

EXTENDED ABSTRACT

Investigation the Energy Dissipation on Gabion Stepped Weirs and Downstream Hydraulic Jump Characteristics

F. Mahjoubi¹ and S. M. Kashefipour^{2*}

1- M.Sc. in Hydraulic Structures of Water Structures, Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor of Department of Water Structures Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (kashefipour@scu.ac.ir).

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 June 2021

Revised: 15 May 2022

Accepted: 20 May 2022

TO CITE THIS ARTICLE :

Mahjoubi, A., Kashefipour, S. M. (2023). 'Investigation the Energy Dissipation on Gabion Stepped Weirs and Downstream Hydraulic Jump Characteristics', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(1), pp. 65-76. doi: 10.22055/jise.2019.14393.

Keywords:

Energy dissipation, number of steps, the mixture of through and over flow.

Introduction

Net-Stone water structures, in particular gabion stepped weirs, have become more prevalent due to their significant impact on reducing energy dissipation, proper stability, cost-effectiveness, ease of construction, and increasing the level of oxygen in the mixed water. Furthermore, due to air entrainment, the flow rate passing through the structure can prevent a considerable amount of cavitation, which is one of the problems in the design of hydraulic structures such as weirs (Shamsayi and Paknahal, 2005). One of the important characteristics of this structure is the internal flow through the permeable body of the weir, which creates complexities in the flow behavior. The energy dissipation of gabion stepped weirs is a function of the upstream and downstream slope of the weir, the number of steps, porosity, and the Froude number. Changing the porosity leads to a change in the ratio of the internal flow to the overtopping flow, and consequently, the amount of energy dissipation changes.

Wüthrich and Chanson (2014) and Pallavi and Harshith (2018) conducted experiments to investigate the flow characteristics of the overtopping and internal flow of gabion weirs and compared the hydraulic characteristics of this type of weir with a solid weir. The results showed that the energy dissipation in the gabion weir is higher than the solid weir due to the division of the overtopping and internal flow.

The aim of this study is to investigate the effect of the number of steps in gabion stepped weirs with a fixed slope on the energy dissipation of the structure. It should be noted that in the case of a small number of steps, the flow conditions on the steps are often in a cascading form, which leads to more energy loss. Certainly, increasing the energy loss of the structure is affected by the downstream hydraulic jump conditions and the length of the calm pool.

Research Methodology

The experiments were carried out in the Hydraulic Laboratory of Faculty of Water and Environmental Engineering at Shahid Chamran University of Ahvaz. The flume has a rectangular cross-section and is made of Plexiglas. Its length is 750 cm, its width is 56 cm, and its height is 60 cm. A lower gate is installed at the end of the flume to control the downstream depth and the location of the hydraulic jump.

In this study, two models of stepped weir and gabion stepped weir were constructed to investigate the relative energy loss and their hydraulic characteristics. In addition, a smooth glass model with a fixed slope of 1:2 (horizontal : vertical) was used as a control model. The width of the physical models of the stepped weir with gabion was 56 cm, and they had four, six, and eight steps with heights of 15, 10, and 7.5 cm, respectively, and a slope of 1:2 (horizontal : vertical). The porosity of the gabion baskets was also 40%.

The upstream energy of the weir was calculated as follows:

$$E_0 = (H + y) + \frac{q^2}{2g(H+y)^2} \quad (1)$$

Considering that the second term in Equation (1) can be neglected due to the low flow velocity in the reservoir, the equation can be written as follows:

$$E_0 = H + y = H + \frac{3}{2}y_c \quad (2)$$

In the above equation, H is the total height of the weir, y is the depth of water relative to the crest of the weir at the upstream of the weir, and y_c is the critical depth of the flow.

For each series of experiments, after installing the model and establishing steady conditions, different flow rates were passed over each model, and various parameters such as upstream and downstream depths of the weir and hydraulic jump characteristics were measured. The downstream flow was controlled using a lower gate to ensure a hydraulic jump at the weir's base. The dual upstream depth of the hydraulic jump y_1 could not be directly measured due to the high turbulence in the weir crest and the highly turbulent and air-entraining flow conditions. Therefore, y_1 was calculated using the Blanger equation (3) and the downstream depth (y_2) (Chow, 1959).

$$y_1 = \frac{y_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1 \right) \quad (3)$$

Relative energy dissipation is defined as follows:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} = 1 - \frac{E_1}{E_0} \quad (4)$$

Table 1- The range of parameter variations in this study

Range of variation	Q (L/s)	$\frac{y_2}{y_1}$	$\frac{L_j}{y_2}$	$\frac{L_r}{y_2}$	N
min	30	2.68	3.73	1.22	4
max	50	5.26	5.85	.90	8

Results

In this study, experiments were conducted on models for five flow rates of 30, 35, 40, 45, and 50 liters per second. The energy loss of the weirs was calculated by measuring the upstream depth of the weir, the downstream depth of the hydraulic jump at the downstream of the weir, and the calculation of the weir floor depth using Equation (3). The relative energy loss was calculated using Equation (4). According to Table (2), it can be observed that the amount of energy loss in gabion stepped weir is higher than that of the stepped weir, due to the presence of gabion baskets.

Table 2- The results of the calculations of the relative energy dissipation ($\Delta E/E_0$) for different models in terms of percentage

Number of steps	Models of weir	Q(L/s)				
		30	35	40	45	50
4	stepped	70	65.6	62.6	59.5	54.8
	gabion stepped	80.6	77.4	75.1	71.1	67.4
6	stepped	67	63.8	60.3	56.8	53.6
	gabion stepped	80	75	69.8	66.3	61.1
8	stepped	67	63.8	60.3	57.3	54.2
	gabion stepped	76.7	73.1	70.9	68.7	65.4
Chute		11.6	15.5	19.5	21.7	27.3

Conclusion

In the three steps with four, six, and eight steps, the energy dissipation of gabion stepped weirs is higher than that of the regular stepped weirs and much higher than the chute model. With an increase in flow rate, the relative amount of energy dissipation decreases. A decrease in the number of steps results in an increase in energy loss, provided that a cascading flow is formed. Generally, the maximum energy loss occurs in the four-step weir, and the minimum energy loss occurs in the eight-step weir at high flow rates. As the flow rate increases, the effect of the underlayer on the velocity profile decreases, resulting in less energy loss, and the amount of energy loss approaches each other in the six and eight-step weirs. For a particular model, as the flow rate increases, the relative percentage decrease in the hydraulic jump length decreases. The relative percentage decrease in the hydraulic jump length and the length of the roller is highest in the four-step weir.

