

## Research Paper

**Laboratory Study and Comparison of Gabion Inclined Drop Energy Dissipation Equipped with Vertical Screens**Rasoul Daneshfaraz<sup>1\*</sup>,Mahdi Majedi Asl<sup>2</sup>,Mohammad Bagherzadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran ([daneshfaraz@maragheh.ac.ir](mailto:daneshfaraz@maragheh.ac.ir))

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran ([mehdi.majedi@gmail.com](mailto:mehdi.majedi@gmail.com))

<sup>3</sup> M.Sc. in Civil Engineering-Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran ([bagherzadeh.mbz96@gmail.com](mailto:bagherzadeh.mbz96@gmail.com))



10.22125/IWE.2023.168166

Received:  
**September.09.2020**

Accepted:  
**March.15.2021**  
Available online:  
**April,18.2023**

**Keywords:**  
**Energy dissipation,**  
**Vertical screen, Gabion,**  
**Inclined drop, Relative**  
**critical depth**

**Abstract**

Hydraulic engineers have always used applications in inclined drop to increase energy dissipation. In the present laboratory study, the simultaneous effect of the gabion and the vertical screens on the flow energy dissipation in the inclined drop structure was investigated. A total of 120 different experiments were performed for the flow range of 150 to 800 liters per minute and two heights, three inclination angles and two porosity ratios of vertical screens. The results show that in all models, the energy dissipation of the flow decreases with increasing the relative critical depth of the flow. The use of a vertical screens in a gabion inclined drop has little effect on flow energy dissipation, so that the average amount of increase in depreciation of the present study compared to a simple inclined drop equipped with vertical screens is 2.23%. The integrated system presented in the present study reduced the Froude number range from 1.66~2.11 to 0.83~1.9 compared to a simple inclined drop equipped with a vertical screen. A vertical screen with 50% porosity has a higher relative energy dissipation than a 40% porosity, and changing the inclination angle of an inclined gabion to the constant porosity of the screens does not cause much change in the amount of flow energy dissipation. Also, due to the low effect of the integrated system of the present study on the energy dissipation values of the flow, therefore, the simultaneous use of a vertical screens and inclined gabion is not economically recommended.

**1. Introduction**

One of the most common hydraulic energy dissipation structures is drop. The inclined drop structure has less energy dissipation compared to other drop structures, therefore, conducting studies on the change in the rectangular drop structure to increase the amount of energy consumption is strongly felt (Daneshfaraz et al. 2020a). Sholichin and Akib (2010) studied the effects of drop number and its impact on a downstream hydraulic jump for vertical and inclined drops. Their results indicated that drop

\* **Corresponding Author:** Rasoul Daneshfaraz

**Address:** Civil Engineering, University of Maragheh, Iran,

**Email:** [daneshfaraz@maragheh.ac.ir](mailto:daneshfaraz@maragheh.ac.ir)

**Tel:** 009143202126

number is important for predicting a hydraulic jump downstream of a vertical drop but there are not evidences that these considerations can be transferred to an inclined drop. Daneshfaraz et al.(2020b) experimentally investigated the energy loss in inclined drops equipped with a vertical screen, using two drops height, three angles and a relative critical depth ranging from 0.09 to 0.35. They showed that inclined drops with vertical screens reduced the Froude number downstream of the structure from a range of 4.49–7.72 for a plain inclined drop to a new range to 1.66–2.11. By reviewing the previous studies, it was found that no study has been done in the field of changing the structure of the rectangular drop structure by hydraulic researchers. On the other hand, past studies show the increasing development and more attention of researchers in the use of gabion structures and additional structures such as screen as a new method to energy dissipation in the field of hydraulic engineering. Therefore, in this research, for the first time, to increase flow energy dissipation, the combination of gabion drop and screen was used and the results were compared with the simple drop equipped with screen.

## 2. Materials and Methods

The experiments were performed in a horizontal, rectangular cross section channel with Plexiglas walls and with length, width, and height of 5, 0.3, and 0.45 m, respectively. To create an inclined drop, glass boxes with the same width as the channel for plain inclined drop and gabions were used. Inclined drops were fabricated from steel rods rapped with a grid sheet with an opening less than the size of the filling material to form the gabion basket then filled with gravel material boxes. The height was 0.15 and 0.20 m and the angles were 26.56, 33.7, and 45 degrees (Daneshfaraz et al. 2021a). Natural round gravel with porosity of 50% were used as packing material for the gabion inclined drop (Daneshfaraz et al. 2021b). Figure 1 illustrates the experimental model of the present study.

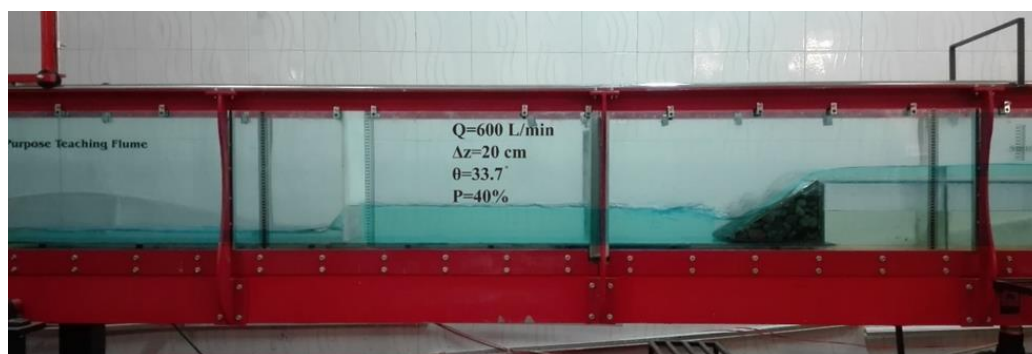


Figure 1. the experimental model of the present study

The geometrical and hydraulic parameters effective in gabion drop equipped with vertical screen can be expressed as a function like equation (1).

$$f_1(\Delta z, \theta, q, \mu, \rho, g, t, p, n, y_0, y_c, y_b, y_1, y_2, y_d, E_0, \Delta E) = 0 \quad (1)$$

Dimensional analysis was done using the Buckingham –  $\pi$  method and the following relationships were obtained.

$$\frac{\Delta E}{E_u} = f_4\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (2)$$

$$\frac{y_d}{\Delta Z} = f_5\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (3)$$

## 3. Results

In order to investigate the effect of using vertical screen at a distance of 1.25 cm from of the gabion inclined drop, 120 different tests for three angles, and for two heights drop and screen with two porosity of 40 and 50% were done. Based on the dimensional analysis, the parameters of the relative critical depth, drop angle and porosity of the screen are effective in the energy dissipation of the gabion inclined drop equipped with a vertical screen. In all models, with the increase of relative critical depth values, the relative energy dissipation decreases. For a constant relative critical depth, with the increase in the

height of the drop and the increase in the slope, the energy dissipation of the flow increases. Comparing the results of the current research with the study Daneshfaraz et al. (2020b) showed that unlike the study of these researchers who believed that vertical screen because a significant increase of energy dissipation in inclined drop, the use of vertical screen in gabion inclined drop did not cause significant energy dissipation. The main reason for this result can be considered the placement of the gabion before these screen, which has caused the low efficiency of the vertical screen. In fact, a major part of the flow is depreciated by the gabion, and the presence of a screen is less effective at low flows. The average increase in the energy dissipation percentage of the current research compared to the study (Daneshfaraz et al. (2020b) is 2.23%.

