

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Investigation of Submerged Flow over Porous Embankment Weirs with Up and Downstream Slopes

M. Moradi¹, M. Fathi Moghadam^{2*} and L. Davoudi³

1-M.Sc Graduate, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

2 * - Corresponding Author, Professor, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz (*mfathi@scu.ac.ir*).

3-Ph.D. Graduate, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz .

Received: 5 November 2016

Revised: 22 December 2017

Accepted: 26 December 2017

Keywords: Porous embankment weir, Submerged flow, Modular limit.

DOI:10.22055/jise.2018.20052.1432.

Introduction

Embankment weirs are finite crested weirs with various side slopes that can be used for different purposes such as flow measurement and diversion, water level management, aeration or water purification, etc. The hydraulic performance and the characteristics of flow over solid weirs with finite crest length in free and submerged flow conditions have been of interest to many studies (Azimi and David, 2013). Unlike the impermeable weirs, porous weirs contribute to the water purification in the rivers and channels downstream of the structures. Hence, they are structures with positive impact on water treatment.

Sargison and Percy (2009) studied the performance of BC weirs with side slopes varying between vertical positions to 1V:2H. Results indicated that by decreasing the slope of upstream face, the discharge coefficient increases and the height of the upstream water surface reduces. Although the characteristics of flow over porous weirs have been studied until now, there are still remaining facts to discover about performance of these kinds of structures in practice. Hence, this study has benefited from extensive experimental data obtained by laboratory tests to develop formulas to estimate hydraulic parameters for discharge reduction factor in the submerged flow conditions.

This study investigates the hydraulic performance of flow over the porous embankment (PE) weirs for both free and submerged flow conditions. To do this, the hydraulic behavior of flow over 16 different PE weir models was examined in a rectangular flume. Results showed that the effect of the upstream slope of weirs is negligible on the modular limit index while the downstream slopes of weirs did not affect the free flow parameters. Also, both up- and downstream side slopes have no significant effect on the characteristics of the submerged flow.

Methodology

Laboratory experiments were conducted in a rectangular, glass-walled laboratory flume of 0.3 m width, 0.5 m height, and 15 m length at the Hydraulics Laboratory of the Department of Hydraulic Structures at Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. An overshoot gate installed at the end of the flume allowed the adjustment of the downstream depth at any required level for modular and submerged flow conditions.

Frameworks of all models were made of 4 mm diameter metal rods which were stuck on the bottom

base using soft wire. The frame was covered with 5×5 mm fine wire mesh which was smaller than the smallest filling stones. Finally, the weir boxes were filled with different material sizes with a coefficient of uniformity of the materials expressed by the ratio of d_{60}/d_{10} close to 1. Model weirs were installed at a distance of 4.5 m from the entrance of the flume. Experiments for every model were performed in flow rates ranging from 10 to 30 L/s. Flow rates were measured using an ultrasonic flow meter with an accuracy of $\pm 1\%$. Water surface levels were measured

Table1- Experimental variables

Parameter	Range
Weir length (L_w)	15-74cm
Weir height (P)	18 cm
Weir width (B)	30 cm
Discharge (Q)	10 to 30 l/s
Upstream slope (α)	$\pi/6, \pi/4, \pi/3, \pi/2$ rad
Downstream slope (β)	$\pi/6, \pi/4, \pi/3, \pi/2$ rad
Gravel mean size (d_{50})	7.2, 11.3, 14.3, 17.5, 22.0, 31.3 mm
Gravel porosity % (n)	51, 50, 47, 46, 44, 43

using a point gauge with an accuracy of ± 0.2 mm after stabilizing the water level. In this study, 16 models of PE weirs with different side slopes were investigated in different flow conditions and filling materials sizes. Complete experimental conditions of this study are listed in Table1. The experiments for all models have been carried out for both free and submerged flow conditions in order to provide a better understanding of the effect of the flow conditions on the hydraulic behavior of flow over and through the porous weirs. Also, the threshold submergence or the modular limit is determined as the water level in which the approach flow regime converts from free to submerged. This is defined as the water level where the upstream water depth starts to increase by +1 mm caused by increasing the downstream water depth (Hager and Schwalt 1994). Then, both up- and downstream water depths were measured. The up- and downstream water depths were recorded at various submergence ratios to account for the calculation of the discharge reduction factor caused by submergence. Generally, the discharge passing through and above the weir at submerged flow Q_s is equal or smaller than the discharge Q at free flow condition at the same upstream water level. Hence, the discharge for submerged flow would be described as the following equation:

$$Q_s = \psi Q \rightarrow \psi = \frac{Q_s}{Q} \quad (1)$$

Where, Q is the free flow discharge and ψ is the discharge reduction factor.

