

## Research Paper

# Investigation of the Experimental and Numerical Modeling of the Effect of Creating an Additional Cycle and Placement of the Nappe Breaker on the Hydraulic Performance of the Labyrinth Weir

Mohammad Derakhshanifard<sup>1</sup>,

Mohammad Heidarnejad<sup>2\*</sup>,

Alireza Masjedi<sup>3</sup>

Amin Bordbar<sup>4</sup>

Aslan Egdarnezhad<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>2</sup> Associate Professor. Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>3</sup> Professor. Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.



[10.22125/IWE.2024.432302.1779](https://doi.org/10.22125/IWE.2024.432302.1779)

Received:  
**July 1, 2023**  
Accepted:  
**April 17, 2024**  
Available online:  
**June 29, 2024**

**Keywords:**  
**hydraulic head, an additional cycle, nappe breaker, discharge coefficient.**

## Abstract

In the present study, by creating an additional cycle along with lateral crest, and placing the nappe breaker on the triangular and trapezoidal labyrinth weirs, experimental and numerical study of discharge coefficient. The results of dimensional analysis by Buckingham method showed that the discharge coefficient ( $C_d$ ), function " $H_t/P$ " (represents total hydraulic head ratio (total hydraulic head to the height of weir)), " $S_f$ " (represents the form factor of the weir) and " $N_{np}$ " (represents the number of nappe breaker). Physical and numerical modeling was done in a rectangular flume with a length of 8 meters, width of 0.6 meters, and height of 0.6 meters. The study's findings demonstrated that, in comparison to placing the nappe breaker, adding one extra cycle had a beneficial impact on the TRTPIO weir, increasing both its hydraulic performance and discharge coefficient. Creating an additional cycle and placing the nappe breaker on the labyrinth weir at the same time makes TPTPIO weir with 4 nappe breakers have a higher discharge coefficient than other models. For example, quantitative evaluation shows that in the hydraulic head ratio of 0.24, the discharge coefficient of TRTPIO weir compared to TPTPIO weir, TPTPIO with 4 nappe breakers, TRTPIO with 4 nappe breakers, was 21, 8.5 and 21% had higher discharge coefficient; On the other hand, the Mattos-Villaruel weir had a higher discharge coefficient than TRTPIO weir by 7.8%. The results of numerical modeling showed that by increasing the hydraulic head, discharge coefficient decreased. while the increase of hydraulic head in the labyrinth weirs caused an increase in

\* Corresponding Author: Mohammad Heidarnejad.

Address: Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Email: [mo\\_he3197@yahoo.com](mailto:mo_he3197@yahoo.com)

Tel:

ORCID number: 0000-0002-7306-3614

the interference of nappe flow, energy loss, local submergence, and finally, a decrease in the hydraulic efficiency of the weir.

## 1. Introduction

labyrinth weirs are among the hydraulic structures that regulate the water level and control the flow in canals, rivers, and reservoirs of dams. The discharge capacity that crosses the weir crest and the geometric features of the weir are two of the elements that affect the discharge coefficient in labyrinth weirs. Studies show that the effect of submergence in labyrinth weirs was similar to linear weirs, consequently, if the water level did not exceed the weir crest level, it will not affect the hydraulic performance of weir (Tullis et al., 2007). The discharge coefficient ( $C_d$ ) of free-flow weirs for a constant head was determined by equation (1), and the hydraulic efficiency of these types of weirs was directly related to the length of weir.

$$Q = \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times C_d \times L \times H^{1.5} \quad (1)$$

In equation (1), discharge capacity ( $Q$ ), discharge coefficient ( $C_d$ ), ( $g$ ) acceleration of gravity, ( $H$ ) total hydraulic head, and ( $L$ ) was the length of the weir crest.

## 2. Materials and Methods

Buckingham's method was used for dimensional analysis and finally, equation (2) was obtained.

$$C_d = f(Ht/P, Sf, N_{np}) \quad (2)$$

In equation (2), ( $C_d$ ) represents the discharge coefficient, ( $H/P$ ) represents the total hydraulic head ratio (total hydraulic head to the weir height), ( $Sf$ ) shows the shape factor of weir, and ( $N_{np}$ ) represents the number of nappe breakers.

To perform numerical and physical modeling, a flume with a length of 8 meters, width of 0.6 meters, and height of 0.6 meters was considered. Two kinds of labyrinth weir layouts (triangular and trapezoidal) were investigated, and the impact of 4 and 8 nappe breakers was assessed for each.

## 3. Results

In all figures, it was observed that the amount of discharge coefficient decreases by increasing the hydraulic head. Almost all figures, it was observed that the weirs have passed via different hydraulic stages, such as clinging, fully aeration, partially aeration, and drowned. Using nappe breakers in trapezoidal labyrinth weirs was evaluated positively, while using these breakers in triangular labyrinth weirs did not have a positive effect.

## 4. Discussion and Conclusion

As the hydraulic head increased, discharge coefficient decreased. The addition of another cycle has had a beneficial impact on the hydraulic efficiency of labyrinth weirs. Using nappe breakers had a positive effect on trapezoidal labyrinth weirs, but it had not affected triangular labyrinth weirs. The lower the number of nappe breakers, the better the result in increasing the discharge coefficient.

## 5. Six important references

- 1) Esmailzadeh, Sh., Esmaili, K., Khodashenas, S.R., and Arjomandkia, F. (2018). Comparison of Numerical and Laboratory Modeling in the Estimation of the Labyrinth Weirs Discharge Coefficient: Investigating Different Overflow Location Modes. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12 (3), 503–511.
- 2) Bonakdari, H., Ebtehaj, I., Gharabaghi, B., Sharifi, A., and Mosavi, A. (2020). Prediction of Discharge Capacity of Labyrinth Weir with Gene Expression Programming, Preprints 2020, 2020010313 (doi:10.20944/preprints 202001.0313.v1).
- 3) Ghaderi, A. Daneshfaraz, R. Abraham, J. Torabi, M. A. (2020). Effect of Different Channels on Discharge Coefficient of Labyrinth Weirs, Technical note.

- 4) Tullis, B. P., Young, J. C., and Chandler, M. A. (2007). Head-discharge relationship for submerged labyrinth Weir, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(3):248–254.
- 5) J. Feili, M. Heidarnejad, A.R. Masjedi, M. Asadilour. 2021. Experimental study of discharge coefficient of trapezoidal arced labyrinth weirs of widened middle cycle, *Flow Measurement and Instrumentation*, 79: 101946, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.101946>.
- 6) Erick Mattos-Villaruel, Carlos Díaz-Delgado, Jorge Flores-Velázquez, Waldo Ojeda-Bustamante, Humberto Salinas-Tapia. (2021). Influence of crest geometric on discharge coefficient efficiency of labyrinth weirs, *Flow Measurement and Instrumentation*, 81: 102031.

### **Conflict of Interest**

The authors declare no competing interests.

### **Acknowledgments**

The authors deeply appreciate Khuzestan Water and Power Authority for the provision of test facilities.

## بررسی مدل عددی و آزمایشگاهی تاثیر توام ایجاد سیکل اضافی و قرارگیری شکافنده جریان در عملکرد هیدرولیکی سرریز زیگزاگی

محمد درخشانی فرد<sup>۱</sup>، محمد حیدرنژاد<sup>۲\*</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۳</sup>، امین بردبار<sup>۴</sup>، اصلان اگدرنژاد<sup>۵</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

مقاله پژوهشی

### چکیده

ظرفیت آبگذری محدود سرریزهای خطی و به موجب آن تخریب سازه های وابسته به سرریز از جمله سد و کانال باعث شد تا به بررسی سرریزهای زیگزاگی در شرایط ایجاد سیکل اضافی و قرارگیری شکافنده جریان پرداخته شود که در واقع ظرفیت بیشتری در آبگذری بواسطه زیگزاگی بودن دارند؛ ضمن آنکه هدف اصلی از این کار ارزیابی ضریب دبی بوده است. در تحقیق حاضر با ایجاد سیکل اضافی در طول بال جانبی و قرارگیری شکافنده جریان بر روی سرریزهای زیگزاگی مثلثی و ذوزنقه‌ای به بررسی آزمایشگاهی و عددی ضریب دبی پرداخته شد. تحقیق حاضر به روش عددی و آزمایشگاهی به انجام رسید بطوریکه در روش آزمایشگاهی، آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک و رسوب سازمان آب و برق خوزستان انجام شد و در روش عددی نیز از نرم افزار FLOW-3D استفاده گردید. نتایج آنالیز ابعادی به روش باکینگهام نشان داد ضریب دبی (Cd)، تابع  $(H_t/P)$  معرف نسبت هد هیدرولیکی کل (هد هیدرولیکی کل به ارتفاع سرریز)، (Sf) معرف فاکتور شکل سرریز و  $(N_{np})$  معرف تعداد شکافنده جریان می‌باشد. مدلسازی فیزیکی و عددی در یک فلوم مستطیلی بطول ۸ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد ایجاد سیکل اضافی تأثیر مثبتی در سرریز TRTPIO به همراه داشته و موجب شده که ضریب دبی و نیز عملکرد هیدرولیکی آن نسبت به قرارگیری توأم شکافنده جریان افزایش یابد. این درحالی است که ایجاد سیکل اضافی و قرارگیری شکافنده جریان بر روی سرریز زیگزاگی بصورت همزمان موجب شد تا سرریز TPTPIO همراه با ۴ عدد شکافنده جریان نسبت به دیگر مدل‌ها دارای ضریب دبی بیشتری باشد. ارزیابی کمی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که بطور مثال در نسبت هد هیدرولیکی ۰/۲۴، ضریب دبی سرریز TRTPIO نسبت به سرریزهای TPTPIO، همراه با ۴ عدد شکافنده جریان، TRTPIO همراه با ۴ عدد شکافنده جریان، آرمانش به ترتیب به میزان ۲۱، ۸/۵ و ۲۱ درصد دارای ضریب دبی بیشتری بوده است؛ از طرفی سرریز Mattos-Villaruel نسبت به TRTPIO به میزان ۷/۸ درصد دارای ضریب دبی بیشتری بوده است. نتایج مدلسازی عددی نشان داد که با افزایش هد هیدرولیکی، ضریب دبی کاهش می‌یابد ضمن آنکه افزایش هد هیدرولیکی در سرریزهای زیگزاگی باعث افزایش تداخل تیغه‌های جریان، افت انرژی، استغراق موضعی و در نهایت کاهش راندمان هیدرولیکی سرریز می‌شود. بطور کلی نتایج مدلسازی عددی و آزمایشگاهی تطابق خوبی با یکدیگر داشتند؛ به طوری که سرریزها تمامی مراحل هیدرولیکی شامل چسبندگی، هوادهی کامل، هوادهی جزئی و خفگی را طی نمودند که حاکی از عملکرد هیدرولیکی مناسب سرریزها است.