Acknowledgement

This article has been prepared from the results of the MSc. thesis of the first author and with the support of the university's research unit through the second author's Grant (95/3/02/31400) by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research. We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

Reference

- 1- Chow VT, 1959. Open Channel Hydraulics. Mc Grow Hill Book Co, New York, NY.
- 2- Pallavi, M., Harshith, L., 2018. Open channel flow characteristics using gabion weir. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 05 Issue: 12 | Dec 2018: 928-933.
- 3- Shamsaei, A., & Paknahad, F. (2005). Hydraulic jumps and stepped spillways (1st ed.). Tehran, Iran: Sharif University of Technology Press. (Original work published in Persian, 452 pages).
- 4- Wuthrich, D. and Chanson, H., 2014. Hydraulics, Air entrainment, and energy dissipation on a gabion stepped , Journal of Hydraulic Engineering, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000919, 04014046.



بررسی استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی و مشخصات پرش هیدرولیکی پایین دست

افشین محجوی^۱ و سید محمود کاشفی پور^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

Kashefipour@scu.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

چکیده

در سال‌های اخیر سازه‌های توری سنگی به دلیل سهولت اجرا، دسترسی آسان، دوام و اقتصادی بودن به صورت گسترده برای استهلاک انرژی اضافی سیستم به خصوص در آبراهه‌های فرسایش‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سرریزهای پلکانی توری-سنگی (گابیونی)، بیشتر در مسیر رودخانه‌ها به منظور حفاظت از بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌های فرسایش‌پذیر به کار گرفته شده‌اند. این سرریزها به لحاظ کارایی مناسب در استهلاک انرژی جریان، با عبور دو جریان روگذر و درونگذر بیشتر مورد توجه طراحان قرار گرفته‌اند. بررسی اثر تعداد پلکان سرریزهای پلکانی گابیونی در تغییر شرایط جریان و در نتیجه بر استهلاک انرژی و بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی در پنجه این سرریزها از اهداف این پژوهش می‌باشد. برای این منظور شش مدل فیزیکی با سه تعداد پلکان چهار، شش و هشت و شیب ثابت ۱:۲ (افقی : عمودی) ساخته شد. نتایج نشان می‌دهد که سرریز پلکانی همراه با سبدهای گابیون استهلاک انرژی بیشتری نسبت به نوع بدون گابیون آن دارد که این افزایش تا ۱۳ درصد نسبت به سرریز پلکانی و تا ۷۲/۱ درصد نسبت به شوت ساده می‌باشد. همچنین با کاهش تعداد پلکان مشروط به تشکیل جریان ریزشی افت نسبی انرژی افزایش می‌یابد و به طور کلی سرریز چهار پله حداکثر میزان افت انرژی و حداکثر درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی (۵۵ درصد) را در محدوده آزمایش‌های این تحقیق داراست.

کلید واژه‌ها: افت انرژی، تعداد پلکان، جریان روگذر و درون گذر.

مقدمه

کنترل انرژی در جریان‌های با سرعت بالا یکی از چالش‌های طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد از این جهت کاهش انرژی جنبشی روی سرریزها قبل از آن که جریان به پایین دست منتقل شود، یکی از راه‌هایی است که با استفاده آن می‌توان از وارد آمدن خسارت به پایین دست جلوگیری کرد. یکی از راه‌های استهلاک انرژی، استفاده از سرریزهای پلکانی بوده که با استهلاک مناسب انرژی جریان باعث کوچک شدن ابعاد حوضچه آرامش واقع در پایین دست سرریز می‌گردد (Heydari و Chanson, 2004) و (Orojlo et al, 2010).

سازه‌های توری سنگی و مهم‌ترین آن‌ها سرریزهای پلکانی گابیونی به دلیل تأثیر قابل ملاحظه پله‌ها بر میزان استهلاک انرژی جریان، پایداری مناسب، اقتصادی بودن، سهولت اجرا و بالا بردن سطح اکسیژن مخلوط در آب رواج بیشتری یافته و توجه روزافزونی به آن می‌شود. همچنین به علت هوادهی، جریان عبوری می‌تواند به مقدار زیادی از پدیده خلاء زایی که یکی از مشکلات طراحی سازه‌های هیدرولیکی نظیر سرریزهاست، جلوگیری کند (Chanson, 2004). علاوه بر کاربرد در سرریزها و سد‌ها می‌توان از سازه‌های گابیونی در عملیات آبخیزداری برای کنترل

فرسایش در آبراهه‌ها و یا ساحل‌سازی کناره‌های رودخانه در نزدیکی آبگیر یا قوس‌ها استفاده نمود. این نوع سرریزها از انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به نوع صلب آن برخوردار بوده و در مقابل بارهای ناشی از فشار آب مقاوم و پایدار هستند (Salmasi et al., 2011).

از خصوصیات مهم این سازه، جریان درون‌گذر از داخل جسم متخلخل سرریز است که پیچیدگی‌هایی را در رفتار جریان ایجاد می‌کند. با کاربرد مدل‌های فیزیکی می‌توان برآورد مناسبی از افت انرژی و رفتار سازه در مقابل تغییر پارامترهای مؤثر بر آن داشت. افت انرژی سرریزهای پلکانی گابیونی تابعی از شیب بالادست و پایین دست سرریز، تعداد پله‌ها، تخلخل و عدد آشپار است. تغییر تخلخل باعث تغییر نسبت جریان درون‌گذر به روگذر شده و به تبع آن میزان افت انرژی تغییر می‌یابد.

اکثر تحقیقات انجام یافته تاکنون مربوط به سرریزهای پلکانی سد‌های بزرگ بتنی و صلب بوده است و در مقایسه با آن، مطالعه‌ها روی سرریزهای پلکانی گابیونی کمتر بوده است. (Chamani, 1992; Peyras et al., 1994; Chanson, 1994) (Gonzalez et al., 2008; and Rajartnam, 1999).

