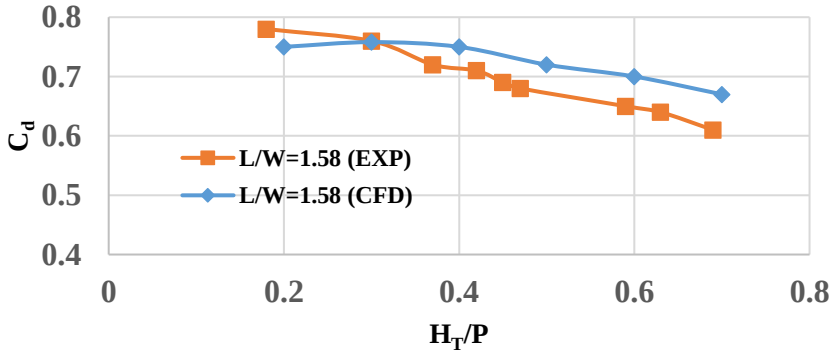
$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - t_i)^2 \quad (۸)$$

که در آن O_i و t_i : به ترتیب مقادیر مشاهداتی و خروجی مدل‌ها، p_i : میانگین مقادیر مشاهداتی ، و N : تعداد کل رویدادهای لحاظ شده است.

نتایج و بحث

صحت سنجی مدل عددی

به منظور صحت سنجی مدل، ضریب دبی برای داده‌های مدل عددی و آزمایشگاهی بررسی گردید. شکل (۵) نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- مقایسه داده‌های عددی و آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مثلثی

Fig. 5- Comparison of numerical and experimental data of the triangular labyrinth weir

بر طبق شکل (۵)، RMSE برابر با ۳/۹ درصد و MSE برابر با ۰/۱۶ درصد است. بنابراین، خطای مدل شبیه‌سازی شده قابل قبول به‌نظر می‌رسد و بنابراین از این مدل برای ادامهٔ شبیه‌سازی و مقایسهٔ سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده خواهد شد. در پژوهش اژدری مقدم و همکاران (Azhdari moghadam *et al.*, 2012) نیز مدل مذکور نتایجی مناسب برای بررسی سرریزهای کنگره‌ای به دست آورده است.

بررسی شبیه‌سازی جریان در سرریزهای مورد بررسی در $L/W = 2$

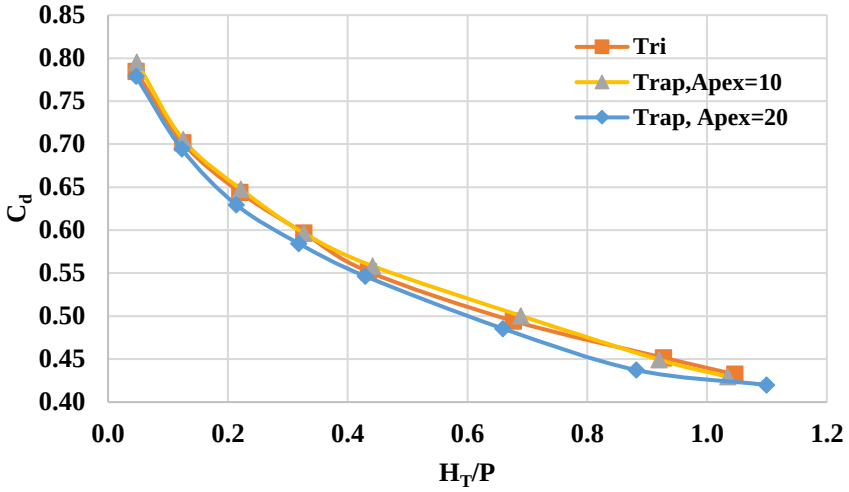
شکل (۶) مقادیر ضریب دبی و هد نسبی را برای سرریز کنگره‌ای مثلثی، ذورنقه‌ای با عرض راس ۱۰ سانتی‌متر و ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر در نسبت L/W=۲ نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش هد نسبی H_T/P، ضریب دبی روند کاهشی دارد. سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۱۰ سانتی‌متر عملکرد بهتری را از هد نسبی ۰/۴ تا ۰/۸ نشان داده است. افزایش عملکرد سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای مورد بررسی به میزان ۱/۲ درصد بوده است که مقدار کمی به‌نظر می‌رسد. از هد نسبی ۰/۱ تا ۰/۴ دو سرریز مورد بررسی تقریبا عملکرد یکسانی دارند و سپس از هد نسبی ۰/۴ تا ۰/۸ سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با راس ۱۰ سانتی‌متر، عملکرد بهتری را نشان داده است. به‌نظر می‌رسد با افزایش هد نسبی، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای به‌دلیل کاهش تداخل تیغه‌های ریزشی و کاهش استغراق موضعی در راس، عملکرد بهتری داشته است. پس از هد نسبی ۰/۸ هر دو سرریز عملکرد یکسانی نشان داده‌اند و بنابراین ارتفاع زیاد آب سبب شده است که تیغه‌های ریزشی در هر دو سرریز اثر یکسانی بگذارند. بر طبق شکل، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر عملکرد کمتری از هر دو سرریز کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای با راس ۱۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد که این میزان کاهش حداکثر تا ۳/۱ درصد بوده است. به‌نظر می‌رسد با اینکه تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در راس کمتر شده است اما عمود شدن جریان در راس به دیوارهٔ سرریز سبب ایجاد آشفتگی بیشتر و کاهش عملکرد خواهد شد. از طرفی، کاهش زاویهٔ سرریز با جداره کانال با افزایش عرض راس سرریز ذوزنقه‌ای به‌وجود می‌آید که سبب کاهش عملکرد شده است. عملکرد سرریز به وسیله زاویهٔ دیوار سرریز (α) با جهت جریان تاثیر می‌پذیرد. در یک عرض مشخص، با افزایش زاویهٔ α طول تاج سرریز کاهش می‌یابد و درجهٔ انقباض و فشردگی مسیر جریان از مدخل ورودی سرریز تا انتهای خروجی آن کاهش خواهد یافت و نیز تداخل تیغه‌های ریزشی کاهش می‌یابد (Falvey, 2002).