واژه‌های کلیدی: هد هیدرولیکی، ظرفیت آبگذری، شکافنده جریان، ضریب دبی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۶۶۱۹۰۸۲۱، پست الکترونیک: m.derakhshanifard@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۱۳۹۱۹۵۳۳، پست الکترونیک: mo\_he3197@yahoo.com

<sup>۳</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۶۶۱۸۲۵۷۴، پست الکترونیک: drmasjedi.2007@yahoo.com

<sup>۴</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۷۱۰۱۷۱۷۰، پست الکترونیک: asefmm@yahoo.com

<sup>۵</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۶۳۱۱۱۲۶۹، پست الکترونیک: a\_eigder@gmail.com

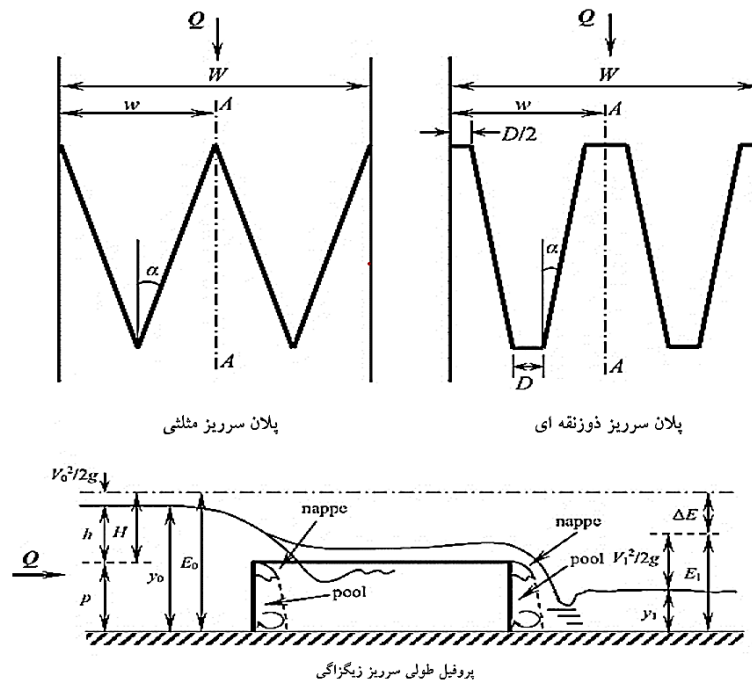
## مقدمه

در رابطه (۱)، دبی جریان (Q)، ضریب دبی (Cd)، (g) شتاب ثقل، (H) هد هیدرولیکی کل و (L) طول تاج سرریز است.

مطالعات نشان می دهد که تأثیر استغراق در سرریزهای زیگزاگی نیز شبیه سرریزهای مستقیم می باشد، بدین ترتیب که اگر تراز پایاب از تراز تاج سرریز تجاوز نکند، تأثیری بر روی عملکرد هیدرولیکی سرریز نخواهد داشت و تنها در صورتی که تراز پایاب بیشتر از تراز تاج گردد، عملکرد سرریز تحت تأثیر شرایط استغراق قرار می گیرد و در آن صورت سرریز همانند یک زائده در مسیر جریان عمل می کند (تولیس و همکاران، ۲۰۰۷). هی و تیلور (۱۹۷۰) و تولیس و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقات جداگانه‌ای توصیه کردند که از طراحی سرریزهای زیگزاگی در شرایط استغراق شدید اجتناب گردد. اندرسون و تولیس (۲۰۱۳) پارامترهای مهم در طراحی سرریز زیگزاگی را مطابق شکل (۱) معرفی کردند.

سرریزهای زیگزاگی از جمله سازه های هیدرولیکی جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال ها و رودخانه ها و مخازن سدها محسوب می شوند. با توجه به رابطه آگذری و هد هیدرولیکی در سرریزها، افزایش طول تاج سرریز یکی از راه های کاهش نوسانات ناشی از تغییرات دبی است. پلان عمومی سرریزهای زیگزاگی اکثراً بصورت مستطیلی، دوزنقه‌ای و مثلثی مورد استفاده قرار می گیرند. ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی به عوامل متعددی از جمله مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری از روی تاج سرریز و مشخصات هندسی سرریز وابسته است. از طرف دیگر کارایی هیدرولیکی سرریزهای ریزشی آزاد برای یک هد ثابت، ارتباط مستقیم با طول سرریز دارد و ضریب دبی (Cd) این نوع سرریزها با استفاده از رابطه (۱) تعیین می شود.

$$Q = \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times C_d \times L \times H^{1.5} \quad (1)$$



شکل (۱): پارامترهای هندسی و هیدرولیکی سرریز زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای

زیگزاگی دوزنقه‌ای و مثلثی پرداختند. ایشان دریافتند سرریز مثلثی ۴ درصد راندمان بیشتری نسبت به سرریز دوزنقه‌ای دارد ضمن آنکه استفاده از شکافنده جریان تأثیرگذاری بهتری در سرریز دوزنقه‌ای را نشان داد. شکافنده جریان می تواند راندمان هیدرولیکی سرریز را تا ۱۱ درصد بهبود بخشد. شایان ذکر است ضریب دبی در مدلسازی عددی ۱۰/۲ درصد بیشتر از مدل آزمایشگاهی بود. فیلی و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی

در شکل (۱)، Q دبی جریان، w عرض یک سیکل از سرریز، P ارتفاع سرریز، alpha زاویه بال (تاج) جانبی سرریز با محور افقی، D عرض دماغه سرریز و W عرض کل سرریز می باشد. محققین زیادی با استفاده از سرریزهای زیگزاگی به بررسی ضریب دبی پرداختند که در ادامه به شرح روش و نتیجه گیری آنها پرداخته شده است. آقاشیرمحمدی و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه آزمایشگاهی و عددی تأثیر شکافنده جریان بر روی سرریزهای



$$Cd = Exp [F - L/b + 1.8] - Exp [1 - Exp [w/y]] + w/y \times Exp [0.034 L/y (\theta - 1)] + 1 - [w/y + Exp [L/b + 1.58 F - \theta + 1.79]] \quad (2)$$

$$Cd = 0.466 + 0.338 (p/y) - 0.183 (L/W) - 0.022 (L/y) + 0.31 F + 0.12 \sin (\theta) \quad (3)$$

آریامنش و حیدرنژاد (۲۰۲۰)، به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی مثلثی شکاف دار و بدون شکاف و مقایسه آنها با سرریز کلید پیانویی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد ایجاد شکاف در سرریزهای تک سیکل و دو سیکل نمی تواند عامل مؤثری برای افزایش طول تاج سرریز به حساب آید، به بیان دیگر وجود شکاف در سرریزهای مثلثی تک سیکل و دو سیکل موجب گردیده تا ضریب دبی این سرریزها نسبت به نوع بی شکاف آنها به ترتیب به میزان ۳۵ و ۳۳ درصد کاهش یابد که دلیل آن ایجاد افت انرژی، استغراق موضعی و تداخل جریان در دماغه شکاف حتی در ظرفیت های دبی پایین است، در حالیکه ضریب دبی همین سرریزها (سرریزهای مثلثی شکاف دار و بی شکاف) نسبت به نوع کلید پیانویی تک سیکل و دو سیکل به ترتیب به میزان ۴۰ و ۲۶ درصد کاهش داشته است. غریبوند و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی عددی هیدرولیک جریان در سرریزهای خطی، زیگزاگی دوزنقه ای و کلید پیانویی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد تطابق خوبی بین مدل سازی عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. ضریب دبی سرریز کلید پیانویی نسبت به سرریزهای خطی و زیگزاگی دوزنقه ای به ترتیب به میزان ۲۶ و ۲۴ درصد بیشتر بود. کریمی و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی آزمایشگاهی خصوصیات جریان بر روی سرریز جانبی زیگزاگی مثلثی نامتقارن با زوایای قرارگیری مختلف پرداختند. ایشان دریافتند سرریزهای جانبی زیگزاگی مثلثی متقارن دارای ضریب دبی بیشتری نسبت به نوع نامتقارن آن می باشند. از سوی دیگر زاویه انحراف در قرارگیری سرریزهای نامتقارن باعث شد تا ظرفیت آگذری بیشتری نسبت به سرریزهای متقارن داشته باشند. به عبارت دیگر این امر منجر به افزایش ۵۰ درصدی ظرفیت آگذری سرریز نامتقارن نسبت به نوع متقارن آن شد. منجزی و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی قوسی با پلان مثلثی پرداختند، نتایج نشان داد افزایش هد هیدرولیکی موجب کاهش ضریب دبی می شود. همچنین قوسی کردن سرریز می تواند راندمان سرریزهای خطی

آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی دوزنقه ای قوسی با سیکل میانی متفاوت پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد کاهش نسبت عرض دماغه سرریز زیگزاگی دوزنقه ای قوسی با سیکل میانی متفاوت ( $w2/w1$ ) از ۰/۴۲ به ۰/۳۰، موجب افزایش ضریب دبی از ۱۳ تا ۳۳ درصد می شود. Mattos-Villarroel و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی تاثیر هندسه تاج سرریز بر راندمان ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی پرداختند. نتایج نشان داد که میزان همبستگی بین داده های تجربی و شبیه سازی شده با استفاده از CFD بسیار بالا است ( $R^2 = 0.984$ ). ضمن آنکه سرریزهای با تاج دایره ای کارآمدتر از سرریزهای با تاج دوزنقه ای می باشند، زیرا ضریب دبی بالاتری دارند (۴/۷ درصد بیشتر). قادری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از نرم افزار FLOW-3D به بررسی تاثیر کانال های متفاوت بر ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی پرداختند. ایشان دریافتند که شیب کف برابر ۴ درصد ( $\beta=4\%$ ) به همراه زاویه دیواره کانال همگرا برابر ۱۰ درجه ( $\theta=10$ ) دارای بالاترین مقدار ضریب دبی می باشند. بنابراین تغییر شیب کف و زاویه دیواره کانال سرریز، ضریب دبی را افزایش می دهد و باید این پارامترها در طراحی سرریز زیگزاگی لحاظ شوند. بنکداری و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از برنامه نویسی بیان ژن (GEP) به پیش بینی ظرفیت آگذری سرریز زیگزاگی پرداختند. ایشان با استفاده از نسبت ارتفاع تاج به هد هیدرولیکی سرریز ( $w/y$  یا  $P/y$ )، نسبت طول تاج به عرض کانال ( $L/W$ )، طول تاج به هد هیدرولیکی سرریز ( $L/y$ )، عدد فرود ( $Fr$ ) و زاویه گرداب ( $\theta$ )، یک رابطه ریاضی به روش برنامه نویسی بیان ژن (GEP) ارائه نمودند (رابطه ۲). نتایج تحقیق نشان داد که پارامتر زاویه گرداب ( $\theta$ ) نسبت به سایر مدل ها در پیش بینی ضریب دبی ( $Cd$ ) اثر کمتری دارد. از سوی دیگر ایشان بیان داشتند استفاده هم زمان از تمامی پارامترهای تشکیل دهنده رابطه (۲) در پیش بینی ضریب دبی ضروری است. همچنین رابطه (۳) نیز برای پیش بینی ضریب دبی ارائه شده است که این رابطه از روش آنالیز رگرسیون غیر خطی (NLR) حاصل شده است. نتایج نهایی از تحقیق ایشان نشان داد که روش GEP در مقایسه با روش NLR از دقت بالاتری برخوردار است.



در تخمین ضریب دبی سرریز زیگزاگی پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد با افزایش نسبت هد هیدرولیکی ( $Ht/P$ )، ضریب دبی کاهش یافت که نشان دهنده برقراری روند طبیعی کارایی سرریز زیگزاگی می باشد. همچنین محدوده ضریب دبی در حد بالای محدوده استاندارد ضریب دبی، یعنی  $0 < C_d < 1$  قرار داشت که نشان دهنده بالا بودن راندمان هیدرولیکی در این نوع از سرریزها می باشد. از آنجایی که جانمایی هر دو سرریز (فرم یک و فرم معکوس) در جهت خلاف جریان نسبت به سرریز زیگزاگی نرمال می باشد، این مورد نشان دهنده پایین تر بودن راندمان هیدرولیکی سرریز، به دلیل عدم وجود دیواره‌های افقی است که اهمیت وجود این دیواره‌ها در ساختمان هندسی سرریزهای زیگزاگی را نشان می دهد. Gebhardt و همکاران (۲۰۱۷)، به مقایسه سرریزهای جانبی و زیگزاگی در رودخانه ایلمنو پرداختند. آنان رابطه دبی اشل را برای سرریزهای جانبی و سرریزهای زیگزاگی دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی به صورت تجربی برای شرایط جریان آزاد و مستغرق ارزیابی کردند. بر اساس نتایجی که از این پژوهش حاصل شد، سرریز زیگزاگی به دلیل داشتن طول تاج بیشتر می تواند جریان بیشتری را به ازای هد هیدرولیکی کمتر عبور دهد و در مقابل، هد بالادست سرریز زیگزاگی در مواقع سیلابی بیشتر از یک سرریز جانبی خواهد بود. ضمن آنکه سرریز جانبی در شرایط جریان مستغرق بهتر عمل می کند. مشکواتی تروجنی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سرریزهای زیگزاگی دوزنقه‌ای پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که برای طول مشخصی از سرریز و در یک  $Ht/P$  ثابت با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی روند کاهشی خواهد داشت؛ ایشان همچنین بیان داشتند که در یک عدد فرود ثابت، عمق آب بالادست سرریز خطی تقریباً  $2/8$  برابر بیشتر از سرریز زیگزاگی است و نیز ظرفیت آبگذری سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای بطور متوسط  $2/94$  برابر بیشتر از سرریز خطی می باشد.

در جمع بندی مطالب این بخش باید بیان داشت که هدف از تحقیق حاضر بررسی آزمایشگاهی تاثیر نسبت هد هیدرولیکی و نیز فاکتور شکل سرریز بر عملکرد هیدرولیکی و ضریب دبی آنها با ایجاد سیکل اضافی در طول بال جانبی سرریز می باشد. این در حالی است که بطور عمده مطالعات پیشین بر روی فرم

قوسی را تا ۲۱ و سرریزهای زیگزاگی قوسی تا حدود ۵۷ درصد بهبود بخشید. غریبوند و همکاران (۲۰۱۸) در مورد تجزیه و تحلیل عددی هیدرولیک جریان در سرریز زیگزاگی دوزنقه‌ای و کلید پیانویی مطالعه داشتند. نتایج مطالعه نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های حاصل از مدلسازی عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. سرریز کلیدی پیانویی ضریب دبی بالاتری در مقایسه با سرریزهای خطی داشتند در نتیجه ضریب دبی ۲۶ درصد افزایش داشته است چرا که ارتفاع سرریز کلید پیانویی ۵۰ درصد افزایش یافته بود (از ۵ به ۷/۵ سانتی متر) ضمن آنکه این افزایش برای سرریزهای زیگزاگی ۲۴ درصد بود. ضمیری و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر تغییرات شکل در طرح سرریز زیگزاگی بر افزایش ضریب دبی جریان با استفاده از نرم افزار FLOW-3D پرداختند. براساس نتایج آزمایشگاهی محققین قبلی، زاویه دیواره جانبی سرریز زیگزاگی برابر با ۶ درجه از طریق نرم افزار FLOW-3D مدلسازی شد. پس از اعتبار سنجی، تغییرات ضریب دبی با زاویه‌های ۴۵ درجه و ۸۵ درجه و اشکال مثلث و نیم دایره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد ضرایب دبی با زاویه ۸۵ و ۴۵ درجه بیشتر از ضریب دبی با زاویه ۶ درجه بود. همچنین، ضریب دبی سرریز با اشکال راس مثلثی و نیم دایره‌ای در مقایسه با راس خطی بترتیب  $50/29$  و  $4/15$  درصد افزایش دارد. بهره‌بر و همکاران (۲۰۱۸)، به مقایسه ضریب دبی در سرریزهای زیگزاگی با هندسه‌های متفاوت و با استفاده از نرم افزار FLOW-3D و مدل آزمایشگاهی پرداختند. ایشان در یک کانال به عرض ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و با استفاده از ۴ ظرفیت آبگذری مختلف (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر بر ثانیه) اقدام به بررسی عددی (با استفاده از نرم افزار FLOW-3D با مدل آشفتگی  $K-\epsilon$  از نوع RNG) و نیز آزمایشگاهی سرریزهای زیگزاگی دوزنقه‌ای، مربعی، مثلثی و کلید پیانویی نمودند. نتایج نشان داد سرریز زیگزاگی مثلثی بیشترین ضریب دبی را به خود اختصاص داده و با افزایش نسبت ( $Ht/P$ ) برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی کاهش می یابد. از سوی دیگر ایشان بیان داشتند که تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر عددی و آزمایشگاهی وجود دارد و بهترین محدوده در طراحی برای نسبت ( $Ht/P$ )، نسبت  $0/14$  تا  $0/42$  است که حداکثر ضریب دبی معادل  $1/24$  در این محدوده قرار می گیرد. اسمعیل زاده و همکاران (۲۰۱۸)، به مقایسه مدلسازی عددی و آزمایشگاهی



پارامترهای  $Q$ ،  $\rho$  و  $P$  به عنوان متغیرهای تکراری استفاده شد، در همین راستا پارامترهای بی بعد در رابطه (۵) ارائه شده است.

$$Cd = f(B/P, S, W/P, w/P, Ht/P, Sf, ts/P, Nnp, \mu P/\rho Q, \sigma/\rho P, Nnp) \quad (5)$$

باتوجه به اینکه در تحقیق حاضر، پارامترهای بی بعدی مانند شیب کانال ( $S$ )، ضخامت دیواره سرریز ( $ts/P$ )، طول بال (تاج) جانبی سرریز ( $B/P$ )، عرض یک سیکل سرریز ( $w/P$ )، عرض کل سرریز ( $W/P$ ) و تعداد سیکل ( $N$ ) ثابت بودند، بنابراین حذف شدند. همچنین با توجه به آشفته بودن جریان و بالا بودن عمق جریان در کانال و روی سرریز، عدد رینولدز ( $\mu P/\rho Q$ ) و عدد وبر ( $\sigma/\rho P$ ) بی تاثیر می باشد. لازم به ذکر است که تأثیر شتاب ثقل ( $gP^5/Q^2$ ) که بیان کننده عدد فرود است در پارامتر بی بعد ( $Ht/P$ ) در نظر گرفته شد. در نهایت پس از حذف پارامترهای بی بعد ثابت، رابطه (۶) برای محاسبه ضریب دبی در تحقیق حاضر ارائه شد.

$$Cd = f(Ht/P, Sf, Nnp) \quad (6)$$

در رابطه (۶)، ( $Cd$ ) معرف ضریب دبی، ( $Ht/P$ ) معرف نسبت هد هیدرولیکی کل (هد هیدرولیکی کل به ارتفاع سرریز)، ( $Sf$ ) معرف فاکتور شکل سرریز و ( $Nnp$ ) معرف تعداد شکافنده جریان می باشد.

با توجه به آنالیز ابعادی و تعیین پارامترهای بدون بعد، در جدول (۱) نحوه برقراری ارتباط بین پارامترها جهت پیش برد روند انجام آزمایشات ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات هندسی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای در تحقیق حاضر

ردیف	پلان سرریز	فاکتور شکل سرریز	$ts$ (mm)	$B$ (cm)	$W$ (cm)	$w$ (cm)	$L$ (cm)	$P$ (cm)	$w/P$	$B/w$	$N$	$Nnp$	تعداد دبی	تعداد آزمایش
۱	زیگزاگی مثلثی	TRTPIO	۵	۶۱/۸۵	۵۹	۲۹/۵	۲۵۵/۴	۱۰	۲/۹۵	۲/۰۹	۲	۸۰۴	۱۰	۱۰
۲	زیگزاگی دوزنقه‌ای	TPTPIO	۵	۶۰/۴۱	۵۹	۲۹/۵	۲۸۱/۶	۱۰	۲/۹۵	۲/۰۴	۲	۸۰۴	۱۰	۱۰

عمومی (کلی) سرریز بوده (از نوع مثلثی) و TP معرف شکل سیکل اضافی سرریز بوده (از نوع دوزنقه‌ای)، O و I معرف موقعیت سیکل اضافی بترتیب در سیکل خروجی و ورودی

معمول از سرریزهای زیگزاگی بوده است و تاکنون تحقیقات مشخصی از نحوه افزایش طول تاج سرریز از طریق ایجاد سیکل اضافی در طول بال جانبی سرریز انجام نشده است و یا ممکن است تحقیقات در این عرصه در مراحل اولیه باشد.