Result and discussion

Results indicated that in a constant submergence ratio, by increasing the filling material size, the discharge reduction factor reduces. Comparing the results for various particle sizes indicates that by the effect of changing the slope of both up- and downstream ramps increasing the ratio of d_{50}/P is eliminated so that increasing the ratio of d_{50}/P from 0.071 to 0.195 has reduced the difference between trend lines of ψ for all geometries. In addition, it can be seen that changing both up- and downstream slopes has negligible effect on the discharge reduction factor. Thus, it could be concluded that the discharge reduction factor is almost independent from both up- and downstream side slopes. Figure 1

shows the variation of ψ versus y_2/y_1 for different weirs.

Conclusion

To evaluate the hydraulic behavior of a PE weirs and to develop an empirical relationship for these weirs, extensive experimental models of various PE weirs with different side slopes were built and tested. The effects of the filling material sizes on discharge efficiency were evaluated by all PE weirs models with varying d_{50} between 7.2 and 31.3 mm. According to the results, the discharge reduction factor (ψ) increases with decreasing the mean size of filling material and it is nearly independent from the up- and downstream side slopes.

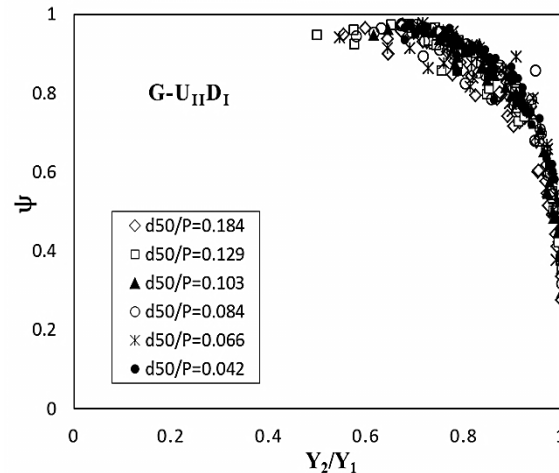


Fig.1-Variation of discharge reduction factor versus submerged ratio for PE weirs

Acknowledgments

We appreciate Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, for financial support of this research. We would also like to thank the reviewers for their thorough work and helpful comments. The Authors are also grateful to the Center of excellence for the improvement and maintenance of the irrigation and drainage networks for provision a part of data.

References

- 1-Azimi, A. M. and David, Z., 2013. Discharge characteristics of weir of finite crest length with upstream and downstream ramps. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139, pp. 75-83.
- 2-Hager, W. H., and Schwalt, M. 1994. Broad-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(1), pp. 13-26.
- 3-Sargison, J. E., and Percy, A. 2009. Hydraulic of broad-crested weirs with varying side slopes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), pp. 115-118.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

بررسی آزمایشگاهی جریان مستغرق سرریز گابیونی لبه پهن با شیب بالادست و پایین دست

مهرزاد مرادی^۱، منوچهر فتحی مقدم^{۲*} و لیلا داودی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز mfathi@scu.ac.ir