افقی: عمودی) ساخته شده و برای بررسی نفوذپذیری پله‌ها در افت انرژی، وجه افقی و عمودی پله‌ها توسط ورق آهنی نفوذناپذیر گردیده بود. نتایج نشان می‌داد که در دبی‌های بالا که جریان غیرریزشی یا رویه‌ای اتفاق می‌افتد، استهلاک انرژی در سرریز گابیونی بیشتر است. همچنین استهلاک انرژی در سرریز دارای پله‌های نفوذناپذیر در دبی‌های کم، بیشتر از سایرین است. افزایش تخلخل از ۳۸ تا ۴۲ درصد و نیز کاهش شیب از ۱:۱ به ۱:۲ موجب افزایش استهلاک انرژی می‌گردد.

Wüthrich و Chanson (2014) خصوصیات

هیدرولیکی سرریزهای پلکانی را با مقایسه دو سرریز پلکانی نفوذناپذیر و سرریز پلکانی همراه با گابیون بررسی نمودند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که فعل و انفعالات میان جریان درونگذر (Seepage flow) و روگذر (Over flow) تابعی از دبی، شکل گابیون و رژیم جریان می‌باشد و نیز درصد افت انرژی در سرریز پلکانی گابیونی در جریان رویه‌ای در مقایسه با سرریز پلکانی نفوذناپذیر کمتر است.

با توجه به مطالب فوق هدف تحقیق حاضر بررسی تعداد پلکان سرریزهای پلکانی گابیونی در شیب ثابت بر میزان استهلاک انرژی سازه می‌باشد. نکته قابل توجه این است که به نظر می‌رسد در تعداد کم پله شرایط جریان روی پله غالباً به صورت ریزشی بوده که باعث افت انرژی بیشتری می‌گردد. قطعاً افزایش افت انرژی سازه در شرایط و خصوصیات پرش هیدرولیکی پایین دست و طول حوضچه آرامش اثر گذار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاک انرژی موثر می‌باشند اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه‌ی کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای موثر در این آزمایش‌ها در رابطه (۱) ارائه شده است.

$$F(\Delta E, E_0, V, H, h, l, N, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_c, L_j, L_r, \mu, \rho, g, \sigma) \quad (1)$$

در رابطه بالا ΔE افت انرژی سازه سرریز و E_0 انرژی اولیه بالادست سرریز و V سرعت در هر نقطه می‌باشد. γ_c عمق بحرانی جریان، γ_1 و γ_2 به ترتیب عمق اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی، L_j طول پرش، L_r طول غلتابی، یک طول سبدهای گابیون که ۱/۵ برابر طول پلکان بود و h ارتفاع پلکان گابیونی که دارای سه مقدار ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر به ترتیب برای تعداد پلکان هشت، شش و چهار می‌باشد. همچنین N تعداد پلکان و H ارتفاع کلی سرریز است. μ ویسکوزیته دینامیکی آب، ρ جرم حجمی آب، g شتاب ثقل و σ کشش سطحی می‌باشد. با آنالیز

Christodoulou (1993) نتایج آزمایش‌های مدل‌سازی خود و همچنین Sorensen (1985) در رابطه با سرریزهای پلکانی را به این صورت ارائه نمود که تأثیر تعداد پلکان‌ها روی استهلاک انرژی مشهود است و به ازای یک مقدار y/h (ارتفاع پله‌ها)، مقدار افت انرژی با افزایش تعداد پلکان افزایش می‌یابد و تأثیر تعداد پلکان در دبی‌های بالا بیشتر می‌گردد. همچنین در آزمایش‌های آن‌ها با تبدیل جریان ریزشی (Nappe flow) به جریان غیرریزشی یا رویه‌ای (Skimming flow) افت انرژی کاهش می‌یابد.

Felder و Chanson (2011) آزمایش‌هایی روی مدل فیزیکی سرریز پله‌ای به ارتفاع یک متر و شیب ۲۶/۶ درجه انجام دادند. پنج حالت مختلف برای پله‌ها در نظر گرفته شد و میزان انرژی باقی‌مانده در پایین دست سرریز اندازه‌گیری گردید. گرچه نتایج نشان می‌داد که تعداد پله اثر زیادی در انرژی باقی‌مانده پایین دست سرریز ندارد، لیکن سرریز دارای ۱۰ پله در حالی که هر کدام از پله‌ها ۱۰ سانتی‌متر ارتفاع داشته باشد، انرژی باقی‌مانده کمتری در پایین دست سرریز دارد و همین امر نشان دهنده استهلاک انرژی بیشتری در این سرریز است.

Felder و Chanson (2011) و Chafi et al (2010)

به مطالعه جریان و افت انرژی در سرریزهای پلکانی در دو جریان ریزشی و رویه‌ای پرداختند. در این پژوهش سرریزی با تعداد شش پله و با شیب ۳۲ درجه ساخته شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که جریان ریزشی افت انرژی بیشتری نسبت به رژیم رویه‌ای دارد و افت انرژی در این جریان به تعداد پلکان و همچنین دبی جریان بستگی دارد.

Azizi et al. (2008) با انجام آزمایش‌هایی روی سرریز پلکانی گابیونی با تعداد سه پله و در چهار تخلخل مختلف نشان دادند که با کم شدن تخلخل سنگ‌دانه‌ها و به دنبال آن کاهش جریان عبوری از درون سنگ‌دانه‌ها، مقدار تلفات انرژی افزایش می‌یابد و رابطه افت انرژی با توجه به عوامل بدون بعد مؤثر بر آن را ارائه نمودند.

Chinnarasri et al. (2008) نیز خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی را بررسی و استهلاک انرژی آن را با سرریز پلکانی بدون گابیون مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که نسبت افت انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی در مقایسه با نوع بدون گابیون آن در تعداد پلکان ۲۰ و در شیب سرریز ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه به ترتیب هفت، ۱۰ و ۱۴ درصد بیشتر و در نتیجه سرعت در خروجی آن کمتر می‌باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شده است که شکل و اندازه سنگ‌دانه‌ها تأثیر بسیار کمی بر افت انرژی خواهند گذاشت.

Salmasi et al. (2011) به بررسی هیدرولیکی عبور جریان از روی پله‌ها و نیز محیط متخلخل درون سازه گابیونی و محاسبه افت انرژی پرداختند. در تحقیق مذکور نه مدل فیزیکی از سرریز گابیونی پله‌ای با سه تخلخل مختلف و دو شیب ۱:۱ و ۱:۲

$$e = \frac{V_{void}}{V_{total}} \quad (۴)$$

در رابطه (۴) V_{void} حجم خلل و فرج بر حسب سانتی‌متر مکعب و V_{total} حجم کل واحد گابیون می‌باشد.