## مواد و روش‌ها آنالیز ابعادی

توصیف دقیق جریان سه بعدی در سرریزهای زیگزاگی امری دشوار است. در یک رابطه ریاضی باید معادلات انرژی، مومنتم و پیوستگی در کنار پارامترهایی مانند هندسه سرریز، شکل تاج، استغراق موضعی، تداخل لایه‌های جریان عبوری از روی سرریز، خطوط جریان غیر موازی، فشار زیر تیغه جریان، وجود و یا عدم وجود حفره هوا پشت تیغه جریان، اثرات کشش سطحی، اثرات لزجت و ... لحاظ گردد. پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای زیگزاگی در رابطه (۴) نشان داده شده است.

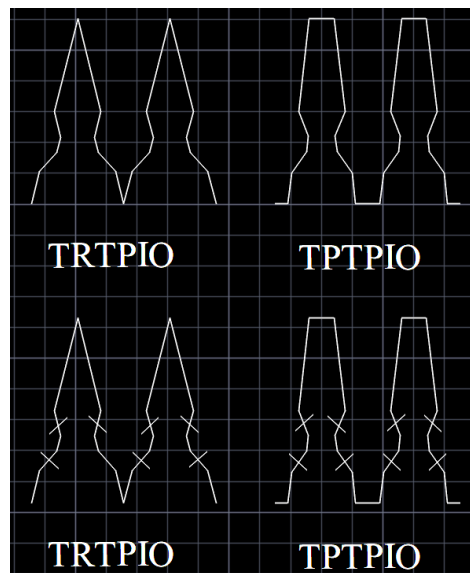
$$Cd = f(Q, B, S, W, w, Ht, P, Sf, ts, N, g, \mu, \rho, \sigma, Nnp) \quad (4)$$

در رابطه (۴)، ضریب دبی ( $Cd$ ) تابع پارامترهایی همچون  $Q$  دبی جریان،  $B$  طول بال (تاج) جانبی سرریز،  $S$  شیب کانال،  $w$  عرض یک سیکل سرریز،  $Sf$  فاکتور شکل سرریز،  $W$  عرض کل سرریز،  $ts$  ضخامت دیواره سرریز،  $P$  ارتفاع سرریز،  $N$  تعداد سیکل،  $Ht$  هد هیدرولیکی کل،  $g$  شتاب ثقل،  $\mu$  لزجت دینامیکی،  $\rho$  چگالی سیال،  $\sigma$  کشش سطحی سیال و  $Nnp$  تعداد شکافنده جریان می باشد. برای انجام تحلیل ابعادی از

با توجه به جدول (۱)، TR مخفف TRIANGULAR و TP مخفف TRAPEZOIDAL می باشد. به عنوان مثال سرریز TRTPIO بدین صورت شناخته می شود که TR معرف پلان

و سپس با استفاده از لوله پلی اتیلن به ابتدای فلوم منتقل می‌شد. کنترل جریان ورودی به فلوم بوسیله شیر فلکه که قبل از مخزن ورودی قرار داشت انجام می‌گرفت و بدین صورت جریان به آرامی و با دبی کم وارد کانال می‌شد و به آرامی از روی سرریز عبور می‌کرد و در نهایت از طریق کانال پائین دست وارد مخزن زیرزمینی شده تا دوباره به چرخه تامین آب باز گردد. شکل ۳ (الف) پلان و پروفیل طولی فلوم آزمایشگاهی و (ب) سازه‌های وابسته به آن را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

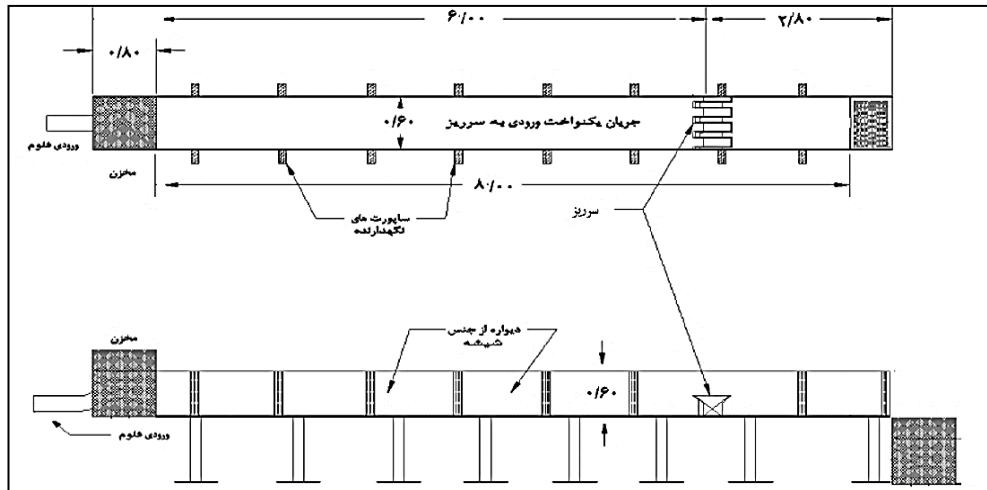
سرریز می‌باشد. شکل (۲)، طرح سرریزهای زیگزاگی با پلان دوزنقه‌ای و مثلثی با ایجاد سیکل اضافی در تاج جانبی سرریز و نیز قرارگیری شکافنده جریان بر روی تاج سرریز را نشان می‌دهد.



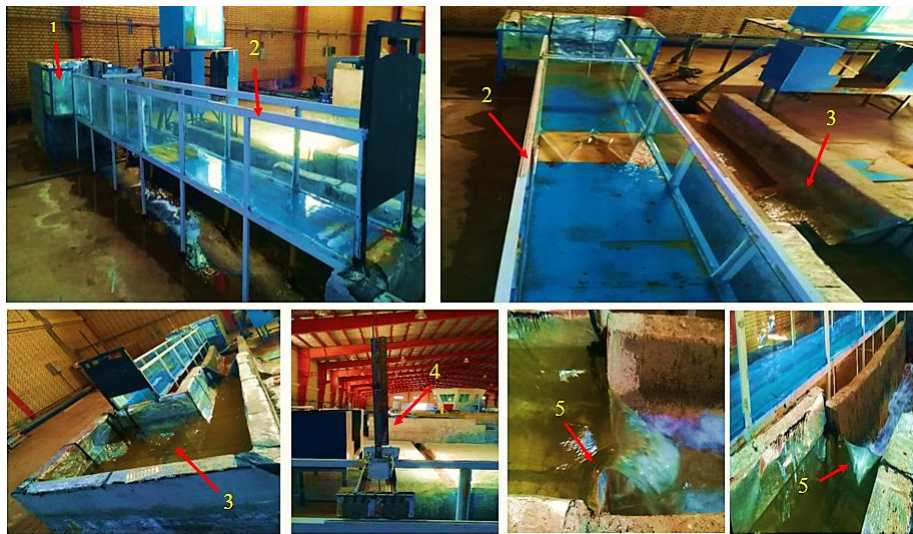
شکل (۲): طرح سرریزهای زیگزاگی با پلان دوزنقه‌ای و مثلثی در تحقیق حاضر

#### مدلسازی آزمایشگاهی

آزمایشات تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک و رسوب سازمان آب و برق خوزستان و بر روی یک فلوم آزمایشگاهی به شکل مستطیل و به طول ۸ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. دیواره‌های فلوم شفاف و از جنس شیشه بود و این امکان را به محقق می‌داد که براحتی پروفیل سطح آب و تغییرات شرایط جریان را مشاهده نماید. مخزن زیرزمینی تأمین آب برای فلوم، سرریز مثلثی ۹۰ درجه جهت اندازه‌گیری دبی، آرام کننده جریان ورودی به فلوم، پمپ کف کش با ظرفیت آبگذری حداکثر ۵۰ لیتر در ثانیه و هد تانک با هد ثابت از تجهیزات مورد استفاده در این فلوم بود. کف فلوم بصورت بستر ثابت و افقی در نظر گرفته شد. انتقال جریان ابتدا توسط پمپ کف کش (۶ اینچ) از مخزن زیرزمینی به سمت هد تانک با ارتفاع ۶ متر انجام می‌شد



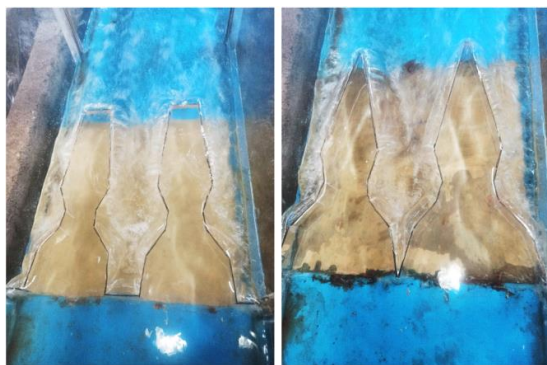
(الف)



(ب)

شکل (۳): (الف) پلان و پروفیل طولی فلوم آزمایشگاهی، (ب) سازه‌های وابسته به فلوم آزمایشگاهی در تحقیق حاضر

هیدرولیکی شکافنده جریان بر روی سرریز زیگزاگی در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمایی از نصب و عملکرد هیدرولیکی سرریز زیگزاگی در تحقیق حاضر

در شکل (۳-ب)، مخزن ورودی (۱)، فلوم آزمایشگاهی (۲)، مخزن و کانال خروجی منتهی به مخزن زیرزمینی (۳)، عمق سنج مکانیکی (۴) و سرریز مثلثی جهت اندازه‌گیری جریان (۵) می‌باشد.