شکل (۷) تغییرات عمق و شکل (۸) تغییرات سرعت متوسط عمقی را برای نسبت بزرگنمایی ۲ در سرریزهای مورد بررسی نشان می‌دهد. بر طبق شکل (۸)، کمترین سرعت متوسط عمقی در راس سرریزها رخ داده است. بنابراین با افزایش عرض راس تا ۲۰ سانتی‌متر، منطقه‌ای بزرگ‌تر نیز در بالادست راس سرریز با سرعت کمتر ایجاد می‌شود و آشفتگی بیشتری در جریان نزدیک به راس ایجاد خواهد شد. ایجاد سرعت کمتر در راس، سبب حرکت جریان به سمت کناره‌ها می‌شود که این مسئله در سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای و با افزایش عرض بیشتر رخ خواهد داد (Nazari sharifi, 2023). سرانجام، با حرکت نمودارهای سرعت به سمت کناره‌ها آشفتگی و تداخل جریان بیشتری نیز در کناره‌ها ایجاد می‌شود و ضریب دبی را کاهش خواهد داد.

بررسی شبیه‌سازی جریان در سرریزهای کنگره‌ای مورد بررسی در L/W=3

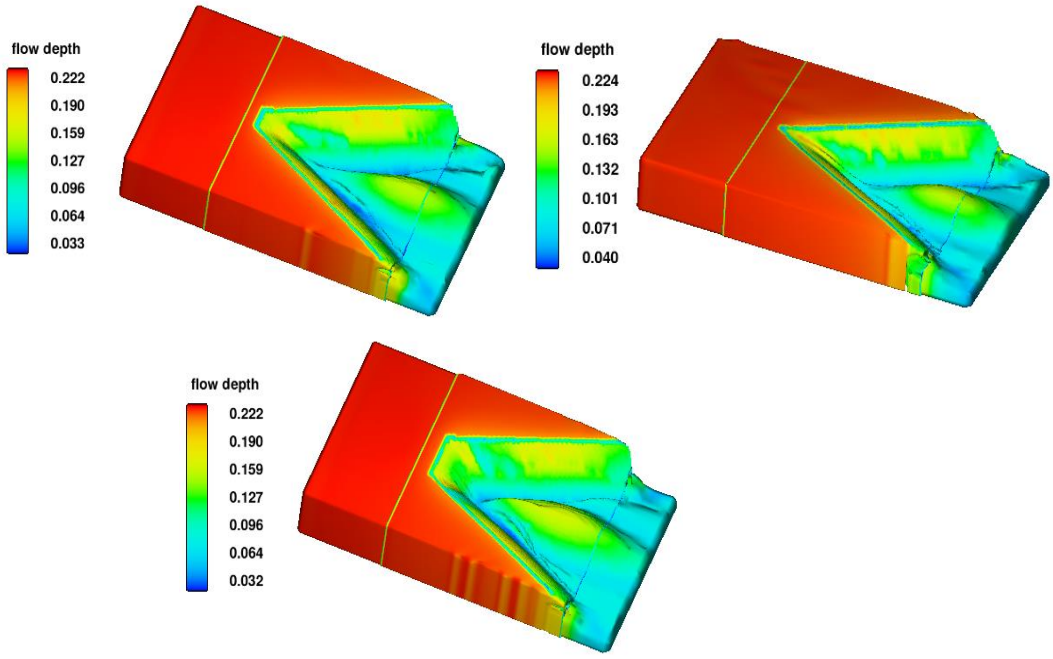
شکل (۹) تغییرات ضریب دبی برای سرریزهای کنگره‌ای مورد بررسی را در نسبت بزرگنمایی ۳ نشان می‌دهد. طبق این

شکل، سرریز کنگره‌ای مثلثی، در مقایسه با سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای مورد بررسی، عملکرد بهتری داشته است. سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۱۰ حداکثر ۱/۹ درصد کاهش عملکرد نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی نشان می‌دهد. سرریز کنگره‌ای ذوزنقه با راس ۲۰ سانتی‌متری حداکثر ۴/۸ درصد کاهش را نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی نشان داده است.