اندازه دانه‌های سنگی به کمک الک بین قطرهای ۱۲/۷ تا ۱۶ میلی‌متر با $D_{50} = 14 \text{ mm}$ و با تخلخل ۴۰ درصد مشخص گردید. در شکل (۲) نحوه قرارگیری سبدهای گابیون بر سرریزهای پلکانی نشان داده شده است. انرژی بالادست سرریز به صورت زیر محاسبه گردید:

$$E_0 = (H + y) + \frac{q^2}{2g(H + y)^2} \quad (۵)$$

نظر به اینکه ترم دوم معادله (۵) به دلیل ناچیز بودن سرعت جریان در مخزن قابل صرف‌نظر کردن است لذا می‌توان این رابطه را به صورت زیر نوشت:

$$E_0 = H + y = H + \frac{3}{2}y_c \quad (۶)$$

در رابطه فوق H برابر ارتفاع کل سرریز، y عمق آب نسبت به تاج سرریز در بالادست سرریز و y_c عمق بحرانی جریان می‌باشد (شکل ۳).

برای هر سری از آزمایش‌ها، پس از نصب مدل و برقراری شرایط ماندگار، دبی‌های مختلفی از روی هر مدل جاری شده و سپس پارامترهای مختلف از جمله عمق بالادست و پایین‌دست سرریز و مشخصات پرش هیدرولیکی اندازه‌گیری می‌شد. به کمک دریچه پایین‌دست جریان به نحوی کنترل می‌شد که پرش هیدرولیکی در پای سرریز اتفاق بیفتد. عمق مزدوج بالادست پرش هیدرولیکی y_1 به دلیل آشفتگی زیاد در پنجه سرریز و شرایط جریان پر تلاطم و توأم با ورود هوا مستقیماً قابل اندازه‌گیری نبود، به این دلیل y_1 با استفاده از معادله بلانگر رابطه (۷) و عمق پایین دست (y_2) محاسبه شد (Chow, 1959).

$$y_1 = \frac{y_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1 \right) \quad (۷)$$

مقدار استهلاک انرژی نسبی به صورت زیر تعریف شده است:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} = 1 - \frac{E_1}{E_0} \quad (۸)$$

که پارامترهای آن قبلاً معرفی شده‌اند. در شکل (۴) چگونگی برخورد آب با پلکان و سبدهای گابیون و همچنین تشکیل پرش هیدرولیکی در پنجه سرریز در دبی یکسان نشان داده شده است.

ابعادی و با استفاده از روش π باکینگهام رابطه کلی زیر به دست می‌آید:

$$F \left(\frac{\Delta E}{E_0}, Fr, Re, We, \frac{q^2}{gH^3}, \frac{L_j}{y_2}, \frac{L_r}{y_2}, \frac{y_2}{y_1}, N \right) = 0 \quad (۲)$$

در این رابطه $Re (= \rho v R / \mu)$ عدد رینولدز جریان و Fr عدد فرود می‌باشد. با توجه به این که عدد رینولدز در محدوده انجام این آزمایش‌ها بیشتر از ۲۰۰۰ می‌باشد بنابراین جریان در محدوده آشفته می‌باشد و می‌توان از عدد رینولدز صرف‌نظر کرد (Chow, 1959). قابل ذکر است که با توجه به این که در این آزمایش‌ها حداقل ارتفاع آب روی سرریز ۶/۲ سانتی‌متر می‌باشد، می‌توان از اثرات عدد وبر We نیز صرف‌نظر کرد. در نتیجه رابطه نهایی به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{\Delta E}{E_0}, \frac{L_j}{y_2}, \frac{L_r}{y_2}, \frac{y_2}{y_1} = F \left(\frac{q^2}{gH^3}, N \right) \quad (۳)$$

امکانات آزمایشگاه و روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام پذیرفت. آزمایشگاه دارای یک مخزن اصلی آب زیرزمینی است که آب توسط پمپ از مخزن ذخیره به مخزن آرام کننده ابتدای فلوم وارد می‌گشت. در محل ورودی آب به کانال شیر فلکه برای کنترل میزان دبی ورودی قرار دارد. کانال با مقطع مستطیلی و از جنس پلکسی‌گلاس است. طول آن ۷۵۰ سانتی‌متر، عرض آن ۵۶ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۶۰ سانتی‌متر است. یک دریچه در انتهای کانال برای کنترل عمق پایین‌دست و محل تشکیل پرش هیدرولیکی نصب گردیده است (شکل ۱). آب جریان یافته در کانال به داخل یک مخزن در انتهای آن منتقل می‌گردد که با استفاده از سرریز مثلی نصب شده روی دیواره بتنی مخزن می‌توان دبی را اندازه گرفت. دو ریل موازی در بالای بدنه کانال برای حرکت شاخص مدرج (Point gauge) با دقت یک میلی‌متر برای اندازه‌گیری عمق آب نصب شده است. در این تحقیق دو مدل سرریز پلکانی و پلکانی گابیونی به منظور بررسی افت نسبی انرژی و بررسی مشخصات هیدرولیکی آن‌ها و همچنین شوت ساده‌ای به عنوان مدل شاهد با سطح صاف و از جنس شیشه با شیب ثابت ۱:۲ (افقی:عمودی) ساخته شده است. عرض مدل‌های فیزیکی ساخته شده از سرریز پلکانی همراه با گابیون ۵۶ سانتی‌متر، تعداد پله‌ها چهار، شش و هشت با ارتفاع‌های به ترتیب ۱۵، ۱۰ و ۷/۵ سانتی‌متر و شیب سرریز ۱:۲ (افقی:عمودی) بود. تخلخل سبدهای گابیون نیز برابر ۴۰ درصد می‌باشد. برای تعیین درصد تخلخل بدین صورت عمل شده که حجم سید گابیونی با توجه به ابعاد آن حاصل می‌شود.