با عبور هدهای هیدرولیکی مختلف از روی سرریز، شرایط هیدرولیکی سرریز (بالادست سرریز، روی سرریز و پایین دست سرریز) بررسی و ثبت می‌گردید. اندازه‌گیری میزان جریان ورودی به فلوم با استفاده از یک سرریز لبه تیز مثلثی انجام می‌شد. سرریزهایی که در این تحقیق ساخته شدند و مورد استفاده قرار گرفتند از جنس پلکسی گلاس و با ضخامت ۵ میلیمتر بودند (شکل ۴)؛ شکل (۵) نیز نمایی از نصب و عملکرد

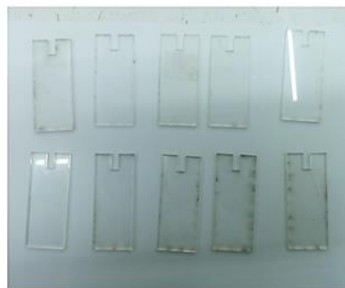
(VOF) با بکارگیری تقریب احجام محدود برای شبیه‌سازی هندسی استفاده می‌شود.

### معادلات حاکم بر نرم‌افزار FLOW-3D

در نرم‌افزار FLOW-3D از معادلات مختلفی برای حرکت سیال استفاده می‌شود. معادلات دیفرانسیل در قالب مختصات کارتزین  $(x, y, z)$  نوشته می‌شوند. در صورت نیاز به استفاده از مختصات استوانه‌ای  $x$  به جهت شعاعی،  $y$  به جهت زاویه‌ای و  $z$  به جهت محوری انتقال می‌یابند. برای هندسه‌های استوانه‌ای نیز برخی ترم‌های اضافی به معادلات حرکت کارتزین اضافه می‌شود. برای این ترم‌ها ضریب ویژه‌ای تعریف شده؛ اگر صفر باشد مختصات مربوط به هندسه استوانه خواهد بود. از جمله معادلات پرکاربرد در بخش حرکت سیال از نرم‌افزار FLOW-3D می‌توان به معادله‌ی کلی پیوستگی جرم، معادلات مومنوم، معادلات ورود هوا، مدل‌های حل آشفتگی، مدل‌های صفر معادله‌ای، معادله‌های یک معادله‌ای، مدل تنش و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ اشاره کرد.

### نحوه انجام مدل‌سازی عددی

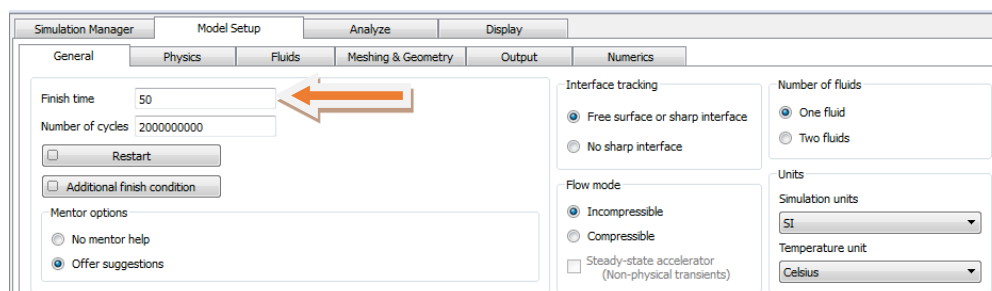
اولین گام در مدل‌سازی عددی، کالیبره کردن مدل است. مقصود از کالیبراسیون مدل آن است که تاثیرات عوامل خارجی به حداقل رسانده شود تا شرایط مدل به شرایط واقعی نزدیک‌تر باشد. به‌منظور کالیبراسیون و مدل‌سازی در نرم‌افزار FLOW-3D نخست باید کلیات مسئله و در ادامه نیز خواص سیال تعیین شوند. بعد از این مراحل نوبت به تولید هندسه‌ی مسئله، شبکه‌بندی و بررسی شبکه‌ی ایجاد شده می‌رسد. در گام بعد شرایط مرزی تعیین می‌گردد. سپس خروجی‌های مورد نیاز تنظیم می‌شود. در انتها، شبیه‌سازی آغاز خواهد شد. در شکل (۶) مراحل انجام مدل‌سازی عددی و در شکل (۷) طراحی مدل سرریز زیگزاگی بهمراه مش‌بندی آن در نرم‌افزار FLOW-3D و در جدول (۲) جزئیات مش‌بندی بلوک ارائه شده‌است.

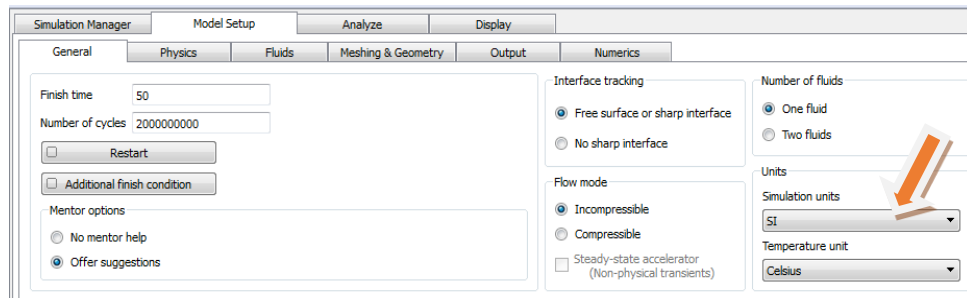


شکل (۵): نمایی از نصب و عملکرد هیدرولیکی شکافنده جریان بر روی سرریز زیگزاگی در تحقیق حاضر

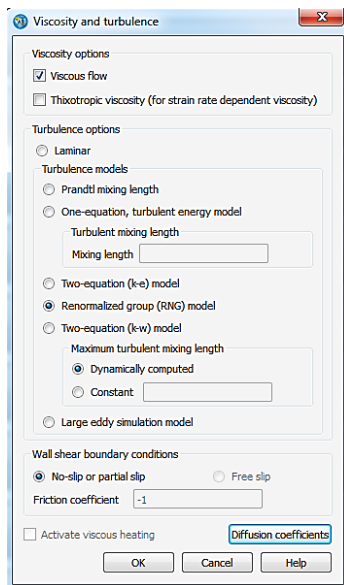
### مدل‌سازی عددی

مدل‌سازی عددی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D انجام شد. نرم‌افزار FLOW-3D معادله‌های حاکم بر حرکت سیال را با بکارگیری تقریب احجام محدود حل می‌کند. در این روش محیط جریان به شبکه‌ای با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم می‌شود و برای هر کدام از این سلول‌ها مقدارهای میانگین کمیت‌های وابسته تعریف می‌گردد. برای این تحقیق و در این نرم‌افزار از تکنیک عددی روش حجم سیال

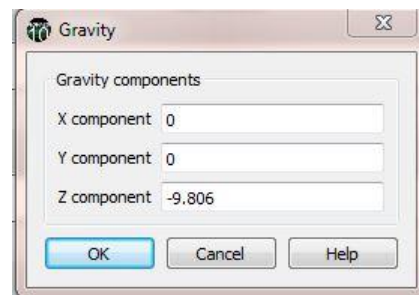




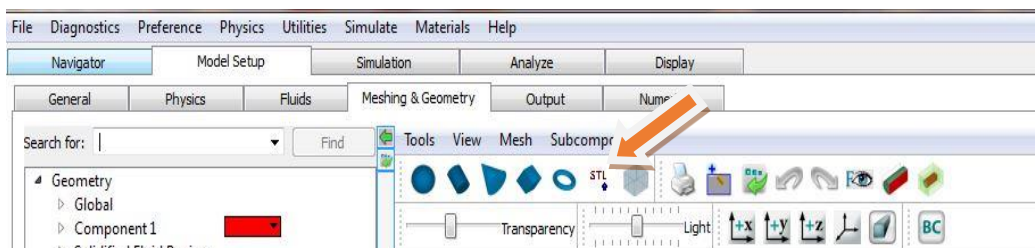
۲-۶- وارد کردن واحد شبیه‌سازی



۴-۶- وارد کردن اطلاعات آشفتگی

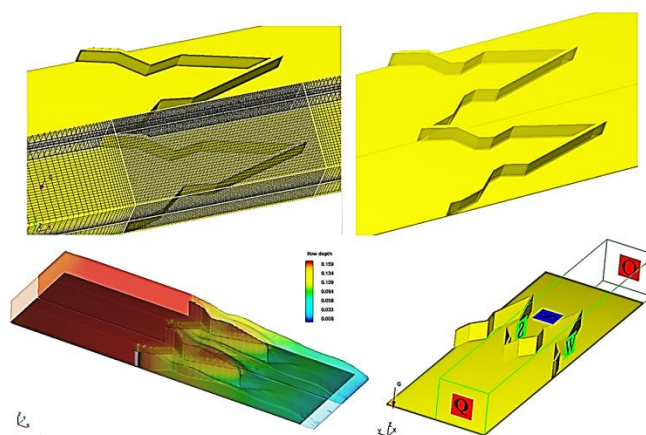


۳-۶- وارد کردن شتاب ثقل



۵-۶- وارد کردن اطلاعات فلوم

شکل (۶): مراحل مدل‌سازی در نرم افزار FLOW-3D



شکل (۷): طراحی مدل سرریز زیگزاگی و مش بندی آن در نرم افزار FLOW-3D

جدول (۲): جزئیات مش بندی بلوک

ردیف	Subject	Block	Total Number Of Real Cells	Minimum Cell Size	Maximum Cell Size	Maximum Adjacent Cell Size Ratio
	X	۱	۲۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۳۵	۱/۲۲
۱	Y	۱	۳۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۱/۰۰
	Z	۱	۲۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۱/۶۹

## نتایج و بحث

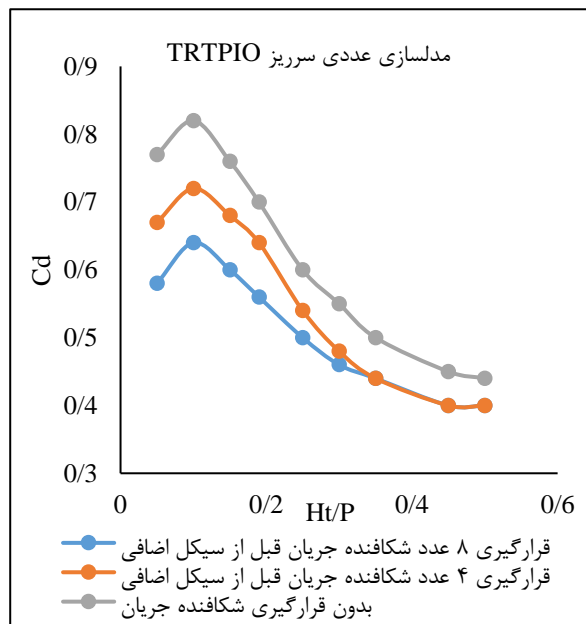
در این تحقیق بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریز زیگزاگی با ایجاد سیکل اضافی در طول بال جانبی و در نظر گرفتن شکافنده جریان بصورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفتند.