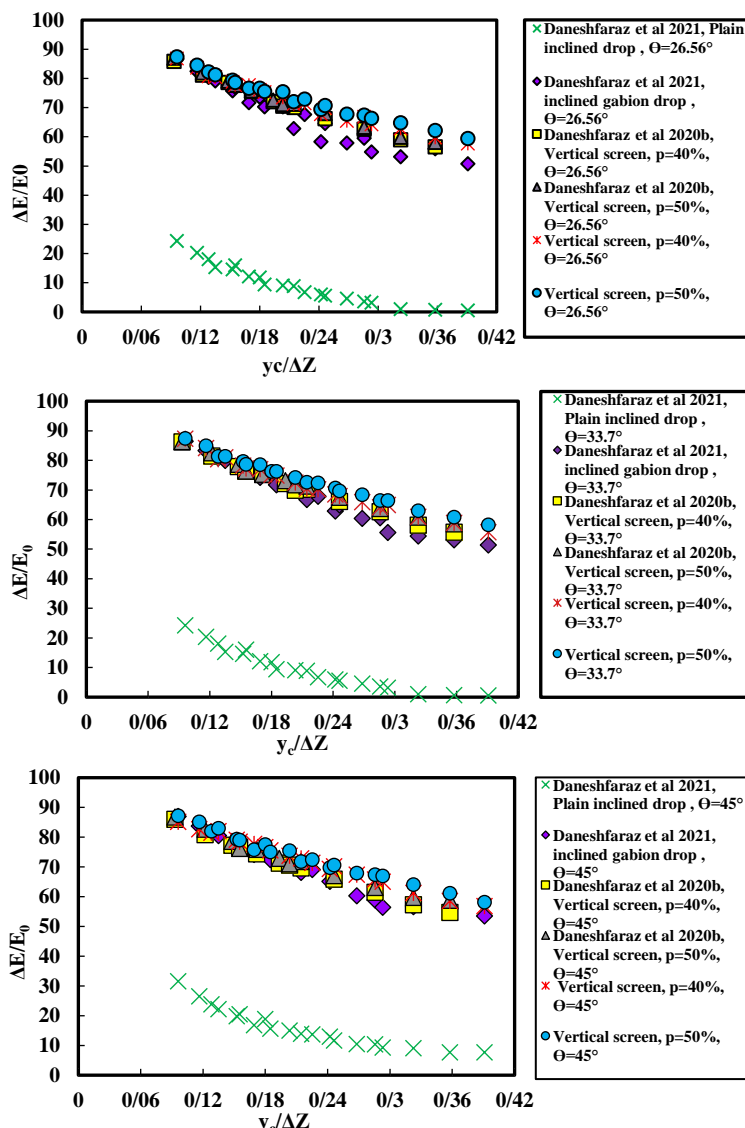


Figure 2. Changes in relative energy dissipation versus relative critical depth

According to the results, it can be seen that the downstream relative depth of the gabion inclined drop equipped with a vertical screen increases with the increase of the relative critical depth of the flow. Also, for the simple drop, and gabion model (Daneshfaraz et al. 2021), and the model studied by Daneshfaraz et al. (2020b), the downstream relative depth increases with the increase in flow rate. By comparing the effect of the percentage of porosity of screen, it can be concluded that screen with 50% porosity have a greater effect in increasing the downstream relative depth than 40% porosity.

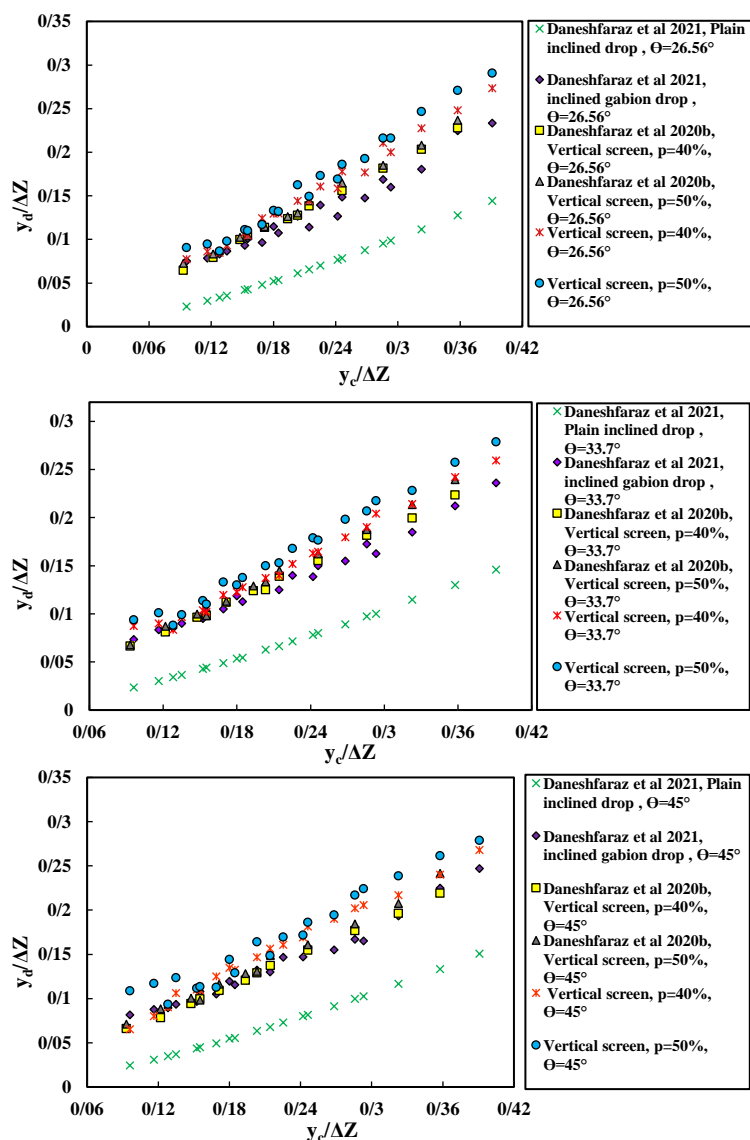


Figure 3. changes in the downstream relative depth versus the relative critical depth

#### 4. Discussion and Conclusion

In the current research, tests were performed on 120 different physical models of the gabion inclined drop equipped with a vertical screen. The main goal was to check the amount of flow energy dissipation by the system presented in this research and compare the results with other researchers. The results showed that:

- In all models, with the increase of the relative critical depth values, the relative energy dissipation decreases and the downstream relative depth increases.
- For a fixed angle, the average amount of relative energy dissipation and downstream relative depth for both used porosities shows that screen 50% porosity has more total relative energy dissipation and downstream relative depth than screen 40% porosity.
- For two type screen porosity, three angles and two drop heights, the average increase 2.23% in energy dissipation of current research compared to the study (Daneshfaraz et al. (2020b) was observed.

#### 5. Six important references

1. Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., & Bagherzadeh, M. (2020a). Experimental Analysis of Inclined Gabion Drop Behavior in Comparison to the Standard Stilling Basins (USBR). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(10), 2531-2541.

2. Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Bazayr, A., Abraham, J., & Norouzi, R. (2020b). The laboratory study of energy dissipation in inclined drops equipped with a screen. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1-10.
3. Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Bagherzadeh, M. (2021). Experimental Investigation of the Energy Dissipation and the Downstream Relative Depth of Pool in the Sloped Gabion Drop and the Sloped simple Drop. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(9), 3665-3678. doi: 10.22060/ceej.2020.18059.6751.
4. Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Asl, M. M. (2021b). Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3451-3459.
5. Sholichin, M., & Akib, S. (2010). Development of drop number performance for estimate hydraulic jump on vertical and sloped drop structure. *International Journal of Physical Sciences*, 5(11), 1678-1687.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

## بررسی و مقایسه آزمایشگاهی استهلاك انرژی شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحات مشبک قائم

رسول دانشفراز<sup>۱\*</sup>، مهدی ماجدی اصل<sup>۲</sup>، محمد باقرزاده<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

مقاله پژوهشی

### چکیده

مهندسين هیدرولیک همواره از سازه‌های الحاقی در سازه شیب‌شکن جهت افزایش استهلاك انرژی بهره جسته‌اند. در مطالعه آزمایشگاهی حاضر به تأثیر هم‌زمان گابیون و صفحه مشبک قائم بر روی استهلاك انرژی جریان در سازه شیب‌شکن مایل پرداخته شد. در کل ۱۲۰ آزمایش متفاوت برای محدوده دبی ۱۵۰ الی ۸۰۰ لیتر بر دقیقه و دو ارتفاع، سه زاویه شیب‌شکن و دو نسبت تخلخل صفحات مشبک قائم انجام شد. نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌ها استهلاك انرژی جریان با افزایش عمق بحرانی نسبی جریان روندی کاهشی دارد. بکارگیری صفحه مشبک قائم در شیب‌شکن مایل گابیونی تأثیر کمی بر روی استهلاك انرژی جریان دارد به طوری که متوسط مقدار افزایش استهلاك تحقیق حاضر نسبت به شیب‌شکن مایل ساده مجهز به صفحه مشبک قائم ۲/۲۳ درصد است. سیستم تلفیقی ارائه شده در تحقیق حاضر باعث کاهش بازه عدد فرود از بازه ۱/۶۶ الی ۲/۱۱ به بازه ۰/۸۳ الی ۱/۹ نسبت به شیب‌شکن مایل ساده مجهز به صفحه مشبک قائم شد. صفحه مشبک قائم با تخلخل ۵۰ درصد استهلاك انرژی نسبی بیشتری نسبت به تخلخل ۴۰ درصدی دارا است و تغییر زاویه شیب‌شکن مایل گابیونی به ازای تخلخل ثابت صفحات سبب تغییر چندانی در میزان استهلاك انرژی جریان ندارد. همچنین به جهت تأثیر کم سیستم تلفیقی تحقیق حاضر بر روی مقادیر استهلاك انرژی جریان لذا استفاده هم‌زمان صفحه مشبک قائم و شیب‌شکن مایل گابیونی به لحاظ اقتصادی توصیه نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استهلاك انرژی، شیب‌شکن مایل، صفحه مشبک قائم، عمق بحرانی نسبی، گابیون

۱ - استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، [daneshfaraz@maragheh.ac.ir](mailto:daneshfaraz@maragheh.ac.ir) (\*نویسنده مسئول)

۲ - دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، [mehdi.majedi@gmail.com](mailto:mehdi.majedi@gmail.com)

۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران،

[bagherzadeh.mbz96@gmail.com](mailto:bagherzadeh.mbz96@gmail.com)



## مقدمه

یکی از مرسوم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی مستهلک کننده انرژی شیب‌شکن‌ها هستند. ایجاد شیب‌شکن در مسیر جریان عبوری از کانال باعث تغییر ناگهانی در عمق جریان می‌گردد که به سبب آن، انرژی جنبشی مخرب اضافی در پایین دست سازه پدید می‌آید. این انرژی ایجاد شده باعث فرسایش دیواره و بستر کانال و تخریب سازه‌های پایین دست می‌شود. سازه شیب‌شکن مایل در مقایسه با دیگر سازه‌های شیب‌شکن استهلاک انرژی کمتری دارد؛ لذا انجام مطالعاتی در مورد تغییر در ساختمان شیب‌شکن مایل مستطیلی جهت افزایش میزان استهلاک انرژی به شدت حس می‌گردد.