میزان تخلخل از رابطه‌ی (۴) حاصل می‌شود:

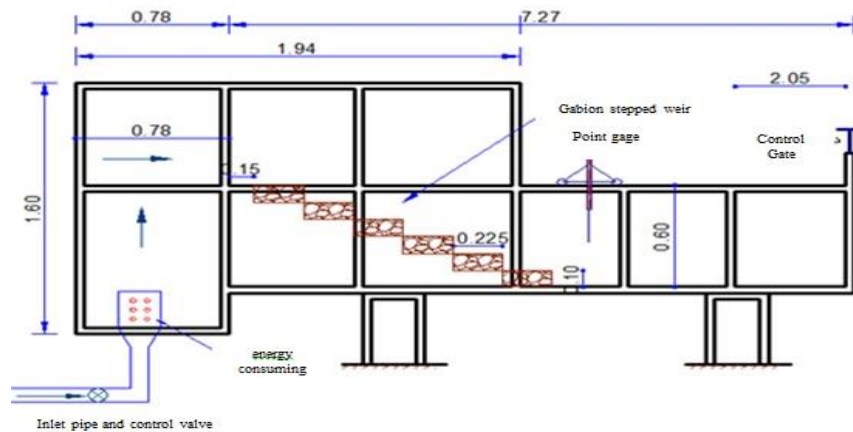


Fig. 1- The laboratory experimental section used in this study was a 56cm wide flume



شکل ۱- مقطع فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این مطالعه (عرض فلوم ۵۶ سانتی متر)

Fig. 2- The placement method of gabion baskets on the stepped spillway

شکل ۲- نحوه قرارگیری سبدهای گابیون بر سرریز پلکانی

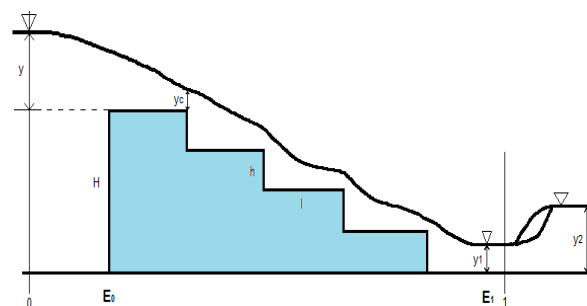


Fig. 3- The geometric and hydraulic dimensions of the physical model

شکل ۳- ابعاد هندسی و هیدرولیکی مدل فیزیکی

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترها در این تحقیق

Table 1- The range of parameter variations in this study

Range of changes	Q (L/s)	$\frac{y_2}{y_1}$	$\frac{L_j}{y_2}$	$\frac{L_r}{y_2}$	N
min	30	2.68	3.73	1.22	4
max	50	5.26	5.85	.90	8



(B)

(A)

Fig. 4- Comparison of stepped spillway (A) and gabion stepped spillway (B) with 4 steps and a discharge of 50 liters per second under the nappe flow condition

شکل ۴- مقایسه سرریز پلکانی (الف) و سرریز پلکانی گابیونی (ب) در تعداد پلکان ۴ و دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه در جریان ریزشی

جدول ۲- نتایج محاسبات مقدار استهلاک انرژی نسبی $(\frac{\Delta E}{E_0})$ مدل‌های مختلف بر حسب درصد

Table 2- The results of the calculations of the relative energy dissipation ($\Delta E/E_0$) for different models in terms of percentage

Number of steps	Weir	Discharge (L/s)				
		30	35	40	45	50
4	Stepped	70	65.6	62.6	59.5	54.8
	Gabion Stepped	80.6	77.4	75.1	71.1	67.4
6	Stepped	67	63.8	60.3	56.8	53.6
	Gabion Stepped	80	75	69.8	66.3	61.1
8	Stepped	67	63.8	60.3	57.3	54.2
	Gabion Stepped	76.7	73.1	70.9	68.7	65.4
	Chute	11.6	15.5	19.5	21.7	27.3

جدول ۳- طریقه نام گذاری مدل‌های ساخته شده در این تحقیق

Table 3- The way of naming the models made in this research

Description	Models	Description	Models
Gabion stepped weir with slope 1:2 and 4 steps	$S_2N_1 - G$	Stepped weir with slope 1:2 and 4 steps	S_2N_1
Gabion stepped weir with slope 1:2 and 6 steps	$S_2N_2 - G$	Stepped weir with slope 1:2 and 6 steps	S_2N_2
Gabion stepped weir with slope 1:2 and 8 steps	$S_2N_3 - G$	Stepped weir with slope 1:2 and 8 steps	S_2N_3

پلکانی گابیونی و همچنین مدل شاهد را برای تعداد پلکان و دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که میزان این افت در سرریز پلکانی گابیونی بیشتر از سرریز پلکانی است که به دلیل قرار گرفتن سبدهای گابیون می‌باشد. همچنین به علت کم بودن تعداد پلکان در سرریز چهار پله و بنابراین ارتفاع زیاد پلکان، جریان در این سرریز غالباً ریزشی بوده که باعث می‌شود افت در این سرریز بیشتر از دو سرریز دیگر یعنی شش و هشت پله باشد. در جدول (۳) طریقه نام‌گذاری مدل‌ها در این تحقیق توضیح داده شده است.

نتایج و بحث

الف) استهلاک انرژی سرریز

در این تحقیق آزمایش‌ها برای پنج دبی ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر روی مدل‌های ساخته شده انجام گرفت و با اندازه‌گیری عمق بالادست سرریز (از طریق نوار مدرج با فاصله مناسب از سرریز) و عمق پایین‌دست پرش در پایین‌دست سرریز و محاسبه عمق پای سرریز با استفاده از رابطه (۷)، میزان افت انرژی سرریز با کمک رابطه (۸) محاسبه گردید. جدول (۲) خلاصه نتایج افت نسبی انرژی برای دو حالت سرریز پلکانی و