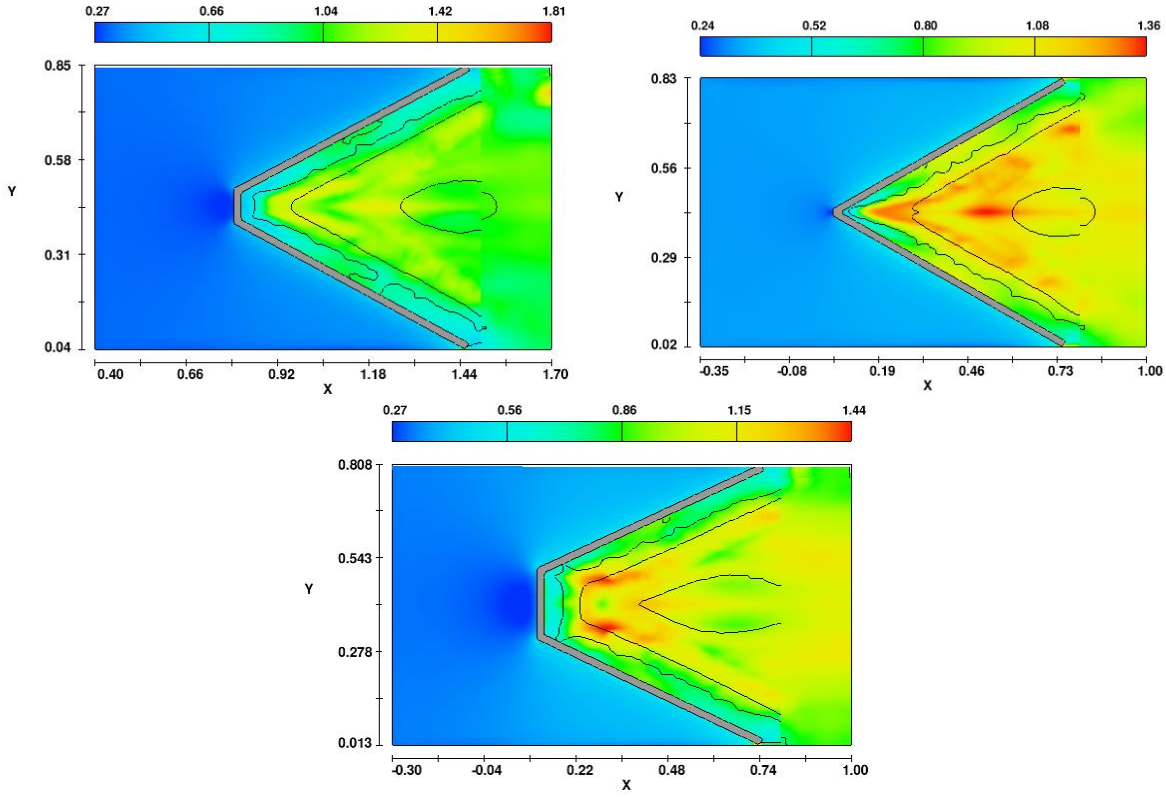
شکل ٦- ضریب دبی برای سرریزهای کنگره‌ای با نسبت بزرگنمایی ۲

Fig. 6- Discharge coefficient for labyrinth weirs with a magnification ratio of 2



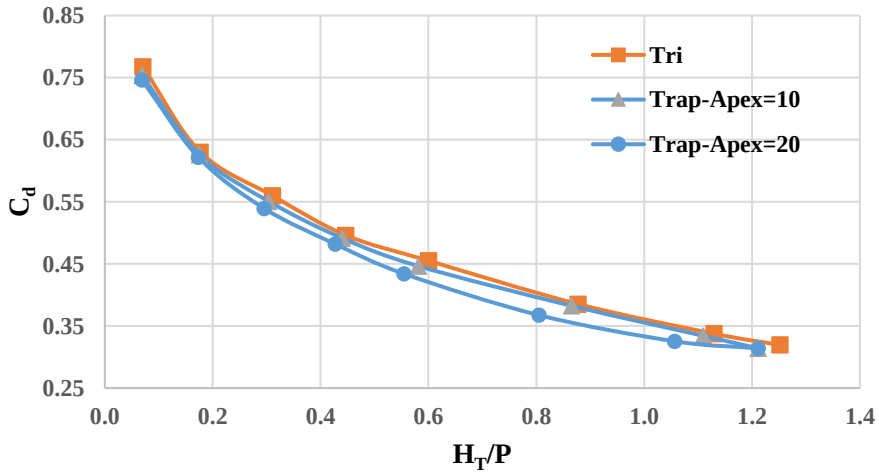
شکل ۷- عمق جریان در سرریز کنگره‌ای مثلثی L/W=2, H/P=0.5

Fig. 7- Flow depth in the triangular labyrinth weir L/W=2, H/P=0.5



شکل ۸- تغییرات سرعت متوسط‌گیری شده در L/W=2, H/P=0.5

Fig. 8- Averaged velocity changes in L/W=2, H/P=0.5



شکل ۹- تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای برای نسبت بزرگنمایی ۳