Wagner (1956) اولین مطالعات بر روی شیب‌شکن‌های مایل در رودخانه کلمبیا با هدف بررسی استهلاک انرژی پایین دست این سازه‌ها را انجام داد. (Peterka (1958 در مطالعه‌ای آزمایشگاهی با ایجاد تغییرات بر روی پارامترهای دبی، اندازه، ارتفاع و فواصل موانع از یکدیگر بر روی یک مدل شیب‌شکن مانع‌دار، در هر آزمایش میزان استهلاک انرژی را محاسبه نمود. ایشان همچنین سرعت جریان را در هر حالت توسط ابزارهای آزمایشگاهی محاسبه کرد و پیشنهاداتی برای ضوابط طراحی ارائه نمود. (Sholichin and Akib (2010 به بررسی آزمایشگاهی تأثیر عدد شیب‌شکن برای تخمین پرفش هیدرولیکی در پایین دست شیب‌شکن قائم و مایل با سه زاویه و محدوده عمق بحرانی نسبی ۰/۱ تا ۰/۶ پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که عدد شیب‌شکن برای پیش‌بینی طول پرفش هیدرولیکی در پایین دست شیب‌شکن‌های قائم مؤثر بوده؛ ولی برای شیب‌شکن مایل کاربرد ندارد. مرادی سبزوکی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی سه نوع شیب‌شکن رایج شامل قائم، مایل مستطیلی و پلکانی در دو ارتفاع، دو زاویه و دو عدد پله متفاوت پرداختند. نتایج نشان داد که از میان شیب‌شکن‌های رایج، شیب شکن قائم و مایل به ترتیب بیشترین و کمترین استهلاک انرژی را دارا هستند.

مجریان پروژه‌های حوزه هیدرولیک در طی دهه اخیر تمایل بیشتری به استفاده از سازه‌های گابیونی در عملیات عمرانی و ساختمانی نشان دادند. سنگ و سنگ‌ریزه به دلیل دارا بودن دانسیته و وزن زیاد برای پایداری سازه، زبری برای افت انرژی و تخلخل برای زهکشی در مهندسی هیدرولیک کاربرد دارد.

Chinnarasri et al. (2008) مشخصات هیدرولیکی

سرریزهای پلکانی گابیونی را بررسی نمودند. این پژوهشگران نشان دادند که سرریز پلکانی گابیونی افت انرژی بیشتری نسبت به سرریز پلکانی ساده دارد. (Leu et al. (2008 مطالعه‌ای در زمینه جریان متلاطم در نزدیکی سازه‌های سنگ‌ریزه‌ای نصب شده در کف یک فلوم با شرایط جریان آزاد انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که سرعت جریان، شدت تلاطم و تنش برشی رینولدزی با افزایش تخلخل سازه، کاهش می‌یابند. همچنین در سازه‌های با تخلخل ۴۷/۵٪ بیشترین کاهش سرعت در حدود ۴۵٪ در مقایسه با سازه صلب است. Wüthrich and Chanson (2014) در مطالعه‌ای دو سرریز پلکانی نفوذناپذیر و سرریز پلکانی گابیونی را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که فعل و انفعالات میان جریان روگذر و درون‌گذر تابعی از شکل گابیون، دبی، رژیم جریان و الگوی چرخش می‌باشد. بخشی از جریان به صورت نشت از درون گابیون عبور می‌نماید که دلیل اصلی آن وجود تخلخل پله‌های گابیونی است و همچنین باعث کاهش مقدار دبی عبوری از روی پله‌ها می‌گردد. (عباسی و یزدی، ۱۳۹۱) تأثیر مشخصات هندسی آبشکن‌ها بر آبشستگی موضعی دماغه را مورد بررسی قرار دادند. آبشکن‌ها از جنس توری سنگ (گابیون)، از نوع غیر مستغرق و عمود بر دیواره فلوم ساخته شدند. نتایج نشان داد، در آبشکن‌های مستقیم، نسبت فاصله به طول سه و در آبشکن‌های T شکل، نسبت فاصله به طول چهار می‌توانند به عنوان نسبت‌های مناسب پیشنهاد شود. همچنین، استفاده از آبشکن T شکل، به لحاظ داشتن عمق آبشستگی کمتر دماغه و پایداری سازه بر آبشکن مستقیم ارجحیت دارد. (Aal et al. (2019 استهلاک انرژی و ضریب دبی سرریزهای گابیونی پلکانی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از ذرات بزرگ باعث افزایش استهلاک انرژی و ضریب دبی می‌شود و همچنین با افزایش ارتفاع دیواره پایه‌ها، ضریب دبی کاهش می‌یابد. (Shaker et al. (2019 تأثیر ارتفاع گابیون و درشتی مصالح در عمق جریان بالادست را با استفاده از چهار ارتفاع گابیون و چهار دانه‌بندی، مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه و تحلیل نتایج تجربی نشان داد وقتی که دبی و درشتی دانه‌بندی افزایش پیدا کند، کاهش نسبی در عمق جریان بین ۱۷ تا ۳۸ درصد برای نوع جریان درون‌گذر متغیر است. در رژیم جریان انتقالی، افزایش درشتی مصالح و دبی جریان باعث کاهش عمق جریان نسبی به ترتیب ۶/۶ درصد و ۴/۴ درصد برای ارتفاع

صفحات تأثیری بر نتایج ندارد. (Daneshfaraz et al. (2017) در مطالعه‌ای عددی با نرم افزار Flow-3D به بررسی تأثیر بکارگیری صفحات مشبک در نسبت‌های تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد به همراه بلوک در پایین‌دست دریچه پرداختند. این محققین نشان دادند که مدل‌های دارای بلوک در مقایسه با مدل‌های بدون بلوک استهلاک انرژی بیشتری دارند و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی صحت روش عددی را تایید نمودند. (نوروزی سرکارآباد و همکاران، ۱۳۹۸) مطالعه‌ای آزمایشگاهی و با روش ترکیبی شبکه عصبی-فازی تطبیق‌پذیر (ANN و ANFIS)، استهلاک انرژی در پایین دست شیب‌شکن‌های مایل ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از صفحات مشبک منجر به افزایش راندمان استهلاک انرژی نسبی کل، نسبت به شیب‌شکن مایل ساده شد. (Daneshfaraz et al. (2020a) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی تأثیر استفاده از صفحات مشبک دوگانه بر روی پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن قائم را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که فاصله نسبی و تخلخل صفحات مشبک افقی دوگانه تأثیر چندانی بر انرژی نسبی باقی مانده جریان و عمق نسبی پایین‌دست نداشته ولی با این حال با افزایش فاصله نسبی و درصد تخلخل صفحات، طول کل شیب‌شکن کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از صفحات مشبک افقی دوبل در دیواره شیب‌شکن قائم، با زیر بحرانی نمودن جریان بوسیله تلاطم ایجاد شده در استخر، سبب حذف حوضچه آرامش پایین‌دست گردید و طول کل نسبی سازه شیب‌شکن بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. (Daneshfaraz et al. (2020b) به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در شیب‌شکن‌های مایل مجهز به صفحات مشبک قائم پرداختند. آزمایش‌ها برای دو ارتفاع شیب‌شکن و سه زاویه برای شیب در محدوده عمق بحرانی نسبی ۰/۰۹ تا ۰/۳۵ انجام شد. نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌ها با بکارگیری صفحات مشبک قائم با دو نسبت تخلخل در پایین‌دست شیب‌شکن‌های مایل باعث کاهش اعداد فرود از بازه ۴/۴۹-۷/۷۲ به بازه ۲/۱۱-۱/۶۶ گردید. با بررسی مطالعات پیشین مشخص شد که تابحال مطالعه‌ای در زمینه تغییر ساختمان سازه شیب‌شکن مایل مستطیلی توسط پژوهشگران حوزه هیدرولیک صورت نپذیرفته است. از طرفی، مطالعات گذشته نشان‌دهنده گسترش روز افزون و توجه بیشتر محققین در استفاده از سازه‌های گابیونی و سازه‌های الحاقی مانند صفحات

گابیون ۱۵ سانتی‌متر و ۳۰ سانتی‌متر می‌شود. (دانشفراز و همکاران، ۱۳۹۹) پارامترهای استهلاک انرژی نسبی و عمق نسبی پایین‌دست شیب‌شکن مایل ساده و گابیونی را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. بدین منظور ۱۲۰ آزمایش متفاوت برای دو نوع شیب‌شکن با سه زاویه و دو ارتفاع انجام شد. نتایج نشان داد که در هر دو مدل، افزایش عمق بحرانی نسبی، سبب کاهش میزان استهلاک انرژی نسبی و افزایش عمق نسبی پایین‌دست شده است. مقایسه نتایج مربوط به شیب‌شکن مایل گابیونی نسبت به شیب‌شکن مایل ساده نشان داد که بکارگیری گابیون در سطح شیب‌ساز به طور متوسط برای سه زاویه و دو ارتفاع مورد بررسی، راندمان استهلاک انرژی ۵۶۱٪ و عمق نسبی پایین‌دست ۵۰/۱٪ نسبت به شیب‌شکن مایل ساده افزایش یافته است. این نتیجه منجر به کاهش فرسایش بستر پایین‌دست سازه و در نتیجه کاهش طول حوضچه آرامش می‌گردد.