### بررسی آزمایشگاهی تاثیر شکافنده جریان بر عملکرد هیدرولیکی سرریز زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه ای

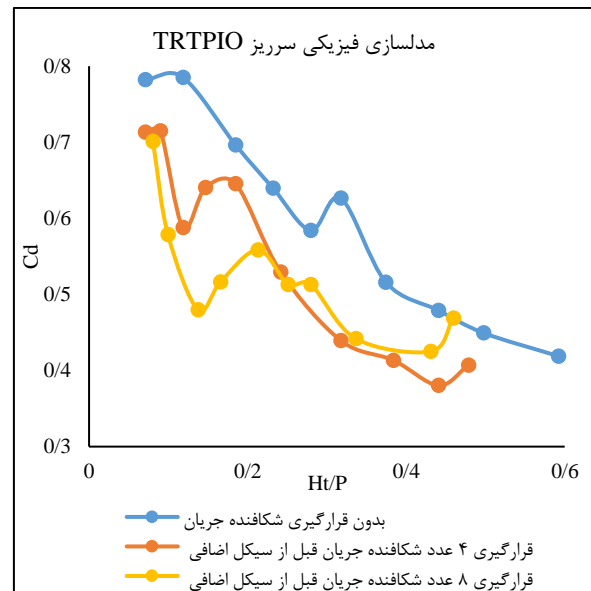
در شکل ۸، مشاهده می شود با افزایش هد هیدرولیکی از میزان ضریب دبی کاسته می شود، به عبارت دیگر ضریب دبی از مقدار ۰/۷۸ تا ۰/۳۸، به ازای افزایش هد هیدرولیکی روند کاهشی دارد. با افزایش هد هیدرولیکی، تیغه های جریان که به کلیدهای خروجی سرریز تخلیه می شوند با شدت بیشتری به یکدیگر برخورد می کنند، در نتیجه این امر موجب ایجاد افت انرژی و به تبع آن کاهش عملکرد هیدرولیکی سرریز می شود. بیشترین ضریب دبی به ترتیب برای حالت عدم قرارگیری شکافنده، قرارگیری ۴ و ۸ عدد شکافنده جریان بر روی سرریز می باشد. فاصله نمودار هر یک از سرریزها نشان دهنده عملکرد مجزای آنها می باشد. تاثیر وجود شکافنده جریان در سرریزهایی با ۴ و ۸ عدد از آنها بخوبی مشهود است ولیکن زمانیکه این تعداد شکافنده در مقام مقایسه با یکدیگر قرار گیرند مشاهده

می شود افزایش تعداد شکافنده موجب کاهش عملکرد هیدرولیکی سرریز و در نتیجه ضریب دبی آن خواهد شد. تاثیر قرارگیری تعداد ۴ و ۸ عدد شکافنده جریان بر روی سرریز TRTPIO بترتیب از هد هیدرولیکی ۰/۱۲ ( $Ht/P = 0.12$ ) و ۰/۱۴ ( $Ht/P = 0.14$ ) آغاز می گردد. در شکل ۹ مشاهده می شود افزایش هد هیدرولیکی موجب شده از مقدار ضریب دبی کاسته شود به طوری که تغییرات ضریب دبی از مقدار ۰/۷۶ تا ۰/۳۲ و تغییرات هد هیدرولیکی از مقدار ۰/۰۷ تا ۰/۶۸ می باشد. شیب کاهش مقادیر ضریب دبی در سرریز TPTPIO نسبت به TRTPIO بیشتر است. این بدان معنی است که سرریز TPTPIO سریعاً به افزایش هد هیدرولیکی و تغییرات آن واکنش نشان می دهد و در نتیجه تداخل تیغه های جریان در سیکل های خروجی نیز در کاهش ضریب دبی مزید علت می گردد. نکته دیگر این است که نزدیک بودن نمودارها در شکل ۹ در مقایسه با شکل ۸ نشان دهنده عملکرد هیدرولیکی تقریباً یکسان آنها می باشد. همچنین در این شکل مشاهده می شود وجود شکافنده جریان نسبت به عدم وجود آن بر روی سرریز تاثیر مثبتی دارد و موجب بهبود شرایط هیدرولیکی سرریز می گردد. به عبارت دیگر وجود شکافنده جریان بخوبی توانسته تداخل تیغه های عبوری از روی سرریز، مبحث هوادهی و نیز افت انرژی را مدیریت کند.

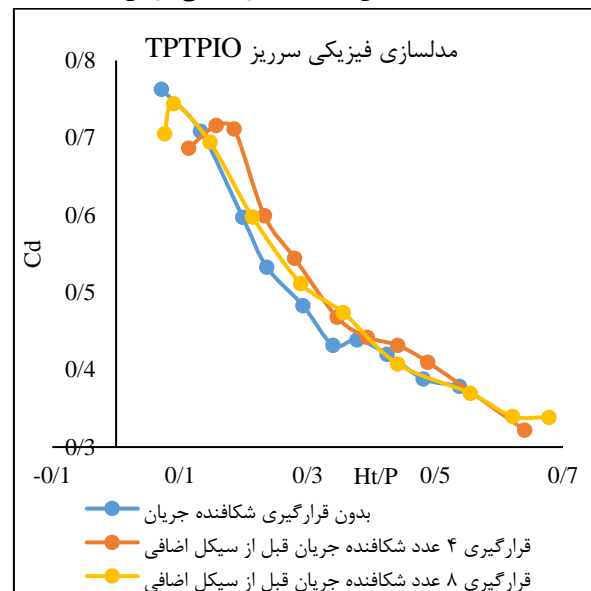
شده ضریب دبی بیشتری داشته باشد. فاصله بین نمودارها در شکل ۱۰ نشان از عملکرد هیدرولیکی مجزای آنها می‌باشد. در شکل ۱۱ و در هد هیدرولیکی  $0/15$  عملکرد عملکرد هیدرولیکی یکسانی دارند بطوریکه در این نقطه یکدیگر را قطع می‌کنند. وجود ۴ عدد شکافنده جریان بر روی سرریز TPTPIO موجب بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریز شده تا جایی که افزایش ضریب دبی را در آن شاهد هستیم. از سوی دیگر عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TPTPIO موجب شده ضریب دبی در آن نسبت به حالت های وجود شکافنده پایین‌تر باشد.



شکل (۱۰): تاثیر وجود و عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TRTPIO ضمن ایجاد سیکل اضافی در آن



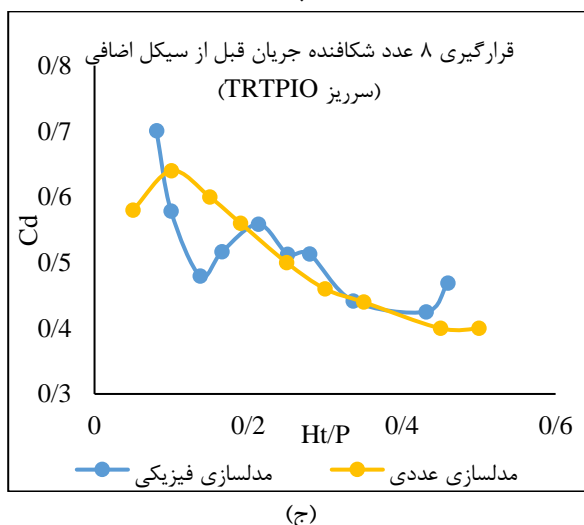
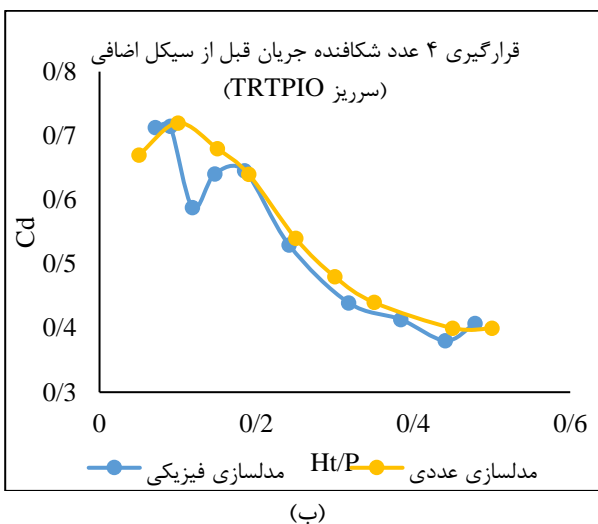
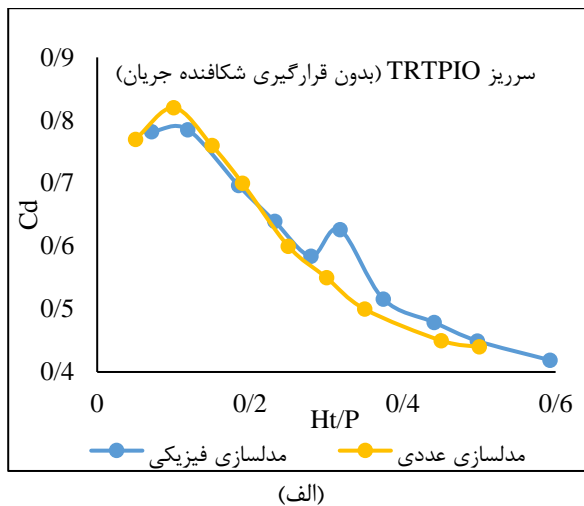
شکل (۸): تاثیر وجود و عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TRTPIO ضمن ایجاد سیکل اضافی در آن