Fig. 9- Changes in the discharge coefficient of labyrinth weirs for magnification ratio 3

در این بخش، با افزایش نسبت بزرگنمایی به ۳ و کاهش زاویهٔ جدارهٔ سرریز با جریان، تاثیر تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی خود را کاملا نشان می‌دهد. در نسبت بزرگنمایی ۲، برای سرریز ذوزنقه با عرض راس ۱۰سانتی‌متر، تا حدودی ایجاد فاصله بین دیواره‌های سرریز، میزان تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی را کاهش داده بود. اما در نسبت بزرگنمایی ۳، زاویه سرریز با جریان کاهش پیدا کرده است. بنابراین تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی افزایشی شده است و اثر افزایش فاصله بین دو دیوار سرریز از بین رفته است.

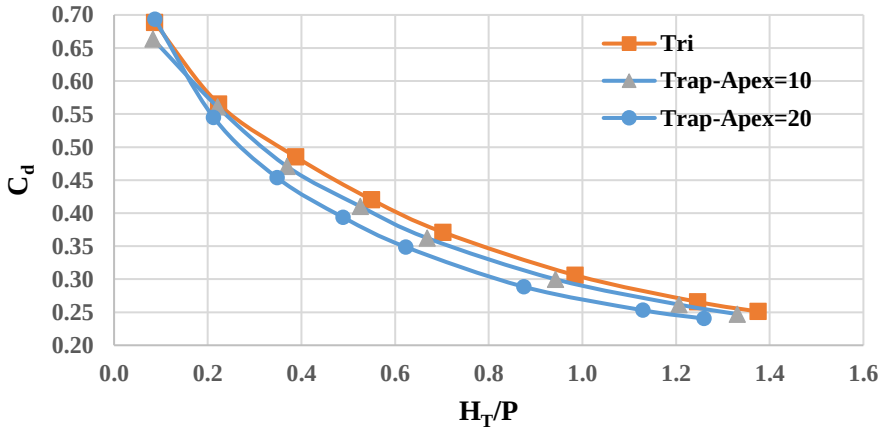
بررسی شبیه‌سازی جریان در سرریزهای کنگره‌ای با نسبت بزرگنمایی $L/W = 4$

شکل (۱۰) مقادیر ضریب دبی را برای سرریزهای کنگره‌ای در نسبت بزرگنمایی ۴ نشان می‌دهد. با افزایش نسبت بزرگنمایی ضریب‌های دبی کاهش زیادی نشان داده است، به‌طوری‌که سرریز کنگره‌ای ذوزنقه با راس ۲۰ سانتی‌متری حداکثر ۱۲/۷ درصد کاهش را نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی نشان داده است. در نسبت بزرگنمایی ۴ نیز با توجه به کاهش زاویهٔ سرریز با جریان، تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی افزایش زیادی داشته است و ایجاد راس ذوزنقه‌ای برای کاهش تداخل تیغه‌ها اثری نداشته است. به طور کلی می‌توان سرریز کنگره‌ای مثلثی را دارای عملکرد بهتری دانست، با این حال، ملاحظات ساخت و ساز اغلب موارد استفاده از یک عرض راس محدود (سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای) را اجبار می‌کند (Falvey, 2002). فالوی (Falvey, 2002) می‌گوید به دو دلیل مقادیر نسبت راس کمتر از ۰/۰۸ تأثیر قابل توجهی بر عملکرد سرریز نخواهد داشت و می‌توان به جای سرریز کنگره‌ای مثلثی از آن استفاده کرد:

- در سرریز کنگره‌ای مثلثی با راس رو به بالادست، تداخل تیغه‌های ریزشی وجود دارد و سبب می‌شود مقدار کمتری جریان منتقل گردد. بنابراین، جایگزینی گوشهٔ تیز سرریز کنگره‌ای مثلثی با راس ذوزنقه‌ای تأثیر کمی در عملکرد خواهد داشت.
- در سرریز کنگره‌ای مثلثی با راس رو به پایین‌دست، منطقهٔ رکود جریان وجود دارد. در این منطقه، تیغهٔ ریزشی به دیواره سرریز برخورد می‌کند و سبب افزایش نیمرخ سطح آب و ایجاد مقاومت در برابر عبور جریان می‌شود. بنابراین، راس مثلثی می‌تواند با یک راس ذوزنقه‌ای جایگزین شود که تأثیر کمی بر عملکرد کلی سرریز خواهد داشت و می‌تواند افزایش پروفیل سطح آب را کاهش دهد.