برای اولین بار توسط (Rajaratnam and Hurtig (2000) تأثیر استفاده از صفحات مشبک قائم با آرایش و نسبت تخلخل متفاوت به عنوان مستهلک‌کننده انرژی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی کوچک مطرح گردید. صفحات مشبک قائم به عنوان یک سازه مستهلک‌کننده انرژی با امکان ایجاد تلاطم با جریان دوفازی، تشکیل و تثبیت پرش هیدرولیکی می‌تواند در پایین‌دست شیب‌شکن مایل باعث افزایش استهلاک انرژی گردد. (Aslankara (2007) تأثیر آرایش چندتایی و عمق پایاب را بر میزان استهلاک انرژی جریان مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار داد. نتایج نشان داد که عمق پایاب تأثیر چندانی بر استهلاک انرژی جریان ندارد، در حالی که فرارگیری صفحات مشبک به صورت چندتایی باعث افزایش استهلاک انرژی جریان می‌شود. (Mahmoud et al. (2013) شکل روزنه‌های صفحات مشبک را مورد بررسی آزمایشگاهی قرار داده و نشان دادند که صفحات مشبک با روزنه‌های مربعی در مقایسه با روزنه‌های دایروی استهلاک انرژی بیشتری را دارند. (Sadeghfam et al. (2015) به بررسی آزمایشگاهی رفتار صفحات مشبک در مواجهه جریان فوق‌بحرانی با بازه عدد فرود ۲/۵ تا ۸/۵ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که صفحات مشبک، نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد حتی در پرش هیدرولیکی مستغرق، افت انرژی بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین آرایش دوتایی صفحات عملکرد بهتری نسبت به آرایش منفرد دارند در حالی که فاصله مابین این





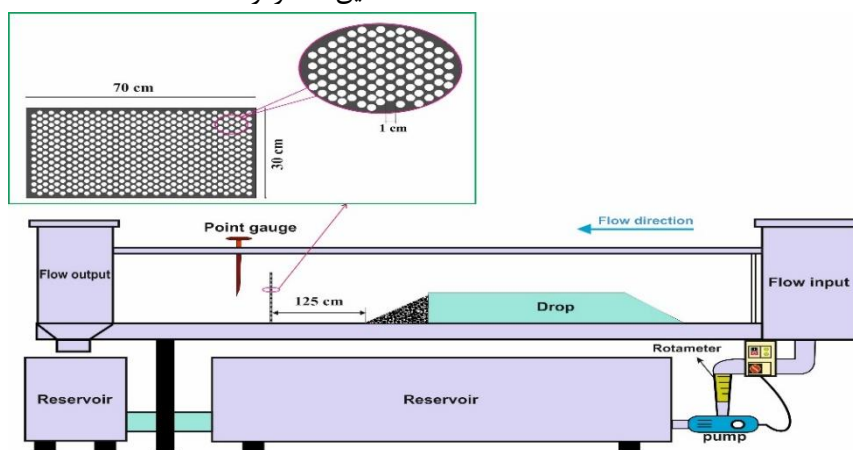
دایره‌ای شکل جهت جلوگیری از آشفتگی جریان قرار داده شده است. دبی جریان با استفاده از دو شیر متصل به دو روتامتر با خطای نسبی  $\pm 2\%$  درصد واقع در خروجی پمپ‌ها تنظیم می‌شود. همچنین عمق جریان توسط عمق سنج نقطه‌ای با دقت یک میلی‌متر در پنج نقطه از عرض کانال اندازه‌گیری می‌گردید. جهت ساخت سازه شیب شکن از باکس‌های شیشه‌ای هم عرض کانال در دو ارتفاع ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری در کانال استفاده شد. در سه زاویه  $۲۶/۵۶^\circ$ ،  $۳۳/۷^\circ$  و  $۴۵^\circ$  درجه برای ایجاد سطح شیب‌دار گابیونی نیز باکس‌های شیب‌دار از جنس میلگرد با قطر ۱۰ میلی‌متر ساخته شد. داخل باکس‌های ساخته شده از میلگرد نیز با مصالح سنگی با تخلخل  $50\%$  پر شد و توسط توری فلزی از جنس گالوانیزه محصور شد. در شکل (۱) شماتیک نمای کلی جریان و تجهیزات آزمایشگاهی و در شکل (۲) نمایی از مدل آزمایشگاهی تحقیق حاضر ارائه شده است.

مشبک به عنوان روشی نوین جهت مستهلک نمودن انرژی در حوزه مهندسی هیدرولیک شناخته شده است. بنابراین در تحقیق حاضر، برای اولین بار جهت افزایش استهلاک انرژی جریان، از ترکیب شیب‌شکن مایل گابیونی و صفحه مشبک استفاده شد و به مقایسه نتایج نسبت به شیب‌شکن مایل ساده مجهز به صفحه مشبک پرداخته شد.

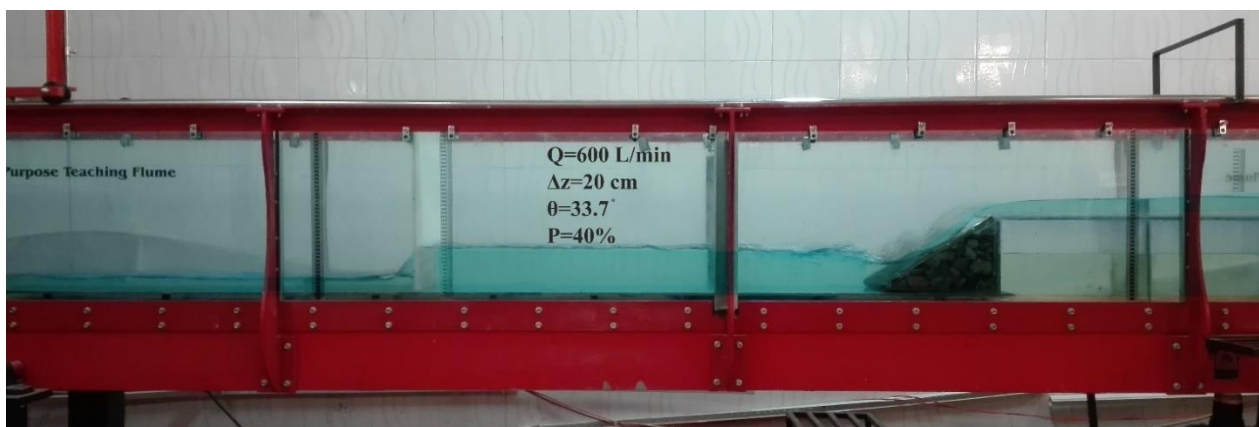
## مواد و روش‌ها

### تجهیزات آزمایشگاهی

فلوم آزمایشگاهی بکار رفته در تحقیق حاضر، دارای طول ۵ متر، عرض  $0/3$  متر و ارتفاع  $0/45$  متر با کف و دیواره‌هایی از جنس پلکسی گلاس شفاف است. آب ورودی به فلوم از طریق دو عدد پمپ، هر یک با توان ۴۵۰ لیتر بر دقیقه تأمین می‌گردید. در ابتدای مخزن یک صفحه آرام‌کننده جریان با روزنه‌هایی



شکل (۱): شماتیک کلی فلوم، مدل، تجهیزات آزمایشگاهی تحقیق حاضر



شکل (۲): نمایی از مدل آزمایشگاهی تحقیق حاضر

2021). پارامتر تخلخل دانه های سنگی پارامتر  $n$  به خاطر استفاده از یک نوع دانه بندی با مقادیر تخلخل ثابت ۵۰٪ در تمامی مدل های آزمایش، لذا این پارامتر نیز قابل حذف می باشد. براساس تحقیقات قبلی، تأثیر چندانی در استهلاک انرژی نداشته

و می توان از اثر ضخامت این صفحات ( $\frac{t}{\Delta Z}$ ) صرف نظر کرد (Çakir, 2003; Balkış, 2004; Bozkus et al. 2005; Sadeghfam et al. 2019).