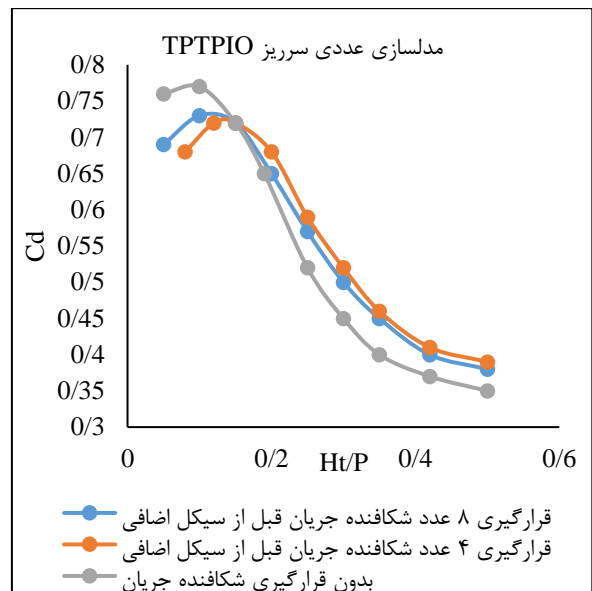
شکل (۹): تاثیر وجود و عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TPTPIO ضمن ایجاد سیکل اضافی در آن

بررسی عددی تاثیر شکافنده جریان بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای

شکل ۱۰ نشان می‌دهد ضریب دبی با افزایش هد هیدرولیکی کاهش می‌یابد. از نسبت هد هیدرولیکی  $0/05$  تا  $0/15$  سرریزها در مراحل چسبندگی و هوادهی کامل قرار دارند و به تدریج از مقدار  $0/15$ ، سرریزها به ترتیب مراحل هوادهی جزئی و خفگی را طی می‌کنند. عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TRTPIO در مقایسه با حالت قرارگیری شکافنده جریان موجب



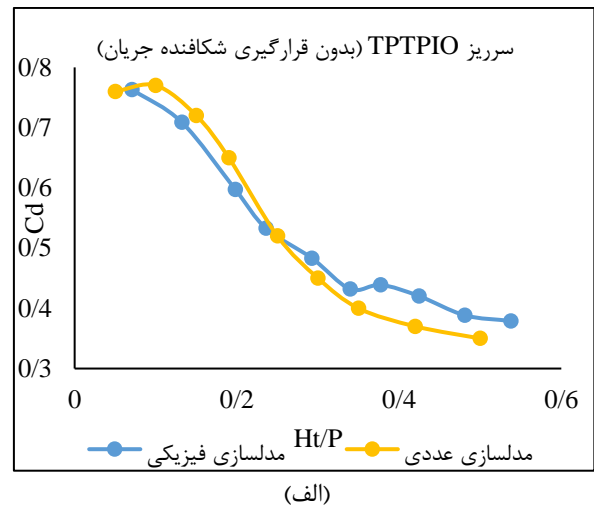
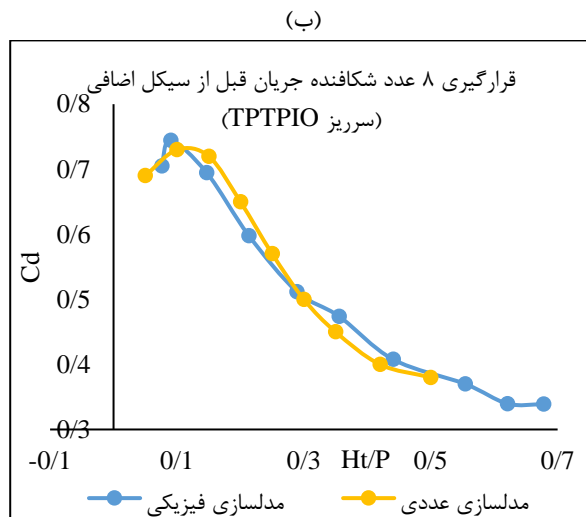
شکل (۱۲): تاثیر شکافنده جریان با استفاده از مدلسازی عددی با آزمایشگاهی برای سرریز TRTPIO



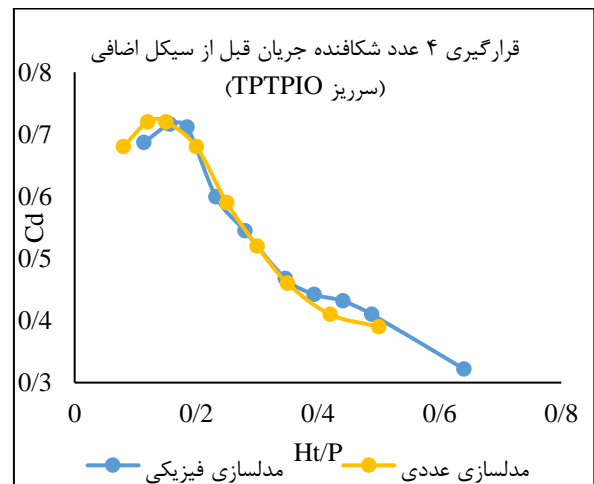
شکل (۱۱) تاثیر وجود و عدم وجود شکافنده جریان بر روی سرریز TPTPIO ضمن ایجاد سیکل اضافی در آن

### مقایسه نتایج مدلسازی عددی و آزمایشگاهی در سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه ای

نتایج حاصل از مدلسازی آزمایشگاهی و عددی برای ضریب دبی سرریز زیگزاگی مثلثی و دوزنقه ای در شکل های (۱۲) و (۱۳) ارائه شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش هد هیدرولیکی، مقدار ضریب دبی کاهش می یابد. محدوده تغییرات ضریب دبی در سرریزهای زیگزاگی با استفاده از مدلسازی آزمایشگاهی و عددی بطور متوسط از ۰/۰۵ تا ۰/۶۸ متغیر می باشد. در مدلسازی عددی و آزمایشگاهی، سرریز زیگزاگی مرحله چسبندگی و هوادهی کامل را طی می کند (نسبت هد هیدرولیکی برابر ۰/۰۵ تا ۰/۱۵)؛ ضمن آنکه نتایج مدلسازی عددی و آزمایشگاهی تطابق خوبی با یکدیگر دارند. مقادیر کمی مربوط به مقایسه نتایج مدلسازی عددی با مدلسازی فیزیکی در جدول (۱) ارائه شده است.



(ج) شکل (۱۳): تاثیر شکافنده جریان با استفاده از مدلسازی عددی با آزمایشگاهی برای سرریز TPTPIO



جدول (۳): مقایسه نتایج مدلسازی عددی با مدلسازی فیزیکی

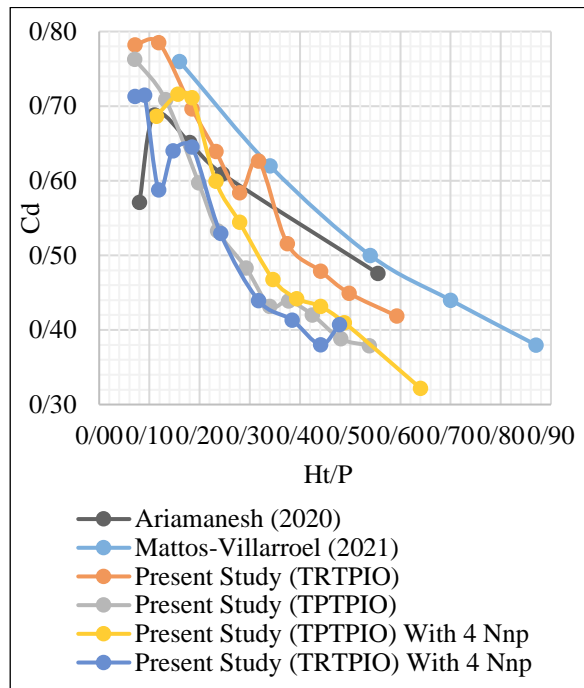
ردیف	نوع مدلسازی	نوع پلان سرریز زیگزاگی	ظرفیت آبگذری (لیتر بر ثانیه)	عمق آب بالادست سرریز (سانتیمتر)
۱	فیزیکی	مثلثی	۸/۱۰ - ۳۹/۹	۱۱/۸۰ - ۱۵/۸۰
		دو زنگه‌ای	۹/۹۵ - ۳۷/۹۰	۱۲ - ۱۵/۷۰
۲	عددی	مثلثی	۸/۱۰ - ۳۹/۹۰	۱۲ - ۱۵/۸۷
		دو زنگه‌ای	۹/۹۵ - ۳۷/۹۰	۱۲/۲۳ - ۱۵/۷۳

شرایط وجود و عدم وجود شکافنده جریان استفاده شد. از اینرو در جدول (۳)، مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی در تحقیق حاضر ارائه شده است.

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر برای مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر، از سرریزهای زیگزاگی با مشخصه TRTPIO و TPTPIO در

جدول (۴): مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات دیگر

Cd	Ht/P	L/B	B/w	w/P	N	Sf	Year	Researcher	No.
۰/۴۲-۰/۷۸	۰/۰۷-۰/۵۹	۴/۱۲	۲/۰۹	۲/۹۵	۲	TRTPIO	۲۰۲۳	present study	۱
۰/۳۸-۰/۷۱	۰/۰۷-۰/۴۷	۴/۱۲	۲/۰۹	۲/۹۵	۲	TRTPIO with 4 Nnp	۲۰۲۳	present study	۲
۰/۳۷-۰/۷۶	۰/۰۷-۰/۵۴	۴/۶۶	۲/۰۴	۲/۹۵	۲	TPTPIO	۲۰۲۳	present study	۳
۰/۳۲-۰/۷۱	۰/۱۱-۰/۶۳	۴/۶۶	۲/۰۴	۲/۹۵	۲	TPTPIO with 4 Nnp	۲۰۲۳	present study	۴
۰/۳۸-۰/۷۶	۰/۱۶-۰/۸۷	-	-	۲	۲	TRAPEZOIDAL	۲۰۲۱	Mattos-Villarroel	۵
۰/۴۷-۰/۶۸	۰/۰۸-۰/۵۵	۴	۲/۰۳	۳	۲	TRIANGULAR	۲۰۲۰	Ariamaneh	۶