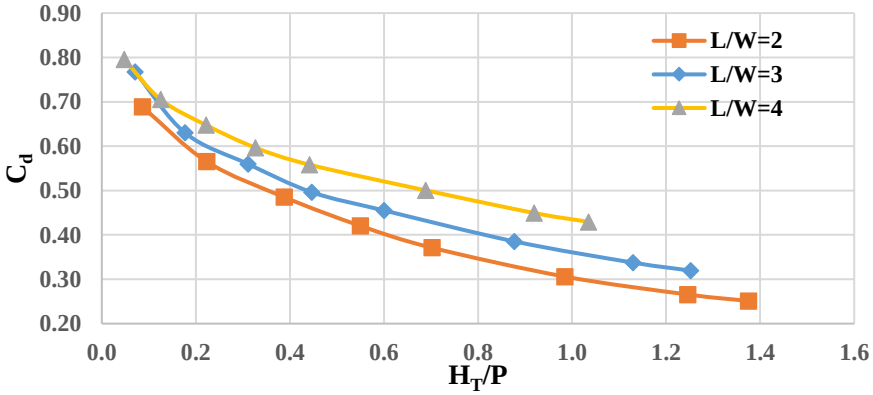
مقایسه ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای در نسبت‌های طولی مختلف

شکل (۱۱) تغییرات ضریب دبی C_d در مقابل هد نسبی H_T/P را در سرریز کنگره‌ای مثلثی برای نسبت‌های بزرگنمایی ۲، ۳ و ۴ نشان می‌دهد. طبق این شکل، L/W برابر با ۲ بیشترین عملکرد را دارد و با افزایش L/W ضریب دبی کاهش یافته است.



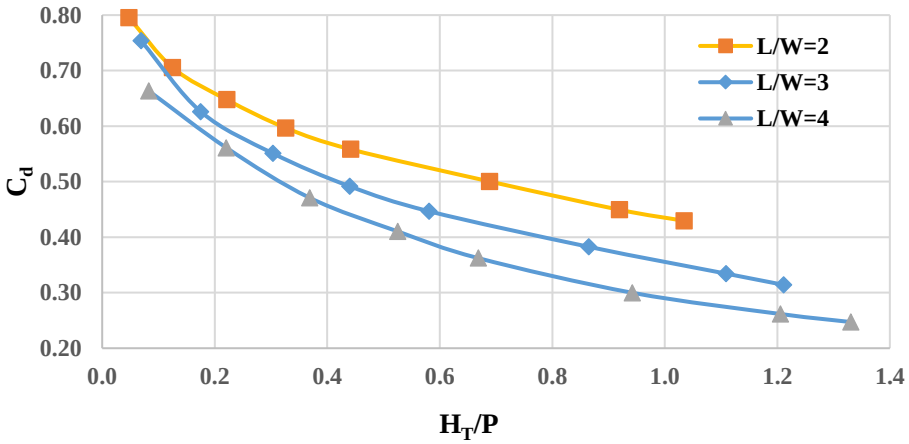
شکل ۱۰- تغییرات ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای برای نسبت بزرگنمایی ٤

Fig. 10- Variations of triangular and arched labyrinth weir discharge coefficient for magnification ratio 4



شکل ۱۱- تغییرات ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای مثلثی در نسبت‌های بزرگنمایی مختلف

Fig. 11- Discharge coefficient in triangular lanyrinth weir in different magnification ratios



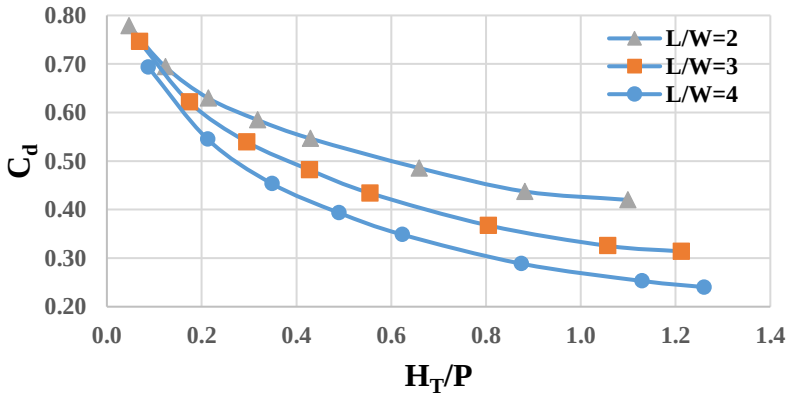
شکل ۱۲- تغییرات ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۱۰ سانتیمتر در نسبت‌های بزرگنمایی مختلف

Fig. 12- Discharge coefficient in trapezoidal labyrinth weir with 10 cm apex width in different magnification ratios

در H_T/P برابر ۰/۳، ضریب دبی برای سرریز کنگره‌ای مثلثی و برای نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۵۸ و ۰/۵۲ است. بنابراین، ضریب دبی در نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۴ به میزان ۱۵ درصد کاهش داشته است. در $H_T/P = 1$، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۳۵ و ۰/۳۰ است و در نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۴ به میزان ۴۷ درصد کاهش یافته است. بنابراین، افزایش نسبت بزرگنمایی سبب کاهش زاویهٔ جداره با جریان و کاهش در ضریب دبی شده است. البته کاهش ضریب دبی در نسبت‌های بزرگ‌نمایی بیشتر نشان‌دهندهٔ کاهش مقدار دبی عبوری از سرریز نیست بلکه میزان راندمان عبور دبی کاهش یافته است. تالیس و همکاران (Tullis *et al.*, 1995) در آزمایش‌های خود حداقل زاویهٔ دیوارهٔ سرریز نسبت به امتداد جریان را ۶ درجه نشان دادند که این معادل نسبت بزرگنمایی حدود ۹/۵ است. کارایی سرریزهای کنگرهای هنگامی به‌شدت کاهش می‌یابد که نسبت بزرگنمایی طولی از حدود ۱۰ تجاوز کند.