پارامتر ( $\frac{y_b}{y_c}$ ) به جهت تغییرات کم عمق لبه در تمامی مدل های آزمایش نیز قابل صرف نظر است. همچنین به جهت تشکیل پرش هیدرولیکی مستغرق در پشت صفحه مشبک قائم لذا می توان از تأثیر پارامتر ( $\frac{y_2}{y_1}$ ) نیز صرف نظر نمود. بنابراین پارامترهای استهلاک انرژی نسبی و عمق نسبی پایین دست شیب شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک قائم تابعی را می توان تابعی از از پارامترهای مستقل ( $\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta$ ) بیان نمود.

$$\frac{\Delta E}{E_u} = f_4\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (4)$$

$$\frac{y_d}{\Delta Z} = f_5\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (5)$$

### روابط محاسبه انرژی

از روابط زیر به ترتیب برای محاسبه انرژی در بالادست و پایین دست شیب شکن مایل، درصد استهلاک انرژی نسبی و راندمان استهلاک انرژی استفاده گردید.

$$E_u = 1.5y_c + \Delta Z \quad (6)$$

$$E_d = y_d + \frac{q^2}{2gy_d^2} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta E}{E_u} \% = \frac{E_u - E_d}{E_u} \times 100 \quad (8)$$

$$\lambda = \left(1 - \frac{\Delta E_g}{\Delta E_p}\right) \quad (9)$$

### آنالیز ابعادی

پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر در شیب شکن مایل گابیونی مجهز به صفحات مشبک قائم را می توان به صورت تابعی همانند رابطه (۱) بیان نمود.

$$f_1(\Delta Z, \theta, q, \mu, \rho, g, t, p, n, y_0, y_c, y_b, y_1, y_2, y_d, E_0, \Delta E) = 0 \quad (1)$$

که در آن:  $\Delta Z$  ارتفاع شیب شکن،  $\theta$  زاویه شیب شیب شکن،  $q$  دبی واحد عرض،  $\mu$  لزوجت دینامیکی،  $\rho$  جرم مخصوص آب،  $g$  شتاب گرانش زمین،  $t$  ضخامت صفحات مشبک،  $p$  نسبت تخلخل صفحه مشبک،  $n$ : تخلخل دانه های سنگی،  $y_0$  عمق بالادست شیب شکن،  $y_c$  عمق بحرانی،  $y_b$  عمق لبه شیب شکن،  $y_1$  عمق اولیه پرش هیدرولیکی،  $y_2$  عمق قبل از صفحه مشبک،  $y_d$  عمق پایین دست صفحه مشبک  $E_0$ : انرژی در بالادست شیب شکن و  $\Delta E$ : استهلاک انرژی می باشند.

با استفاده از روش پی باکینگهام و با در نظر گرفتن  $g, \rho$  و  $y_0$  به عنوان متغیرهای تکراری آنالیز ابعادی انجام گرفت و توابع وابسته استهلاک انرژی نسبی بر اساس پارامترهای مستقل بی بعد به صورت رابطه (۲) تغییر نمود.

$$f_2\left(\frac{q}{\Delta Z \sqrt{g \Delta Z}}, \frac{q \rho}{\mu}, \frac{\Delta E}{\Delta Z}, \frac{E_0}{\Delta Z}, \frac{t}{\Delta Z}, \frac{y_0}{\Delta Z}, \frac{y_c}{\Delta Z}, \frac{y_b}{\Delta Z}, \frac{y_1}{\Delta Z}, \frac{y_2}{\Delta Z}, \frac{y_d}{\Delta Z}\right) = 0 \quad (2)$$

با توجه به اینکه عبارت  $\frac{q}{\Delta Z \sqrt{g \Delta Z}}$  معرف عدد فرود می باشد

و عبارت  $\frac{q \rho}{\mu}$  نماینگر عدد رینولدز است لذا با ساده سازی و تقسیم برخی پارامترهای بی بعد برهم نیز رابطه (۳) به ترتیب زیر حاصل گردید.

$$f_3(\text{Re}_0, Fr_0, \theta, p, \frac{t}{\Delta Z}, \frac{\Delta E}{E_0}, \frac{y_c}{\Delta Z}, \frac{y_b}{y_c}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_d}{\Delta Z}) = 0 \quad (3)$$

از آنجایی که در تمامی مدل های تحقیق جریان متلاطم است ( $\text{Re}_u \geq 2000$ ) پارامتر بی بعد عدد رینولدز بالادست Rajaratnam, 1976; Hager and Bremen, 1989) قابل صرف نظر می باشد. به تبع زیر بحرانی بودن جریان در بالادست و محدوده کم آن (۰/۹ الی ۰/۷)  $Fr_u$  لذا می توان از تأثیر پارامتر عدد فرود بالادست صرف نظر نمود (Daneshfaraz et al. )



بخش اعظمی از جریان توسط گابیون مستهلک می‌شود و وجود صفحه مشبک در دبی‌های پایین کارایی کمتری دارد. با افزایش دبی، جریان از حالت درون‌گذری به حالت روگذر تغییر می‌نماید و به تبع آن تأثیر سازه متخلخل قرار گرفته در مسیر جریان عبوری کاهش می‌یابد. با تغییر رژیم جریان، صفحه مشبک قائم به میزان کمی استهلاک جریان را افزایش می‌دهد که در عمق بحرانی نسبی‌های انتهایی نمود این قضیه نسبت به نتایج سایر محققین مشهود است. همچنین به دلیل تشکیل پرش مستغرق در پشت صفحه، سازه گابیونی نیز به حالت استغراق درآمده و تأثیر کمی نسبت به دبی‌های ابتدایی در استهلاک انرژی دارد. همچنین مشاهده گردید که به سبب پرش هیدرولیکی مستغرق، جریان زیر بحرانی پشت صفحه مشبک تشکیل می‌شود. با مقایسه درصد تخلخل صفحات مشبک برای هر سه زاویه شیب‌شکن مایل نیز چنین استنباط می‌شود که در دبی‌های ابتدایی، استهلاک انرژی برای هر دو نسبت تخلخل دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشد. برای یک زاویه ثابت، میزان متوسط استهلاک انرژی نسبی برای هر دو تخلخل بکار رفته، نشان می‌دهد که تخلخل ۵۰ درصد نسبت به تخلخل ۴۰ درصدی استهلاک انرژی نسبی کل بیشتری دارد. همچنین تغییر زاویه شیب‌شکن در یک تخلخل ثابت، تأثیر چندانی در استهلاک انرژی نسبی جریان ندارد. به ازای دو تخلخل، سه زاویه و دو ارتفاع شیب‌شکن، مقدار افزایش متوسط درصد استهلاک انرژی جریان تحقیق حاضر نسبت به مطالعه (Daneshfaraz et al. (2020b)، ۲/۲۳ درصد می‌باشد. بنابراین با توجه به میزان افزایش استهلاک انرژی جریان تحقیق حاضر نسبت به شیب‌شکن مایل ساده مجهز به صفحه مشبک قائم، استفاده از این سیستم به لحاظ اقتصادی توصیه نمی‌گردد.

که در آن:  $\Delta E_g$  استهلاک انرژی نسبی شیب‌شکن مایل گابیونی،  $\Delta E_p$  استهلاک انرژی نسبی شیب‌شکن مایل ساده و  $\lambda$  راندمان استهلاک انرژی می‌باشد.

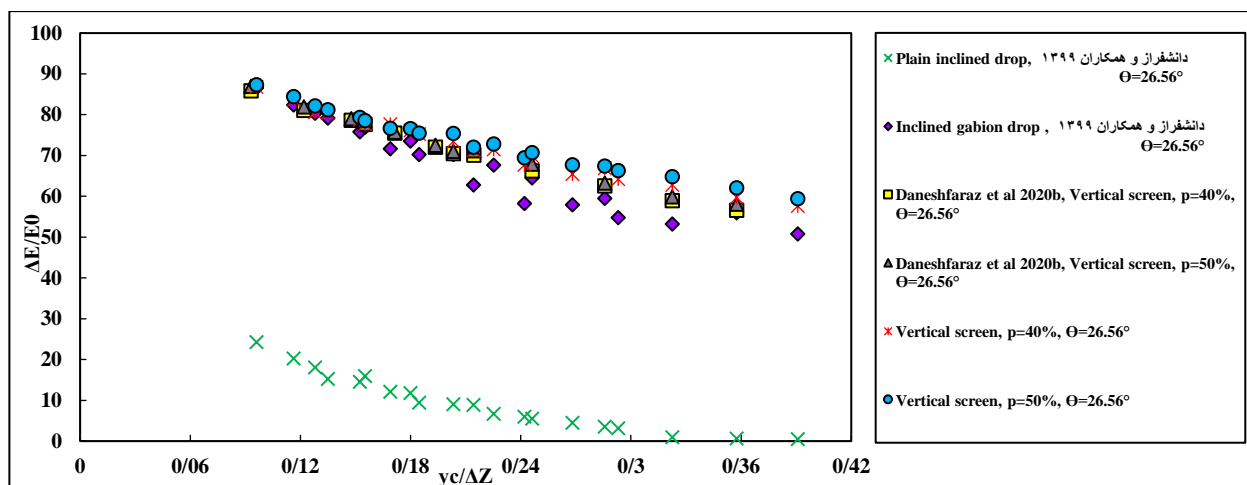
## بحث و نتایج

به جهت بررسی میزان تأثیر استفاده از صفحات مشبک قائم در فاصله ۱/۲۵ سانتی‌متری از لبه شیب‌شکن مایل گابیونی بر روی مقادیر استهلاک انرژی نسبی و عمق نسبی پایین‌دست، ۱۲۰ آزمایش متفاوت برای سه زاویه (۲۶/۵۶، ۳۳/۷ و ۴۵ درجه) و دو ارتفاع شیب‌شکن (۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری) و صفحات مشبک با دو تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصدی انجام شد. همچنین محدوده دبی تحقیق حاضر از ۱۵۰ الی ۸۰۰ لیتر بر دقیقه است.