۳- دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۱۰/۱

دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۵

چکیده

برخلاف سرریزهای معمولی نفوذناپذیر، مواد فیزیکی و شیمیایی از درون سرریزهای گابیونی به پایین دست عبور می‌کنند. بنابراین سرریزهای گابیونی سازه‌هایی با حداقل اثرات منفی بر محیط زیست بوده و به سازه‌های دوست‌دار محیط زیست معروف هستند. در این تحقیق تأثیر اندازه مصالح، شیب بالادست و شیب پایین دست بر فاکتور کاهش دبی جریان در سرریزهای گابیونی با شرایط جریان مستغرق بررسی شد. در ابتدا پس از شناسایی پارامترهای مؤثر، رابطه عمومی بدون بعد توسعه داده شده است. برای انجام آزمایش‌ها ۱۶ مدل مختلف سرریز گابیونی در یک فلوم آزمایشگاهی افقی به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۱۵، ۰/۳ و ۰/۵ متر مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها برای دامنه وسیعی از دبی، عمق بالادست، عمق پایین دست، اندازه مصالح، شیب بالادست و شیب پایین دست انجام شد. نتایج نشان داد در تمامی مدل‌های گابیونی با افزایش نسبت عمق پایین دست به عمق بالادست سرریز (Y2/Y1) فاکتور کاهش دبی، کاهش می‌یابد. به ازای مقدار ثابت نسبت (Y2/Y1)، افزایش شیب بالادست و یا پایین دست سرریز لبه پهن گابیونی، فاکتور کاهش دبی رو به افزایش می‌گذارد. همچنین اندازه مصالح تأثیر معنی‌داری بر فاکتور کاهش دبی ندارد. در این تحقیق با استفاده از رگرسیون غیرخطی رابطه‌ای با ضریب تعیین بین ۰/۱۲ تا ۰/۹۱ جهت محاسبه میزان فاکتور کاهش دبی ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: عمق آب بالادست، آستانه استغراق، نسبت استغراق، فاکتور کاهش دبی، شیب سرریز، مصالح گابیون.

مقدمه

تا کنون مطالعات زیادی در زمینه خصوصیات جریان با انواع مختلف هندسه ورودی سرریز لبه پهن انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات Ansar و Castro (2003)، Li و Garga (1998) و Percy و Sargison (2009) اشاره نمود که به بررسی اثر شیب‌های بالادست و پایین دست بر عملکرد هیدرولیکی سرریز لبه پهن پرداختند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که افزایش شیب بالادست، موجب کاهش رقوم پروفیل سطح آب و بنابراین کاهش فشار استاتیک تاج و در نتیجه کاهش ضریب دبی جریان می‌شود. بیشتر مطالعات قبلی روی سرریزهای گابیونی در شرایطی انجام شده که عمق جریان در بالادست سرریز کم‌تر از ارتفاع سرریز می‌باشد. Kells (1993)، جریان متغیر تدریجی از روی بند سنگریزه‌ای را برای دو شرایط جریان مختلف ریزش جزئی و کامل از روی بند مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که نسبت گذر جریان از داخل بند سنگریزه‌ای به گذر جریان از روی آن در محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۵ می‌باشد. Hager و Schwalt (1994)، جریان روی سرریز لبه پهن با تاج تیز گوشه و بالادست عمودی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها محدوده مدولار یا آستانه استغراق را محدوده‌ای

سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم جهت کنترل جریان، تنظیم سطح آب و اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های آبیاری و رودخانه‌ها می‌باشد. این سرریزها معمولاً از بتن ساخته شده و دارای بدنه نفوذناپذیر هستند؛ اما امروزه سرریزهای ساخته شده از گابیون (تور و سنگ) به دلیل این که نیازهای طبیعی و محیط زیست را بهتر می‌تواند برطرف نماید، ترجیح داده می‌شوند. هم چنین از نظر کیفیت آب، مواد فیزیکی و شیمیایی مانند رسوبات و مواد آلی به حالت تعلیق در آمده و از طریق بدنه نفوذپذیر به پایین دست منتقل می‌شوند و رسوبات انباشته شده در پشت سرریز به حداقل می‌رسد. در این نوع سرریز، باکتری‌های موجود در سطح مصالح سنگی ممکن است موجب تجزیه مواد آلی شود. این واکنش بیوشیمیایی و هم‌چنین هوادهی ناشی از تلاطم عبور جریان از بین مصالح سنگی سرریز که موجب تجزیه هوازی مواد آلی می‌شود، عاملی برای خودپالایی، تصفیه و حذف بوی بد فاضلاب رودخانه می‌باشد. با این تفاسیر، این نوع سازه‌ها علاوه بر سازگاری با اکوسیستم و محیط زیست، دارای اثرات مثبت روی آن‌ها می‌باشند.