شکل (۱۲) تغییرات ضریب دبی C_d در مقابل هد نسبی H_T/P را در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۱۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. طبق این شکل، مانند سرریز کنگره‌ای مثلثی، با افزایش L/W مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد.

در H_T/P برابر ۰/۳، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۰/۶، ۰/۵۵ و ۰/۵۰ است. بنابراین ضریب دبی از نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۴ به میزان ۱۷ درصد کاهش داشته است. در $H_T/P = 1$، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۳۵ و ۰/۲۸ است و از نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۴ به میزان ۳۶ درصد کاهش داشته است. طبق شکل‌های (۱۳) و (۱۴) با افزایش هد نسبی، فاصلهٔ بین L/W برابر ۲ تا ۴ افزایش می‌یابد. این مسئله نشان می‌دهد میزان کاهش ضریب دبی در L/W برابر ۴ بیشتر است. به‌نظر می‌رسد کاهش زاویه در راس و کاهش زاویهٔ بین سرریز و جدار کانال در L/W برابر ۴ سبب می‌گردد در هد نسبی زیاد، استغراق موضعی و تداخل تیغه‌های ریزشی افزایش زیادی پیدا کند و بنابراین راندمان سرریز در بزرگنمایی ۴ کاهش زیادی نشان دهد. شکل (۱۳) تغییرات ضریب دبی C_d در مقابل هد نسبی H_T/P را در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. طبق این شکل، مانند سرریز کنگره‌ای پیشین، با افزایش L/W مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد.



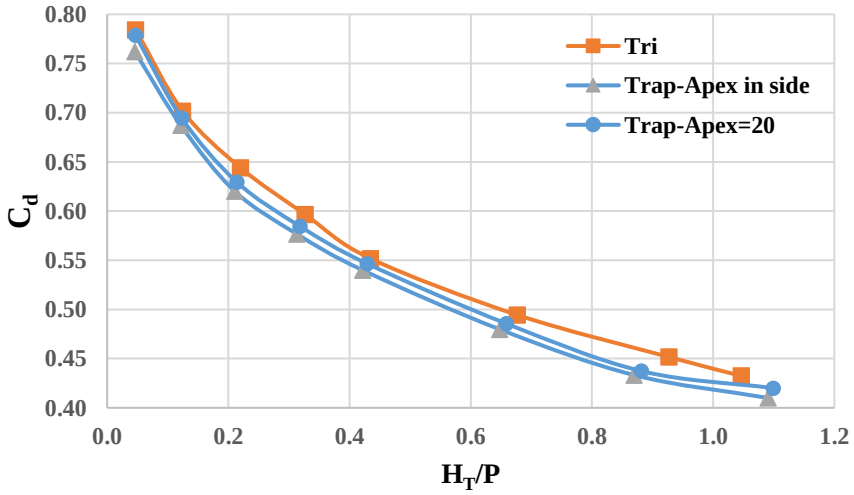
شکل ۱۳- تغییرات ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتیمتر در نسبت‌های بزرگنمایی مختلف

Fig. 13- Discharge coefficient in trapezoidal labyrinth weir with 20 cm apex width in different magnification ratios

در H_T/P برابر ۰/۳، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۰/۶، ۰/۵۴ و ۰/۴۸ است. بنابراین، ضریب دبی از نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا به‌میزان ۲۰٪ کاهش داشته است. در $H_T/P = 1$، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در نسبت‌های بزرگ‌نمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۳ و ۰/۲۷ است و از نسبت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۴ به میزان ۳۷ درصد کاهش داشته است. بنابراین در سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر نیز با افزایش نسبت بزرگنمایی و در هد نسبی زیاد، کاهش زیادی در ضریب دبی به‌وجود خواهد آمد. همان‌طور که بیان شد، این کاهش راندمان به دلیل کاهش زاویهٔ راس سرریز و زاویهٔ بین جدار دیوار کانال با سرریز رخ داده است.

سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس در کناره‌ها در L/W=2

برای بررسی اثر زاویهٔ سرریز با دیوارهٔ کانال، از سرریز ذوزنقه‌ای استفاده شد که راس آن در کناره‌ها قرار گرفته است. شکل (۱۴) ضریب دبی را برای سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با راس در کناره‌ها نشان می‌دهد. طبق این شکل، سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای با راس در کناره از سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ سانتی‌متر (به میزان ۱/۵درصد) و همچنین از سرریز کنگره‌ای مثلثی ضریب دبی کمتری دارد. به‌نظر می‌رسید که افزایش زاویهٔ سرریز با جدار کانال و ایجاد فاصلهٔ دیوارهٔ اصلی سرریز از جدار کانال بتواند عملکرد را افزایش دهد اما افزایش زاویهٔ سرریز با جدار کانال سبب افزایش عملکرد کانال نشده است. سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با راس در کناره، به صورت یک سرریز مثلثی در میان کانال است که زاویهٔ راس آن از سرریز کنگره‌ای مثلثی بررسی شده در این پژوهش کوچک‌تر است. بنابراین، میزان تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در راس آن بیشتر خواهد بود. علاوه بر این، در کناره‌ها جریان با دیوارهٔ عمودی سرریز برخورد می‌کند و سبب آشفتگی و کاهش ضریب دبی خواهد شد.



شکل ۱۴- تغییرات ضریب دبی برای سرریزهای کنگره‌ای مثلثی، ذوزنقه‌ای با عرض راس ۲۰ و ذوزنقه‌ای با راس در کناره‌ها

Fig. 14- Discharge coefficient for labyrinth weirs of triangular, trapezoidal with 20 cm apex width and trapezoidal with apexes on the sides

نتیجه‌گیری

بررسی مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ RNG و مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که مدل مورد استفاده با خطای کمتر از ۴ درصد، دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی دارد که مشابه با پژوهش‌های پیشین است. افزایش هد نسبی باعث شده است ضریب دبی تا ۶۵ درصد در سرریزهای کنگره‌ای مورد بررسی کاهش یابد. دلیل این امر افزایش استغراق موضعی و افزایش تداخل تیغه‌های ریزشی است. استغراق موضعی سبب می‌شود تا طول موثر سرریز کاهش یابد. تداخل تیغه‌های ریزشی سبب ایجاد مقاومت در برابر جریان می‌شود و ضریب دبی را کاهش می‌دهد. افزایش نسبت بزرگ‌نمایی سبب تداخل بیشتر تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در پایین دست می‌شود و در بالادست باعث انحنای عرضی در جریان و برخورد جت‌های عرضی و ایجاد آشفتگی می‌گردد و در نتیجه این عوامل باعث کاهش ضریب دبی خواهد شد. در نسبت‌های بزرگنمایی یکسان، سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای، نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی، راندمان کمتری داشته است، به‌طوری‌که سرریز کنگره‌ای ذورنقه‌ای با راس ۲۰ سانتی‌متر، نسبت به سرریز کنگره‌ای مثلثی، در نسبت بزرگنمایی ۲، ۳ و ۴ به ترتیب دارای حداکثر ۳/۱ درصد، ۴/۸ درصد و ۱۲/۷ درصد کاهش است. تغییرات نشان می‌دهد که با افزایش نسبت بزرگنمایی، اختلاف ضریب دبی پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد با اینکه تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در راس سرریزکنگره‌ای ذوزنقه‌ای کمتر شده است اما عمود شدن جریان در راس به دیوارهٔ سرریز، سبب ایجاد آشفتگی بیشتر و کاهش عملکرد خواهد شد. با افزایش نسبت راس، منطقه بزرگتری در بالادست راس سرریز با سرعت کمتر ایجاد می‌گردد و آشفتگی بیشتری در جریان نزدیک به راس ایجاد خواهد شد. ایجاد سرعت کمتر در راس سبب حرکت جریان به سمت کناره‌ها می‌شود. سرانجام، حرکت نمودارهای سرعت به سمت کناره‌ها، آشفتگی بیشتری نیز در کناره‌ها ایجاد می‌کند و ضریب دبی را کاهش می‌دهد. با افزایش نسبت راس، زاویهٔ دیوارهٔ سرریز با جهت جریان کاهش و تداخل تیغه‌های ریزشی افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از راس مثلثی مناسب به‌نظر می‌رسد.

مراجع

Aydin, M.C. Ulu, A.E. & Işık, E. (2024). Determination of effective flow behaviors on discharge performance of trapezoidal labyrinth weirs using numerical and physical models. *Modeling Earth Systems Environment Journal, 10*, PP.3763-3776.

Azhdri Moghadam, M. and Amanian, N. (2012). *Investigating the effect of nose length and weir wall angle with flow extension in trapezoidal labyrinth weir using CFD method. The 6th National Congress of Civil Engineering.* Semnan University. (in Persian).

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

Falvey H.T. (2002). Hydraulic design of labyrinth weirs. ASCE Press.

Ghasemzadeh, F. (2024). Simulation of hydraulic problems in Flow-3D software., Novar Publication.

kahe, M. Dehghani, A. Kahe, M. and Zahiri, A. (2015). Simulation of Flow hydraulic in combined weir – gate structure by Flow3D. *Journal of Water and Soil Conservation, 22*(1), PP.111-129.

Kumar S, Ahmad Z. and Mansoor T. (2011). A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan from weirs. *Flow measurement and instrumentatioan, 22(3)*, PP.175-180.

Mirzaei, N. , Asadi, E. and abbaspour, A. (2021). Numerical study of discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weir by changing the angle using Flow3D model. *Iranian Water Researches Journal, 15*(3). PP.61-69.