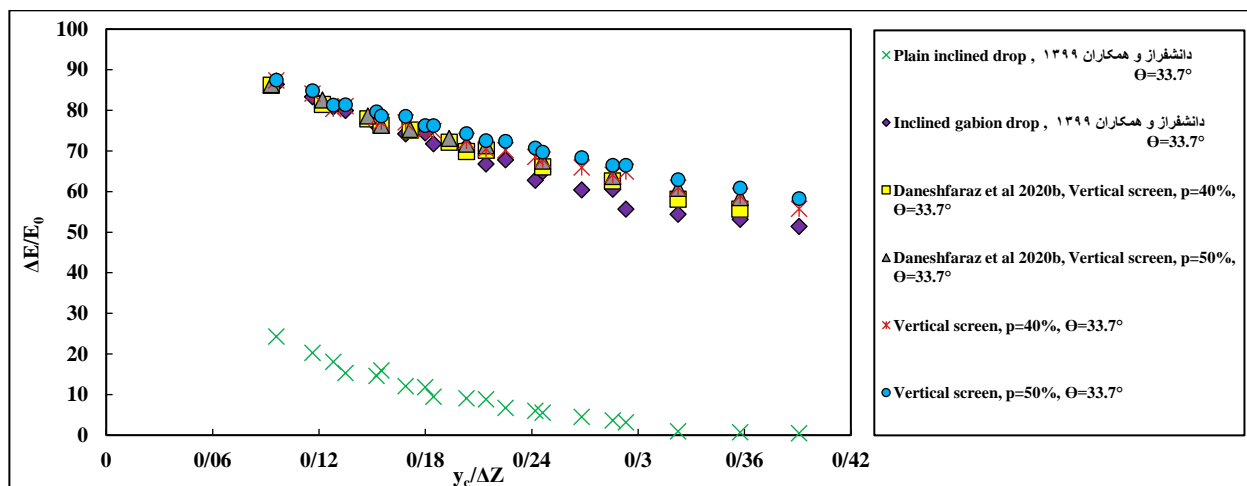
## استهلاک انرژی نسبی

بر اساس آنالیز ابعادی انجام شده، پارامترهای عمق بحرانی نسبی، زاویه شیب‌شکن و تخلخل صفحات در استهلاک انرژی شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک قائم مؤثر می‌باشند. در تمامی مدل‌ها با افزایش مقادیر عمق بحرانی نسبی، استهلاک انرژی نسبی کاهش می‌یابد. تغییرات استهلاک انرژی در مقابل عمق بحرانی نسبی در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است. برای یک عمق بحرانی نسبی ثابت، با افزایش ارتفاع شیب‌شکن و افزایش شیب، استهلاک انرژی جریان افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع شیب‌شکن در یک دبی ثابت، پارامتر عمق بحرانی نسبی کاهش پیدا می‌نماید.

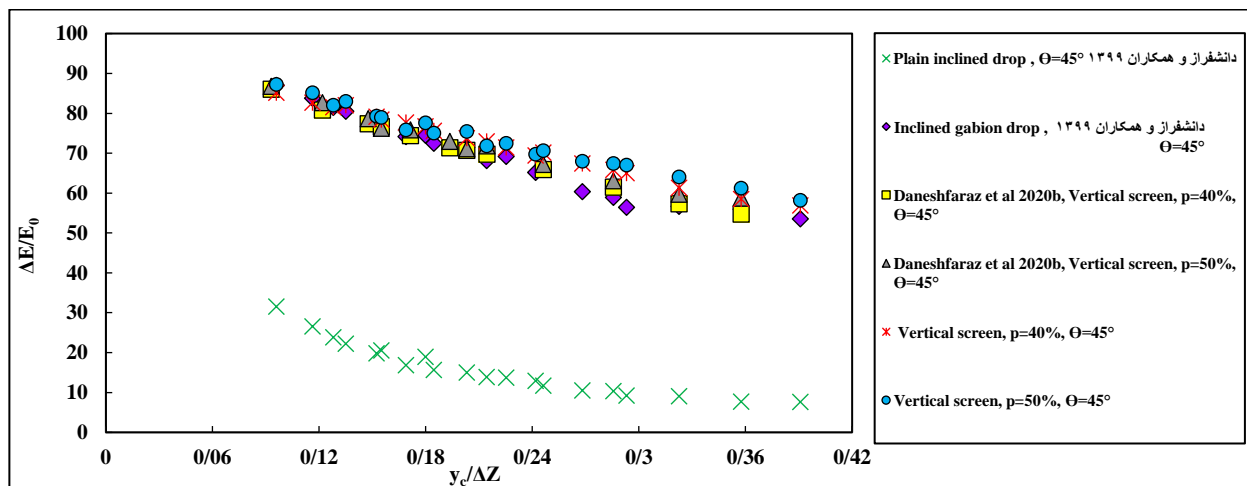
نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با مطالعه (Daneshfaraz et al. (2020b) نشان داد که برخلاف مطالعه این محققین که صفحات مشبک قائم باعث افزایش چشم‌گیر استهلاک انرژی می‌گردید، استفاده از صفحات مشبک قائم در شیب‌شکن مایل گابیونی سبب استهلاک انرژی قابل توجهی نشد. دلیل اصلی این نتیجه را می‌توان قرارگیری گابیون قبل از این صفحات دانست که باعث کارایی کم صفحه مشبک قائم گردیده است. در واقع



شکل (۳): تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۲۶/۵۶ درجه



شکل (۴): تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۳۳/۷ درجه

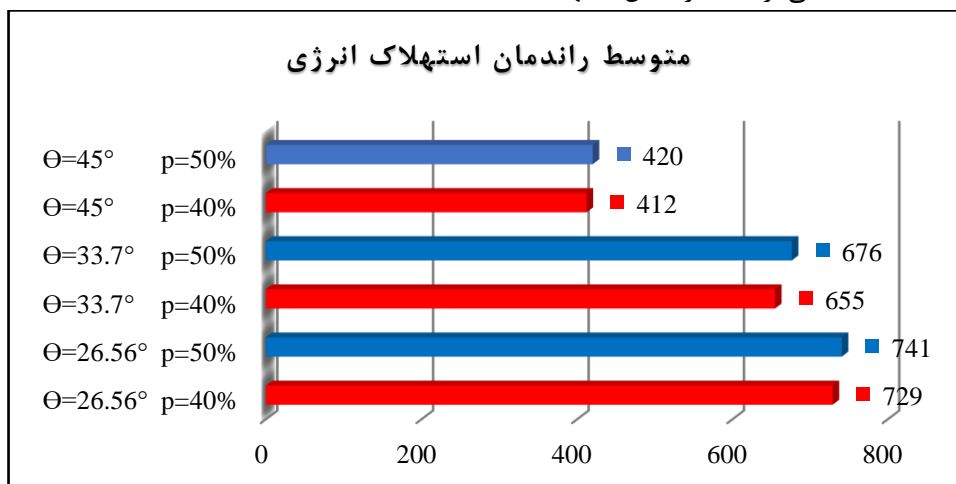


شکل (۵): تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۴۵ درجه



انرژی با افزایش درصد تخلخل، برای هر سه زاویه مورد بررسی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر صفحه مشبک قائم با تخلخل ۵۰ درصد راندمان استهلاک انرژی نسبتی کل بیشتری نسبت به صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصدی دارد.