مطالعه Fathi Moghadam et al. (2018) نیز با هدف شبیه‌سازی عددی راندمان هیدرولیکی جریان اطراف و درون محیط متخلخل سرریز گابیونی مثلثی و دوزنقهای انجام شده است. مطالعه‌های shariq (2020) نشان می‌دهد که در تمامی سرریزها با شرایط جریان آزاد، عمق بحرانی روی سرریز تشکیل شده و در محدوده مقطع بحرانی تا انتهای تاج سرریز، جریان فوق بحرانی تاج ایجاد می‌گردد. تحقیقات انجام‌شده تا کنون، مربوط به سرریز لبه تیز، لبه کوتاه و لبه پهن ساخته شده از مصالح نفوذناپذیر مانند بتن می‌باشد و در مقایسه با آن، مطالعات انجام‌شده روی سرریزهای گابیونی لبه پهن بسیار اندک می‌باشد. با توجه به این‌که تا کنون مطالعه‌ای روی اثر شیب بالادست و پایین‌دست سرریز گابیونی با دانه‌بندی مختلف مصالح انجام نشده است، بررسی عملکرد این نوع سرریز نی‌ ضروری می‌نماید. زیرا استفاده از مدل گابیونی سرریز، موجب افزایش راندمان هیدرولیکی نسبت به نوع نفوذناپذیر می‌شود. با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی، می‌توان روابطی جهت پیش‌بینی دبی در این نوع سرریزها در شرایط جریان مستغرق نیز ارایه نمود. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر شیب بالادست و پایین‌دست سرریزهای گابیونی لبه پهن بر فاکتور کاهش دبی در شرایط مستغرق و ارایه رابطه پیش‌بینی کننده فاکتور کاهش دبی در سرریزهایی با تخلخل مصالح گوناگون در شرایط مستغرق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به شرایط جریان ورودی و نفوذپذیری بدنه، جریان عبوری از سرریزهای گابیونی به دو نوع درون‌گذر و روگذر تقسیم بندی می‌شوند. جریان درون‌گذر در شرایطی رخ می‌دهد که حداکثر تراز سطح آب در سراب، پایین‌تر از رقوم تاج سرریز باشد. در این حالت، جریان تنها از درون بدنه متخلخل سرریز عبور می‌کند. هرگاه جریان خروجی از بدنه نسبت به شدت جریان ورودی کم باشد، بخشی از جریان از روی سرریز عبور می‌کند. در این دو حالت که عمق آب پایین‌دست، تأثیری بر عمق آب بالادست و دبی سرریز ندارد، جریان به صورت آزاد سرریز می‌شود. دبی جریان آزاد از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$Q = \frac{2}{3} C_d B \sqrt{2gh}^3 \quad (1)$$

که در آن، B عرض فلوم و h بار آبی روی سرریز لبه پهن می‌باشد (Mohamed, 2010). C_d ، ضریب دبی جریان آزاد در سرریزهای گابیونی که نمایی از آن در شکل (۱) نشان داده شده است، به قطر متوسط مصالح، شیب وجوه بالادست و پایین‌دست سرریز، ارتفاع تاج سرریز و شرایط جریان بالادست بستگی دارد. معمولاً بیشترین ضریب دبی سرریزها، مربوط به شرایط جریان آزاد می‌باشد.

تعریف کردند که با افزایش عمق آب پایین‌دست، عمق آب در بالادست سرریز نسبت به تاج سرریز، رو به افزایش گذارد. Michioku et al. (2005)، هیدرودینامیک یک پشته قلوه سنگی را به صورت نظری و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند و با انجام تحلیل یک بعدی روی جریان یکنواخت دایمی از میان سرریز، بیان داشتند دبی جریان، تابع پارامترهایی مانند عمق جریان در بالادست و پایین‌دست سرریز، تخلخل، قطر ذرات پشته سنگریزه‌ای و طول سرریز می‌باشد. Michioku et al. (2007)، مطالعاتی آزمایشگاهی در زمینه جریان روی سرریزها و آبشکن‌های سنگریزه‌ای انجام دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که تغییرات جرم و مومنتم بین جریان اصلی و جریان در محیط متخلخل اطراف زاویه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز و آبشکن غالب بوده و هم-چنین خطوط جریان به سرعت منقبض می‌شوند.