Nazari Sharifi, M. (2023). Simulation of Labyrinth Weir with FLOW 3D software, MSc thesis, Water Science and engineering Department, Arak University.

Selim, T. Hamed, A.K. Elkiki, M. and Eltarabily, M.G. (2024). Numerical investigation of flow characteristics and energy dissipation over piano key and trapezoidal labyrinth weirs under free-flow conditions. *Modeling Earth Systems Environment Journal,10.* PP. 1253–1272.

Tacail, F.G. Even, B. and Babb, A. (1990). Case study of a labyrinth spillway. *Canadian journal of civil engineering, 17(1)*. PP.1-7.

Taleb Bidakhti, N., and Zahraeifard, V. (2008). *Investigating the flow pattern over the labyrinth weir and determining the water discharge coefficient by numerical method. Third National Congress of Civil Engineering*, Tabriz University.

Taylor, G. (1968). The Performance of Labyrinth Weirs. PhD Thesis, University of Nottingham, UK.

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

Wilmore, C. (2004). Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. M.Sc Tesis. Utah state university.

Yasi, M. and Mohammadi, M. (2007). Study of Labyrinth Spillways with Curved Planform . *Journal of Crop Production and Processing,11 (41),* PP.1-13.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.97/Winter/2024/P: 79-95

Original Research

Simulating the effect of trapezoidal labyrinth weir apex ratio on discharge coefficient using Flow-3D software

S. Alghezi, J. Mozaffari*

***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Arak University.
Received: 3 February 2025, **Accepted:** 8 March 2025
Email: j-mozafari@araku.ac.ir
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.368514.1607

Introduction

Labyrinth weirs have a longer length than linear weirs and therefore pass more flow in the fixed width of the channel. Investigating a labyrinth weir with the highest efficiency at a fixed width can help reduce construction costs and also allow flow to pass at a lower height. However, investigating physical models to determine a labyrinth weir with a more appropriate efficiency will be costly. While using simulation software,

in addition to reducing costs, allows for the creation of different labyrinth weir shapes in the software. The discharge coefficient of a labyrinth weir is affected by various parameters, one of which is the apex ratio. These parameters can be effective on the nappe interference, local submergence, and the creation of turbulence in the flow. In this study, the effect of different apex ratios in a labyrinth weir will be investigated.

Methodology

In this research, the flow in triangular and trapezoidal Labyrinth weir was investigated using FLOW 3D software and RNG k-ε model.To investigate the effect of the apex ratio, nine labyrith weir models were simulated with magnification ratios L⁄W=2, L⁄W=3, and L⁄W=4. Three triangular labyrith weir models with an apex ratio of zero, three trapezoidal labyrith weir models with an apex ratio of 0.125, and three trapezoidal labyrith weir models with an apex ratio of 0.250 were simulated. Also, to investigate the effect of the weir wall angle with the channel wall, a trapezoidal labyrith weir model with an apex ratio of 0.25 on the side was investigated.

Results and Discussion

Investigations showed that with an increase in the water head ratio (H_T/P) and also with an increase in the magnification ratio, the local submergence and the nappe interference increases and causes a decrease in the discharge coefficient in the triangular and trapezoidal labyrinth weir. Although it seems that the greater distance between the two sides of the trapezoidal labyrinth weir at the apex compared to each other, caused a decrease in local submergence and an increase in the discharge coefficient, but the results showed that the triangular labyrinth weir had a better performance. By increasing the apex width up to 20 cm in a trapezoidal weir, a larger area will be created upstream of the weir apex with a lower velocity and more turbulence will be created in the flow near the apex. On the other hand, creating a lower velocity at the apex will cause the flow to move to the sides, which will cause the flow to move to the sides and create more turbulence on the sides and will reduce the discharge coefficient. Also, the results showed that trapezoidal labyrinth weir with apex width on the sides had lower performance because the amount of nappe interference and local submergence at the apex will be higher.

Conclusions

The study of the k-ε RNG turbulence model and comparison with laboratory data showed that the model used had acceptable accuracy in simulation. Increasing the water head ratio has caused a decrease in the discharge coefficient in the weir in all models. The reason is the increase in local submergence and napee interference. Local submergence causes the effective length of the labyrinet weir to decrease. Also, the nappe interference causes resistance to the flow and reduces the discharge coefficient. Increasing the magnification ratio causes more nappe interference and local submergence at downstream of weir and causes transverse curvature in the flow and collision of transverse jets and creates turbulence at upstream of weir. As a result, these factors will cause a decrease in the discharge coefficient. At the same magnification ratios, the trapezoidal labyrinth weir has a lower efficiency than the triangular labyrinth weir. It seems that although the nappe interference and local submergence at the apex of the trapezoidal labyrinet weir has decreased, the perpendicularity of the flow at the apex to the weir wall will cause more turbulence and reduce performance.

Key words: Local submergene, Nappe interference, Trapezoidal labyrinth weir, Triangular labyrinth weir

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.368514.1607
Email: j-mozafari@araku.ac.ir نگارنده مسئول:

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).