با استفاده از رابطه (۹) به منظور بررسی بیشتر درصد تخلخل صفحات مشبک قائم در استهلاک انرژی نسبی، راندمان استهلاک انرژی شیب‌شکن‌های مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک قائم نسبت به شیب‌شکن ساده برای سه زاویه در شکل (۶) ارائه شده است. مطابق شکل (۶) ملاحظه می‌گردد که راندمان استهلاک

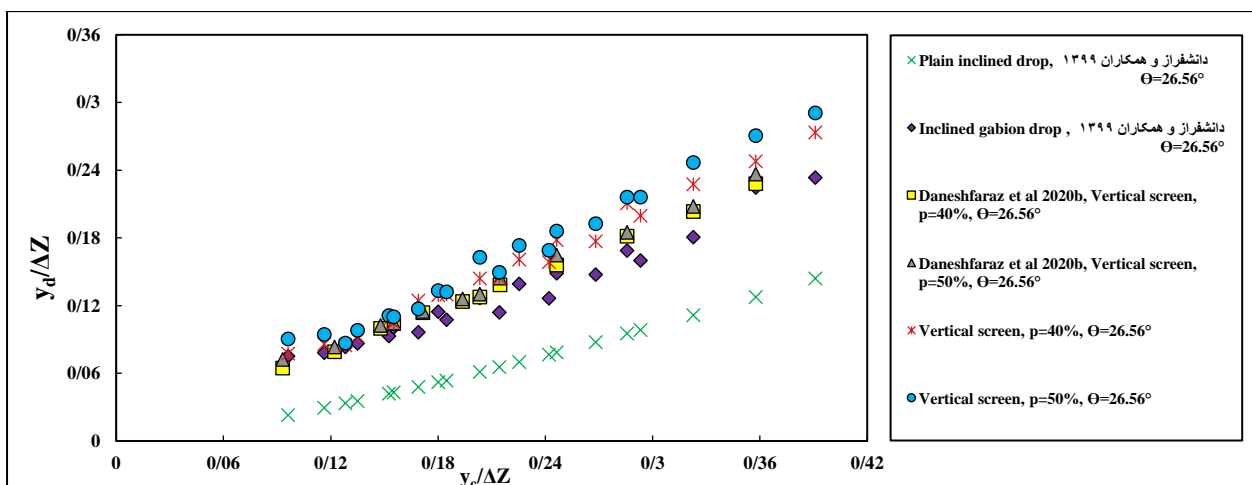


شکل (۶): متوسط راندمان استهلاک انرژی تحقیق حاضر برای زوایا و نسبت تخلخل‌های مختلف

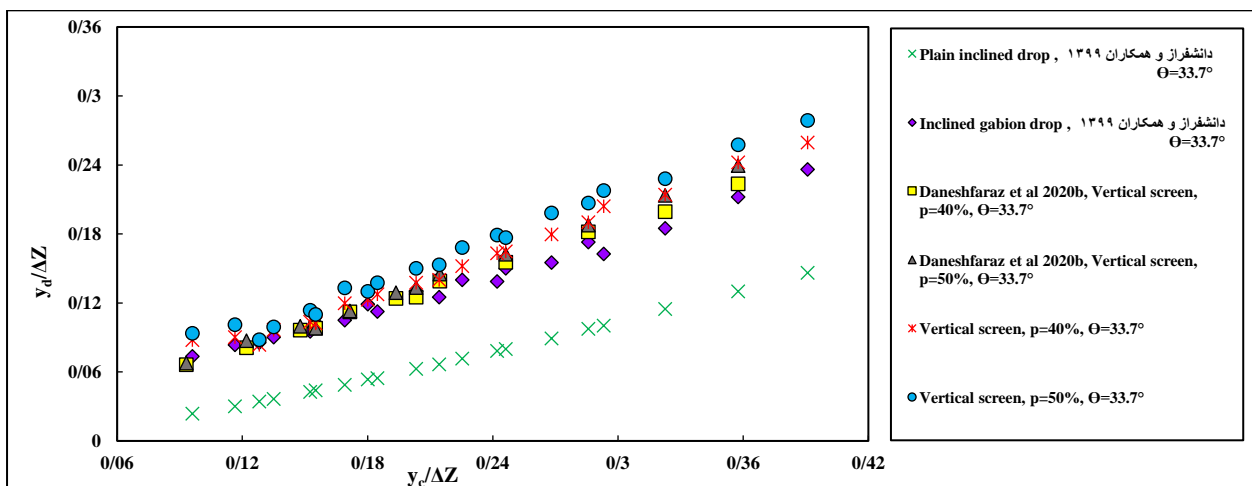
مشبک با تخلخل ۵۰ درصد بیشتر از تخلخل ۴۰ درصد عمق نسبی پایین‌دست را افزایش داده است که این موضوع را Daneshfaraz et al. (2020b) در تحقیق خود گزارش نمودند. همچنین وجود این صفحات سبب ایجاد پرش مستغرق در پشت این صفحات می‌گردد و جریان با عمق بالا در پشت صفحه تشکیل می‌یابد. با توجه به اینکه، استفاده از صفحات مشبک قائم در پایین‌دست شیب‌شکن مایل گابیونی سبب افزایش پارامتر عمق نسبی پایین‌دست شده است، لذا عدد فرود پایین‌دست کاهش پیدا خواهد کرد. محدوده تغییرات عدد فرود در پایین‌دست شیب‌شکن مایل ساده از ۴/۱۷ الی ۸/۵۸ تغییر می‌نماید که با استفاده از این صفحات در شیب‌شکن مایل گابیونی عدد فرود را به بازه ۰/۸۳ الی ۱/۹ تغییر داد. همچنین محدوده عدد فرود پایین‌دست صفحات مشبک قائم مطالعه Daneshfaraz et al. (2020b) برای هر سه زاویه مورد بررسی، از ۱/۶۶ الی ۲/۱۱ تغییر می‌یابد درحالی‌که همان‌طور که اشاره شد این عدد برای تحقیق حاضر از بازه ۰/۸۳ الی ۱/۹ متغیر است.

#### عمق نسبی پایین‌دست

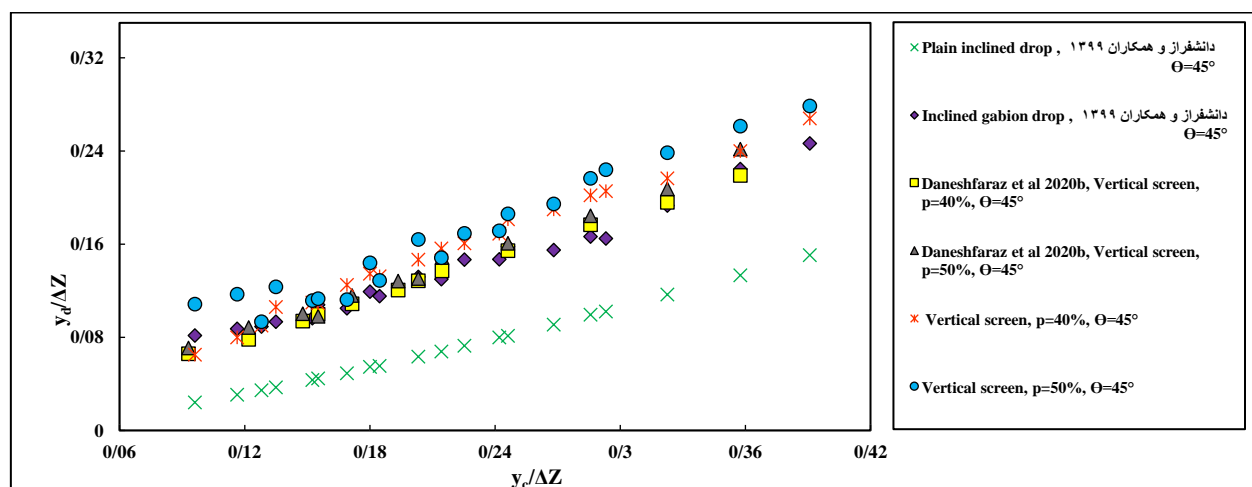
مطابق شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) مشاهده می‌شود که عمق نسبی پایین‌دست شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک قائم، با افزایش عمق بحرانی نسبی جریان افزایش می‌یابد. همچنین برای مدل شیب‌شکن مایل ساده، گابیونی و مدل مورد مطالعه Daneshfaraz et al. (2020b) نیز با افزایش دبی جریان، عمق نسبی پایین‌دست روندی افزایشی دارند. همچنین ملاحظه می‌شود که استفاده از صفحات مشبک قائم سبب افزایش قابل توجه عمق پایین‌دست در تحقیق حاضر شده است. با عبور جریان از این صفحات، شاهد تداخل آب و هوا و ایجاد تلاطم در پایین‌دست صفحه مشبک هستیم. با مقایسه تأثیر درصد تخلخل صفحات مشبک نیز چنین برداشت می‌شود که صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد تأثیر بیشتری در افزایش عمق نسبی پایین‌دست نسبت به تخلخل ۴۰ درصد دارند. همچنین با توجه به شکل‌های زیر مشاهده می‌شود که در تمامی زوایا، صفحات



شکل (۷): تغییرات عمق نسبی پایین دست در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۲۶/۵۶



شکل (۸): تغییرات عمق نسبی پایین دست در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۳۳/۷ درجه



شکل (۹): تغییرات عمق نسبی پایین دست در مقابل عمق بحرانی نسبی برای زاویه ۴۵ درجه



## نتیجه گیری

- به ازای دو تخلخل، سه زاویه و دو ارتفاع شیب‌شکن، مقدار افزایش متوسط درصد استهلاک انرژی جریان تحقیق حاضر نسبت به مطالعه (Daneshfaraz et al., 2020b). ۲/۲۳ درصد است که دلیل اصلی این نتیجه را می‌توان قرارگیری گابیون قبل از این صفحات دانست که بخش عمده‌ای از جریان را مستهلک نموده و باعث کارایی کم صفحه مشبک قائم گردیده است.
- استفاده از صفحات مشبک قائم باعث کاهش قابل توجه محدوده تغییرات عدد فرود پایین دست شده است. به نحوی که محدوده عدد فرود از بازه ۴/۱۷ الی ۸/۵۸ برای شیب‌شکن مایل ساده تحقیق (دانشفراز و همکاران، ۱۳۹۹) به بازه ۰/۸۳ الی ۱/۹ تغییر پیدا کرد. همچنین بازه عدد فرود پایین دست شیب‌شکن مایل ساده مجهز به صفحات مشبک قائم مطالعه (Daneshfaraz et al., 2020b) از ۱/۶۶ الی ۲/۱۱ تغییر می‌یابد، در حالی که برای تحقیق حاضر این عدد ۰/۸۳ الی ۱/۹ می‌باشد.