شکل (۱۴): مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر عملکرد هیدرولیکی سرریز زیگزاگی پلان مثلثی و دوزنقه‌ای با ایجاد سیکل اضافی در طول بال جانبی و قرارگیری شکافنده جریان بر روی سرریز با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از انجام آزمایشات نشان داد که در تمامی بخش‌های هدف، با افزایش هد هیدرولیکی از میزان ضریب دبی کاسته می‌شود. ایجاد سیکل اضافی به تنهایی تاثیر مثبتی برای سرریز TRTPIO به همراه داشت و موجب شد ضریب دبی و نیز عملکرد هیدرولیکی آن نسبت به قرارگیری توام شکافنده جریان افزایش یابد اما از سوی دیگر علاوه بر ایجاد سیکل اضافی، قرارگیری توام شکافنده جریان بر روی سرریز زیگزاگی موجب شد تا سرریز TPTPIO به همراه ۴ عدد شکافنده جریان نسبت به دیگر مدل‌ها دارای ضریب دبی بیشتری باشد. باید بیان داشت تفاوت تاثیر ایجاد سیکل اضافی و قرارگیری شکافنده جریان در زمان ایجاد شوک هیدرولیکی در سرریز است بدین معنی که اگر صرفاً ایجاد سیکل اضافی در سرریز ملاک باشد، در هد هیدرولیکی نسبتاً بالایی این سیکل اضافی وارد عمل شده و موجب افزایش ضریب دبی در یک بازه مشخصی می‌شود اما اگر استفاده توام از سیکل اضافی و قرارگیری شکافنده جریان مد نظر باشد آنگاه در هد هیدرولیکی کمتری این دو موجب

در جدول (۴)،  $S_f$  معرف فاکتور شکل سرریز،  $N$  معرف تعداد سیکل،  $w/P$  معرف نسبت عرض سیکل به ارتفاع سرریز،  $B/w$  معرف نسبت طول تاج جانبی سرریز به عرض سیکل،  $L/B$  معرف نسبت طول سرریز به طول تاج جانبی سرریز،  $H_t/P$  معرف نسبت هد هیدرولیکی کل به ارتفاع سرریز و  $C_d$  معرف ضریب دبی می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات دیگر در شکل (۱۴) ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد در تمامی سرریزها، افزایش هد هیدرولیکی موجب کاهش ضریب دبی شده است. در این شکل برای تمامی سرریزها، هد هیدرولیکی از  $0/07$  تا  $0/87$  و ضریب دبی از  $0/32$  تا  $0/78$  متغیر بوده است. سرریز TRTPIO نسبت به دیگر سرریزها در یک بازه مشخص از هد هیدرولیکی سریعاً به بالاترین ضریب دبی می‌رسد ولیکن عدم پایداری هیدرولیکی مناسب موجب می‌گردد تا در هدهای هیدرولیکی بالا توانایی حفظ ضریب دبی مناسب را نداشته باشد در مقابل سرریز مربوط به تحقیق آقای Mattos-Villarroel توانسته مواردی همچون پایداری هیدرولیکی را بخوبی مدیریت نماید تا جایی که بازای افزایش هد هیدرولیکی به یکباره از عملکرد هیدرولیکی آن با شیب تند کاسته نشود. تمامی سرریزها بطور تقریبی از مرحله چسبندگی عبور کرده اند و در مرحله هوادهی کامل قرار گرفتند ( $H_t/P = 0.07 - 0.2$ )، ضمن آنکه محدوده ( $H_t/P = 0.2 - 0.28$ ) نیز معرف مرحله هوادهی جزئی در تمامی سرریزها می‌باشد و محدوده ( $H_t/P = 0.28 - 0.87$ ) نشان دهنده ورود به مرحله خفگی می‌باشد که در این مرحله تمامی سرریزها کارایی هیدرولیکی خود را بطور تقریبی از دست می‌دهند.

هیدرولیکی در سرریزهای زیگزاگی باعث افزایش تداخل تیغه‌های جریان، افت انرژی، استغراق موضعی و در نهایت کاهش راندمان هیدرولیکی سرریز می‌شود. بطور کلی می‌توان بیان داشت نتایج مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی تطابق خوبی با یکدیگر داشتند؛ این در حالی است که سرریزها تمامی مراحل هیدرولیکی شامل چسبندگی، هوادهی کامل، هوادهی جزئی و خفگی را طی نمودند که حاکی از عملکرد مناسب سرریزها است.

### قدردانی و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از سازمان آب و برق خوزستان - ایران به جهت در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی - قدردانی نمایند.

افزایش ضریب دبی در بازه مشخصی می‌شوند. ضمناً هرچه تعداد شکافنده جریان کمتر باشد نتیجه مطلوب تری در افزایش ضریب دبی حاصل می‌شود. قدرت تداخل تیغه‌های جریان که به کلیدهای خروجی سرریز می‌ریزند تا به پایین دست سرریز هدایت شوند نیز از جمله عواملی هستند که موجب کاهش عملکرد هیدرولیکی سرریز و ایجاد افت انرژی می‌شوند. ارزیابی کمی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که بطور مثال در نسبت هد هیدرولیکی ۰/۲۴، ضریب دبی سرریز TRTPIO نسبت به سرریزهای TPTPIO، TPTPIO همراه با ۴ شکافنده جریان، TRTPIO همراه با ۴ شکافنده جریان، آریامنش به ترتیب به میزان ۲۱، ۸/۵ و ۲۱ درصد دارای ضریب دبی بیشتری بوده است؛ از طرفی سرریز Mattos-Villaruel نسبت به TRTPIO به میزان ۷/۸ درصد دارای ضریب دبی بیشتری بوده است. نتایج مدل‌سازی عددی نشان داد که با افزایش هد هیدرولیکی، ضریب دبی کاهش می‌یابد. بطوری که افزایش هد

### منابع

- تروجنی، س. م.، عمادی، ع. ر.، دهقانی، ا.، و مسعودیان، م. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای کنگره ای دوزنقه‌ای شکل. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۵، شماره ۱۱، ص ۸۶۴-۸۵۲.
- غریبوند، ر.، حیدرنژاد، م.، کشکولی، ح.، حسونی‌زاده، ه.، و کمان‌بدست، ا. (۱۳۹۹). بررسی عددی هیدرولیک جریان در سرریزهای کلیدپیانویی و زیگزاگی دوزنقه ای. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۲۴، شماره ۱، ص ۴۵-۵۶.
- فیلی، ج.، حیدرنژاد، م.، مسجدی، ع.، و اسدی‌لور، م. (۱۴۰۰). بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه سرریزهای زیگزاگی قوسی دوزنقه‌ای بر ضریب دبی جریان. مهندسی منابع آب، دوره ۱۴، شماره ۵۱، ص ۷۳-۸۶.
- Aghashirmohammadi, G., Heidarnejad, M., Purmohammadi, M. H., & Masjedi, A. 2023. Experimental and numerical study the effect of flow splitters on trapezoidal and triangular labyrinth weirs. *Water Science*, 37(1): 28-39. <https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2210391>
- Anderson, R. M. T., B. P. 2013. Piano Key Weir hydraulics and labyrinth weir comparison. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139: 246-253.
- Ariyamanesh, A., & Heidarnejad, M. 2020. Laboratory investigation of the discharge coefficient of triangular labyrinth weirs with and without slots and comparing them with piano key weirs. *Irrigation and Drainage*, 69(5) : 1167-1175. <https://doi.org/10.1002/ird.2509>
- Bahrebar, A., Heidarnejad, M., Masjedi, A., Kamanbedast, A., & Bordbar, A. 2018. Comparing the Discharge Coefficients of Labyrinth Weir Featuring Different Geometries and Laboratory Model Using Flow-3D Software. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(12) : 982-993.
- Bonakdari, H., Ebtehaj, I., Gharabaghi, B., Sharifi, A., & Mosavi, A. 2020. Prediction of Discharge Capacity of Labyrinth Weir with Gene Expression Programming. *Preprints*, 2020010313. <https://doi.org/10.20944/preprints202001.0313.v1>
- Esmailzadeh, S., Esmaili, K., Khodashenas, S. R., & Arjomandkia, F. 2018. Comparison of Numerical and Laboratory Modeling in the Estimation of the Labyrinth Weirs Discharge Coefficient: Investigating Different Overflow Location Modes. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(3): 503-511.
- Feili, J., Heidarnejad, M., Masjedi, A. R & , Asadilour, M. 2021. Experimental study of discharge coefficient of trapezoidal arced labyrinth weirs of widened middle cycle. *Flow Measurement and Instrumentation*, 79: 101946. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.101946>



Gebhardt ,M., Merkel, J., Belzner, F., & Thorenz, C. 2017. A comparison of side weirs and labyrinth weirs at Ilmenau river, Labyrinth and Piano Key Weirs III, PKW 2017 (Epicum & et al, Eds.). Taylor & Francis Group.

Ghaderi, A., Daneshfaraz, R., Abraham, J & ,Torabi, M. A. 2020. Effect of Different Channels on Discharge Coefficient of Labyrinth Weirs. Technical note.

Gharibvand, R., Heidarnejad, M., Kashkoli, H. A., Hasounizadeh, H., & Kamanbedast, A. A. 2018. Numerical analysis of flow hydraulic in trapezoidal labyrinths and piano key weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 64: 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.10.011>

Hay, N., & Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic division, ASCE, 96: 2337-2357.

Karimi, M., Jalili Ghazizadeh, M. R., Saneie, M., & Attari, J. 2019. Flow characteristics over asymmetric triangular labyrinth side weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 68: 101574.

Mattos-Villarroel, E., Díaz-Delgado, C., Flores-Vel´azquez ,J., Ojeda-Bustamante, W., & Salinas-Tapia, H. 2021. Influence of crest geometric on discharge coefficient efficiency of labyrinth weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 81: 102031.

Monjezi, R., Heidarnejad, M., Masjedi, A. R., Purmohammadi, M. H & ,Kamanbedast, A. 2018. Laboratory Investigation of the Discharge Coefficient of Flow in Arced Labyrinth Weirs with Triangular Plans. Flow Measurement and Instrumentation, 64: 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.10.011>

Tullis, B. P., Young, J. C., & Chandler, M. A. 2007. Head-discharge relationship for submerged labyrinth Weir. Journal of Hydraulic Engineering, 133(3): 248–254.

Zamiri, E., Karami, H., & Farzin, S. 2018. Studying the effect of shape changes in plan of labyrinth weir on increasing flow discharge coefficient using Flow-3D numerical model. Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 43(1): 101-116.