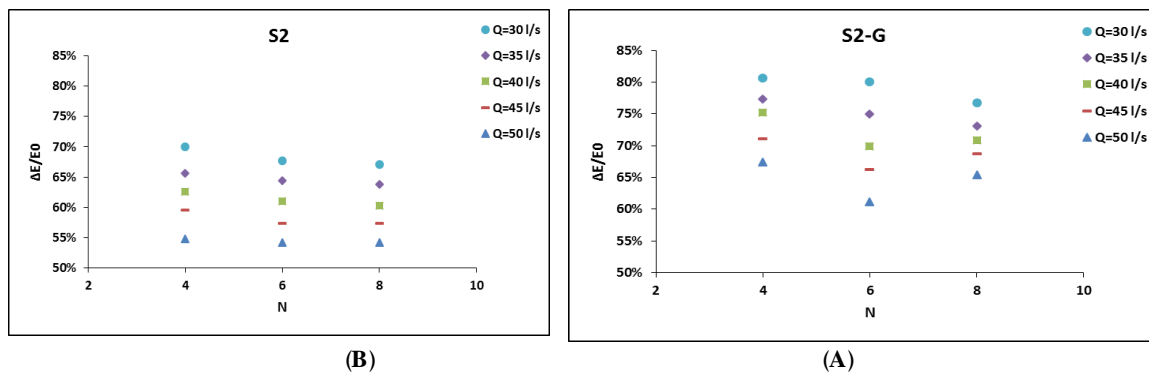


Fig. 5- The relative energy dissipation versus the number of steps in the stepped (A) and the gabion stepped spillway (B)

شکل ۵- استهلاک انرژی نسبی در مقابل تعداد پلکان در سرریز پلکانی (A) و پلکانی گابیونی (ب)

می‌شود که یک پرش ناقص و یا حتی کامل روی هر پله تشکیل شود، اما در سرریز شش و هشت پله به دلیل اینکه تعداد پلکان زیاد است و جریان در دبی‌های بالاتر زودتر رویه ای می‌شود، پله حالت خود را تا حدودی از دست می‌دهد.

در شکل (۷) به بررسی نمودار نسبت طول غلتابی به عمق ثانویه پرش در مقابل عدد آبشار پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با قرار دادن سبدهای گابیون روی سرریز و در نتیجه تأثیر موانع و جریان درونگذر بر شرایط جریان، طول غلتابی کاهش یافته است. همچنین با توجه به شکل، سرریزهای چهار پله به دلیل تشکیل جریان ریزشی خصوصاً در دبی‌های کمتر، طول غلتابی کمتری دارند، اما این نسبت در سرریزهای شش و هشت پله تا حدودی به هم نزدیک است.

همچنین مقادیر نسبی اعماق مزدوج در مقابل عدد آبشار برای دو سرریز پلکانی و پلکانی گابیونی در تعداد پلکان متفاوت در شکل (۸) ترسیم شده است. این شکل بیان‌گر آن است که عمق مزدوج نسبی در سرریزهای پلکانی و پلکانی گابیونی با افزایش دبی، افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که نسبت عمق مزدوج نسبی با کاهش تعداد پلکان سازه گابیونی و سرریز پلکانی، کاهش می‌یابد. از مقایسه بین سرریز پلکانی و گابیونی نیز مشخص است که عمق پایاب در پایین دست سرریز پلکانی گابیونی کمتر از سرریز پلکانی می‌باشد. با افزایش تعداد پلکان عمق جریان روی سرریز زیادتر شده، عمق اولیه جریان کاهش و عمق ثانویه پرش افزایش می‌یابد.

در شکل (۵) اثر تعداد پلکان بر افت انرژی سرریز پلکانی و پلکانی گابیونی در شیب ثابت بررسی شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد پلکان و کاهش ارتفاع پله، افت نسبی انرژی کاهش می‌یابد. به تعبیر دیگر افزایش دبی، سبب ایجاد جریان رویه‌ای شده که موجب کاهش اثر زبری پله‌ها در استهلاک انرژی جریان می‌شود. و یا با افزایش تعداد پله‌ها (کاهش ارتفاع پله‌ها) و تبدیل جریان ریزشی به رویه‌ای، تلاطم جریان و تأثیر پله در مقاومت در برابر جریان کمتر می‌شود و لذا استهلاک انرژی کاهش می‌یابد.

(ب) پرش هیدرولیکی

برای بررسی و مقایسه طول پرش هیدرولیکی در حالت حضور سبدهای گابیون با حالت سرریز پلکانی بدون گابیون نسبت بی‌بعد $\frac{L_j}{y_2}$ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل (۶) ملاحظه می‌گردد این نسبت در سرریزهای پلکانی گابیونی کمتر است، زیرا با قرار دادن سبدهای گابیون روی سرریز، جریان به دو بخش روگذر و درونگذر تبدیل شده و تلاطم جریان با برخورد آب به این سبدها افزایش می‌یابد. با افزایش تلاطم، عمق اولیه پرش افزایش یافته و بنابراین عدد فرود کاهش می‌یابد که موجب افزایش استهلاک انرژی جریان و کاهش طول پرش هیدرولیکی می‌گردد. شرایط کلی نشان می‌دهد که تقریباً سرریز پلکانی و پلکانی گابیونی شش و هشت پله تفاوت چندانی در میزان $\frac{L_j}{y_2}$ ندارند اما هر دوی آن‌ها با سرریز چهار پله کاملاً متفاوت هستند. چرا که در سرریز چهار پله طول پله زیاد شده و این فرصت به جریان داده

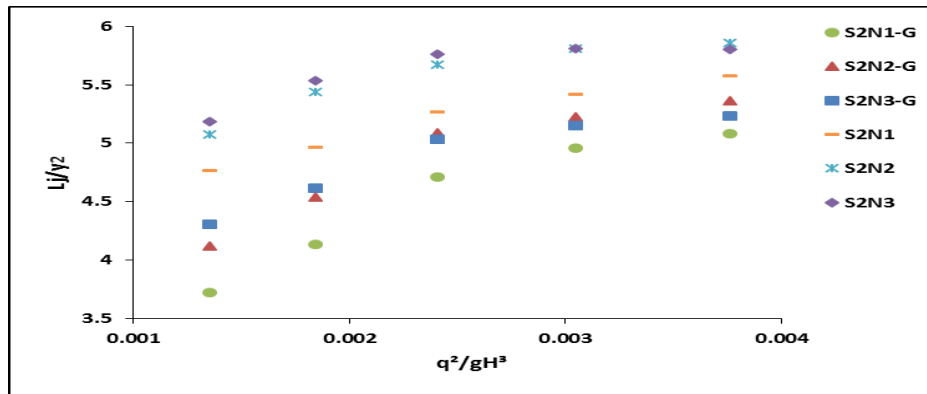


Fig. 6- The ratio of $\frac{L_j}{y_2}$ to $\frac{q^2}{gH^3}$ for different numbers of steps