در تحقیق حاضر، آزمایش‌ها بر روی ۱۲۰ مدل فیزیکی مختلف از شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک قائم انجام شد. هدف اصلی بررسی نمودن میزان مستهلک نمودن انرژی جریان توسط سیستم ارائه شده در تحقیق حاضر و مقایسه نتایج با دیگر محققین بود. ارتفاع و زاویه شیب‌شکن، تخلخل صفحات مشبک قائم و دبی جریان به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که:

- در تمامی مدل‌ها با افزایش مقادیر عمق بحرانی نسبی، استهلاک انرژی نسبی کاهش و عمق نسبی پایین دست افزایش می‌یابد.
- برای یک زاویه ثابت، میزان متوسط استهلاک انرژی نسبی و عمق نسبی پایین دست برای هر دو تخلخل بکار رفته، نشان می‌دهد که تخلخل ۵۰ درصد استهلاک انرژی نسبی کل و عمق نسبی پایین دست بیشتری نسبت به تخلخل ۴۰ درصدی دارد.

## منابع

- دانشفراز، رسول، ماجدی اصل، مهدی، باقرزاده، محمد. (۱۳۹۹). بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی و عمق نسبی پایین دست در شیب‌شکن‌های مایل گابیونی و ساده. نشریه مهندسی عمران/امیرکبیر، (۰)، doi: 10.22060/ceej.2020.18059.6751
- عباسی، علی اکبر، ملک‌نژاد یزدی، محمد. (۱۳۹۱). مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مشخصات هندسی آبشکن‌های نفوذپذیر مستقیم و T شکل بر آبشستگی اطراف آن‌ها. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، 2(4), 95-107.
- نوروزی سرکارآباد، رضا، دانشفراز، رسول، بازیار، علی. (۱۳۹۸). بررسی استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم در پایین دست شیب‌شکن‌های مایل با روش ترکیبی عصبی - فازی تطبیق پذیر. نشریه مهندسی عمران/امیرکبیر، (۰)، doi: 10.22060/ceej.2019.16694.6305
- مرادی سبزکوهی، ع.، کاشفی پور، س.م.، بینا، م. (۱۳۸۹). مقایسه آزمایشگاهی میزان استهلاک انرژی در شیب‌شکن‌ها، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Aslankara, V. (2007). Experimental investigation of tailwater effect on the energy dissipation through screens (Doctoral dissertation, MS thesis, Middle East Technical Univ. Ankara, Turkey).
- Aal, G. M. A., Fahmy, M. R., Elnikhely, E. A., & El-Tohamy, E. (2019). Energy dissipation and discharge coefficient over stepped gabion and buttress gabion spillway. *Technology*, 10(4), 260-267.
- Balkis, G. (2004). Experimental Investigation of Energy Dissipation through Inclined Screens (Doctoral dissertation, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY).
- Bos, M.G., Replogle, J.A. and Clemens, A.J. (1984). *Flow measuring flumes for open channel systems*, Wiley, New York, 340p.



- Bozkuş, Z., Balkiç, G., & Ger, M. (2005). Effect of inclination of screens on energy dissipation downstream of small hydraulic structures. *In Proceedings of the 17th Canadian Hydrotechnical Conference, Edmonton, Alberta, Canada* (pp. 881-890).
- Çakir, P. (2003). Experimental investigation of energy dissipation through screens (Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey).
- Chanson, H., & Brattberg, T. (2000). Experimental study of the air-water shear flow in a hydraulic jump. *International Journal of Multiphase Flow*, 26(4), 583-607.
- Chinnarasri, C., Donjadee, S., & Israngkura, U. (2008). Hydraulic characteristics of gabion-stepped weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8), 1147-1152.
- Daneshfaraz, R., Asl, M. M., Razmi, S., Norouzi, R., & Abraham, J. (2020a). Experimental investigation of the effect of dual horizontal screens on the hydraulic performance of a vertical drop. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-10.
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Bazay, A., Abraham, J., & Norouzi, R. (2020b). The laboratory study of energy dissipation in inclined drops equipped with a screen. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1-10.
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Asl, M. M. (2021). Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3451-3459.
- Hager, W. H., & Bremen, R. (1989). Classical hydraulic jump: sequent depths. *Journal of Hydraulic Research*, 27(5), 565-585.
- Leu, J. M., Chan, H. C., & Chu, M. S. (2008). Comparison of turbulent flow over solid and porous structures mounted on the bottom of a rectangular channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(6), 331-337.
- Mahmoud, M.I., Ahmed, S.S. And Al-Fahal, A.S.A. (2013). Effect of different shapes of holes on energy dissipation through perpendicular screen. *Journal of Environmental Studies*, 12, 29-37.
- Peterka, A. J. (1958). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters engineering monograph No. 25. US Bureau of Reclamation, Denver Colorado.
- Rajaratnam, N., & Hurtig, K. I. (2000). Screen-type energy dissipator for hydraulic structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4), 310-312.
- Rajaratnam, N. (1976). *Turbulent jets* (Vol. 5). Elsevier.
- Sadeghfam, S., Akhtari, A. A., Daneshfaraz, R., & Tayfur, G. (2015). Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 126-138.
- Sadeghfam, S., Daneshfaraz, R., Khatibi, R., & Minaei, O. (2019). Experimental studies on scour of supercritical flow jets in upstream of screens and modelling scouring dimensions using artificial intelligence to combine multiple models (AIMM). *Journal of Hydroinformatics*, 21(5), 893-907.
- Sholichin, M., & Akib, S. (2010). Development of drop number performance for estimate hydraulic jump on vertical and sloped drop structure. *International Journal of Physical Sciences*, 5(11), 1678-1687.
- Shaker A. Jalil, Sarhan A. Sarhan, Bshkoj S. Hussein, Jihan M. Qasim. (2019). Effect of Gravel Size and Weir Height on Flow Properties of Gabions. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, Vol. (27), No. (2).
- Wagner, W. E. (1956). Hydraulic Model Studies of the Check Intake Structure-Potholes East Canal, Bureau of Reclamation Hydraulic Laboratory Report Hyd. 411.
- Wüthrich, D., & Chanson, H. (2014). Hydraulics, air entrainment, and energy dissipation on a Gabion stepped weir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(9), 04014046.



## Laboratory Study and Comparison of Gabion Inclined Drop Energy Dissipation Equipped with Vertical Screens

Rasoul Daneshfaraz<sup>1\*</sup>, Mahdi Majedi Asl<sup>2</sup>, Mohammad Bagherzadeh<sup>3</sup>

### Abstract

Hydraulic engineers have always used applications in inclined drop to increase energy dissipation. In the present laboratory study, the simultaneous effect of the gabion and the vertical screens on the flow energy dissipation in the inclined drop structure was investigated. A total of 120 different experiments were performed for the flow range of 150 to 800 liters per minute and two heights, three inclination angles and two porosity ratios of vertical screens. The results show that in all models, the energy dissipation of the flow decreases with increasing the relative critical depth of the flow. The use of a vertical screens in a gabion inclined drop has little effect on flow energy dissipation, so that the average amount of increase in depreciation of the present study compared to a simple inclined drop equipped with vertical screens is 2.23%. The integrated system presented in the present study reduced the Froude number range from 1.66~2.11 to 0.83~1.9 compared to a simple inclined drop equipped with a vertical screen. A vertical screen with 50% porosity has a higher relative energy dissipation than a 40% porosity, and changing the inclination angle of a inclined gabion to the constant porosity of the screens does not cause much change in the amount of flow energy dissipation. Also, due to the low effect of the integrated system of the present study on the energy dissipation values of the flow, therefore, the simultaneous use of a vertical screens and inclined gabion is not economically recommended.

**Keywords:** Energy dissipation, Vertical screen, Gabion, Inclined drop, Relative critical depth

---

<sup>1</sup> Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran  
[daneshfaraz@maragheh.ac.ir](mailto:daneshfaraz@maragheh.ac.ir), (\*Corresponding Author)

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran,  
[mehdi.majedi@gmail.com](mailto:mehdi.majedi@gmail.com)

<sup>3</sup> M.Sc. in Civil Engineering-Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran, [bagherzadeh.mbz96@gmail.com](mailto:bagherzadeh.mbz96@gmail.com)