شکل ۶- نسبت $\frac{L_j}{y_2}$ در برابر $\frac{q^2}{gH^3}$ برای تعداد پلکان مختلف

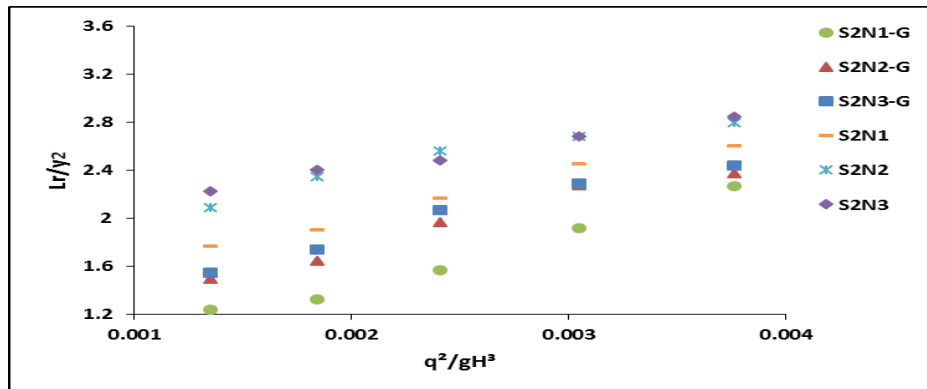


Fig. 7- The ratio of $\frac{L_r}{y_2}$ to $\frac{q^2}{gH^3}$ for different numbers of steps

شکل ۷- نسبت $\frac{L_r}{y_2}$ در برابر $\frac{q^2}{gH^3}$ برای تعداد پلکان مختلف

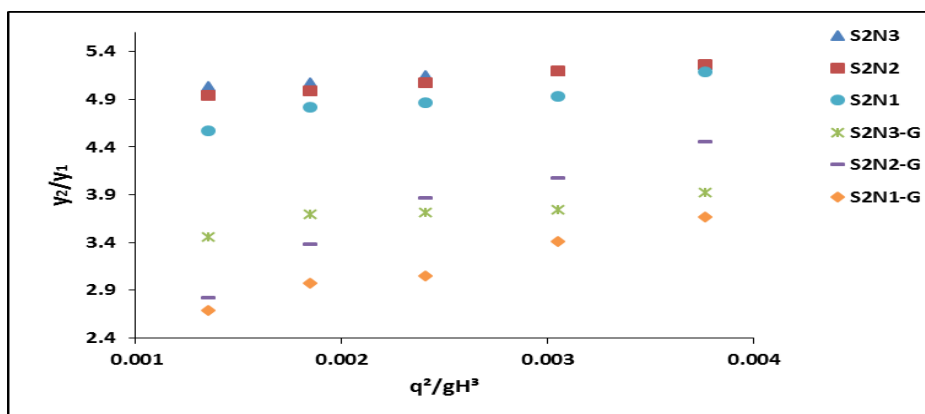


Fig. 8- The ratio of $\frac{y_2}{y_1}$ to $\frac{q^2}{gH^3}$ for different numbers of steps

شکل ۸- نسبت $\frac{y_2}{y_1}$ در برابر $\frac{q^2}{gH^3}$ برای تعداد پلکان مختلف

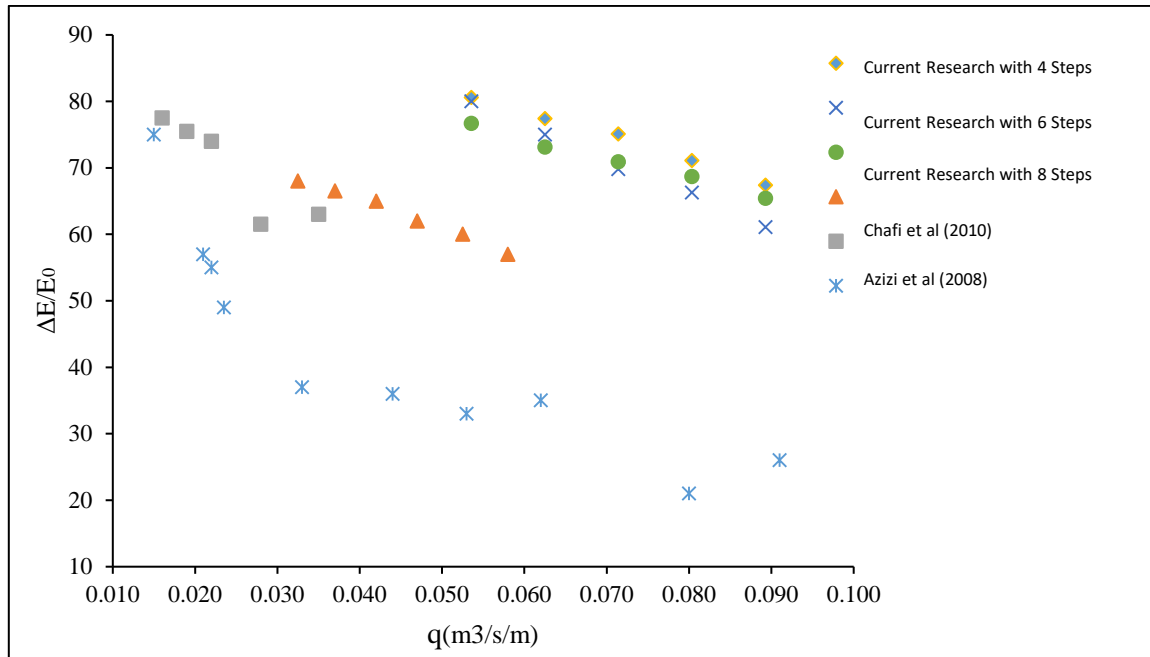


Fig. 9- Comparison of the relative energy dissipation in this study with other researchers' studies

شکل ۹- مقایسه افت انرژی نسبی این تحقیق با تحقیقات دیگران

بیشتر از مدل شاهد است و با افزایش دبی مقدار نسبی استهلاک انرژی کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی می‌توان گفت بیشترین میزان استهلاک انرژی سرریزهای پلکانی گابیونی در این مدل‌ها ۸۰/۶ درصد می‌باشد. همچنین در مدل‌های با بسته‌های گابیون میزان استهلاک انرژی از ۷/۵ تا ۱۳ درصد نسبت به سرریز پلکانی و از ۲۷/۵ تا ۷۲/۱ درصد نسبت به شوت ساده افزایش می‌یابد.

کاهش تعداد پلکان به شرط تشکیل جریان ریزشی باعث افزایش افت انرژی می‌گردد و این مقدار در سرریز پلکانی گابیونی چهار پله محسوس‌تر است. و به‌طور کلی مقدار افت انرژی در سرریز چهار پله بیشترین مقدار و در سرریز هشت پله و در دبی-های بالا کمترین مقدار می‌باشد. با افزایش دبی جریان، تاثیر زیرلایه ورقه‌ای بر پروفیل سرعت کمتر شده و در نتیجه میزان افت انرژی کمتر بوده و همچنین مقدار آن در سرریزهای شش و هشت پله به هم نزدیک می‌شود.

برای یک مدل خاص با افزایش دبی درصد کاهش نسبی طول پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد. مقدار کاهش نسبی طول پرش و نیز طول غلتایی در تعداد پلکان چهار بیشترین مقدار است. همچنین مقدار ماکزیمم درصد کاهش طول پرش در تعداد پلکان چهار و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه (دبی حداقل) تقریباً ۵۵ درصد، و مقدار مینیمم آن در تعداد پلکان شش و در دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه (دبی حداکثر) حدوداً ۳۱ درصد اتفاق می‌افتد.

مقایسه نتایج این تحقیق با دیگر روش‌های استهلاک انرژی نشان می‌دهد که این روش‌ها می‌تواند روش کارآمد برای استهلاک انرژی تلقی گردد.

در شکل (۹) تغییرات استهلاک انرژی در برابر دبی در واحد عرض مربوطه به نتایج آزمایش‌های Chafi et al (2010)؛ Salmasi et al., (2011) و Azizi et al (2008) به همراه نتایج پژوهش حاضر برای سرریزهای پلکانی گابیونی با تعداد پلکان چهار، شش و هشت برای مقایسه ارائه شده است. با توجه به اینکه آزمایش‌های Azizi et al (2008) در دبی‌های کمتری انجام شده‌اند در نتیجه اثر پلکان بر مقاومت جریان بیشتر بوده و افت انرژی نسبی بیشتر است. همچنین در مدل سرریز پلکانی گابیونی Salmasi et al (2011) با تشکیل جریان غیرریزشی تاثیر پلکان بر مقاومت جریان کم شده و افت انرژی کاهش یافته است. با علم به اینکه این آزمایش‌ها در شرایط مختلف آزمایشگاهی و دامنه‌های مختلف پارامترها انجام شده‌اند، با توجه به روند این شکل می‌توان گفت که استفاده از سرریز پلکانی همراه با سبدهای گابیون می‌تواند روشی کارآمد برای استهلاک انرژی، در مقایسه با دیگر روش‌های متداول استهلاک انرژی به حساب آید.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که ذکر گردید هدف اصلی این تحقیق بررسی تاثیر تعداد پلکان سرریز پلکانی گابیونی روی تغییر شرایط جریان و مشخصات هیدرولیکی می‌باشد که برای دستیابی به این هدف، دو مدل سرریز پلکانی گابیونی سرریز پلکانی و یک مدل شوت ساده به‌عنوان شاهد، برای مقایسه ساخته شد.

در سه تعداد پلکان چهار، شش و هشت میزان استهلاک انرژی سرریزهای پلکانی گابیونی بیشتر از سرریز پلکانی و بسیار

تشکر و قدردانی

معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌کنند ضمناً از حمایت معنوی قطب علمی "بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می‌گردد.

این مقاله از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره ۹۵/۳/۰۲/۳۱۴۰۰ تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از

References

- 1- Aziz, A., Meftah Halaghi, M., Dehghani, A.A. and Suzuki, K., 2008. Effect of Material Porosity on Energy Dissipation in Gabion Stepped Weirs. In *ICHE 2008. Proceedings of the 8th International Conference on Hydro-Science and Engineering, September 9-12, 2008, Nagoya, Japan.*
- 2- Chafi, C., Hazzab, A. and Seddini, A., 2010. Study of flow and energy dissipation in stepped spillways. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 4(1), pp.1-11.
- 3- Chamani, M.R. and Rajaratnam, N., 1999. Characteristics of skimming flow over stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(4), pp.361-368.
- 4- Chanson, H., 1994. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. *Journal of Hydraulic Research*, 32(2), pp.213-218.
- 5- Chanson, H. 2004. *Hydraulic Jumps and Noncircular Spillways*. Oxford, UK: Elsevier.
- 6- Chinnarasri, C., Donjadee, S. and Israngkura, U., 2008. Hydraulic characteristics of gabion-stepped weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8), pp.1147-1152.
- 7- Chow VT, 1959. *Open Channel Hydraulics*. Mc Grow Hill Book Co, New York, NY.
- 8- Christodoulou, G.C., 1993. Energy dissipation on stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(5), pp.644-650.
- 9- Felder, S. and Chanson, H., 2011. Energy dissipation down a stepped spillway with nonuniform step heights. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(11), pp.1543-1548.
- 10-Gonzalez, C.A., Takahashi, M. and Chanson, H., 2008. An experimental study of effects of step roughness in skimming flows on stepped chutes. *Journal of Hydraulic Research*, 46(sup1), pp.24-35.
- 11-Heydari Orojlo, S., Mousavi Jahromi, S. H., Adib, A. 2010. 'Influence of the steeped spillway slope on the number of optimal steps', *Irrigation Sciences and Engineering*, 33(2), pp. 127-140. doi: 10.22055/jise.2010.13484. (in Persian).
- 12-Peyras, L.A., Royet, P. and Degoutte, G., 1992. Flow and energy dissipation over stepped gabion weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(5), pp.707-717.
- 13-Salmasi, F., Farsadizade, D. and Mohit, H., 2011. Experimental evaluation of energy dissipation over gabion stepped spillway. *Water and Soil Science*, 21(4), pp.152-164. (in Persian).
- 14-Sorensen, R.M., 1985. Stepped spillway hydraulic model investigation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(12), pp.1461-1472.
- 15-Wüthrich, D. and Chanson, H., 2014. Hydraulics, air entrainment, and energy dissipation on a Gabion stepped weir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(9), p.04014046.