Leu et al. (2005)، جریان آشفته در اطراف یک پشته سنگریزه‌ای را در کف فلومی با جریان آزاد مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها سه مدل با تخلخل‌های صفر، $34/9$ و $47/5$ درصد را آزمایش نموده و نشان دادند که در سازه‌های متخلخل، ناحیه چرخش در جهت پایین‌دست به دلیل عبور جریان درون‌گذر سرریز، طولانی‌تر می‌شود.

Chanson (2006)، اشاره کرد که اندرکنش بین جریان نشتی از داخل سرریز و روی سرریز کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و موضوعی ارزنده جهت انجام مطالعات آینده می‌باشد. از جمله مطالعات اخیر در زمینه جریان روی سرریز گابیونی می‌توان مطالعه Mohamed (2010) را نام برد. وی با انتخاب دو مدل سرریز گابیونی مستطیلی و دو مدل سرریز بتنی با همان هندسه، به بررسی عملکرد سرریز گابیونی و مقایسه آن با سرریز بتنی پرداخته و در نهایت روابطی برای پیش‌بینی دبی این سرریز در شرایط آزاد و مستغرق ارایه داد.

مطالعات Azimi و David (2013) بیان می‌دارد که در سرریزهای نفوذناپذیر، کاهش شیب بالادست موجب افزایش ضریب دبی شده و با کاهش شیب پایین‌دست، ضریب دبی افزایش می‌یابد. Farhoudi et al. (2007) به بررسی تأثیر شیب دار کردن وجه بالادست بر تغییرات ضریب تخلیه و مشخصات جریان از جمله پروفیل سطح آب در طول تاج سرریزهای لبه پهن مستطیلی پرداختند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که با تغییر وجه بالادست سرریز، ضریب و ظرفیت تخلیه سرریز متناسب با کاهش شیب بالادست سرریز لبه پهن استاندارد افزایش می‌یابد و این افزایش در سرریز با شیب ۱۵ درجه وجه بالادست سرریز، تا ۲۰ درصد نیز می‌رسد.

Kheyraei و Fathi Moghadam (2016) عملکرد هیدرولیکی سرریزهای مثلثی شکل گابیونی را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در شرایط جریان آزاد، با افزایش زاویه بالادست و پایین‌دست سرریز با راستای عمود، بار آبی روی سرریز افزایش و ضریب دبی کاهش می‌یابد.

پایین دست سرریز که در شکل (۱) به ترتیب با نماد α و β نمایش داده شده است، می تواند مقادیر صفر، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را داشته باشد. بر همین اساس، هر سرریز گابیونی با توجه به مقادیر زوایای وجوه بالادست و پایین دست خود نامگذاری شده است. اطلاعات نامگذاری مدل های سرریز در جدول (۱) درج شده است. به طوری که، نماد سرریز گابیونی را بر حرف (G)، شیب صفر درجه با نماد (I)، شیب ۳۰ درجه با نماد (II)، شیب ۴۵ درجه با نماد (III) و شیب ۶۰ درجه با نماد (VI)، نشان داده شده است. در این شکل، پارامترهای هندسی سرریز نیز نشان داده شده است. در جدول (۱)، اطلاعات مربوط به ارتفاع سرریز، p ، و طول قاعده سرریز، wL بر حسب سانتی متر ارائه شده که هر یک از این پارامترهای هندسی، در شکل (۱) نیز بصورت شماتیک معرفی شده اند.

به منظور تهیه مصالح سنگی سرریز گابیونی، از الک های استاندارد ASTM استفاده شده است. جهت تعیین اندازه مصالح سنگی یا به عبارت دیگر قطر متوسط مصالح، از الک های ۴/۷۵، ۹/۵۱، ۱۲/۷، ۱۶، ۱۹، ۲۵/۴ و ۳۸/۴ میلی متر استفاده گردید. در شکل (۲)، نمودار دانه بندی مصالح سنگی مدل سرریزهای گابیونی ارائه شده است. قطر متوسط مصالح گابیون از ۷/۲ تا ۳۱/۳ میلی متر متغیر بوده است. آزمایش های هر مدل سرریز نیز با شش دانه بندی مختلف مصالح سنگی انجام شده است. شکل (۳) نمایی سه بعدی از یک مدل آزمایشگاهی سرریز گابیونی در معرض جریان مستغرق را نمایش می دهد.

مراحل انجام هر آزمایش بدین ترتیب بوده است که ابتدا سرریز نصب شده و پس از آن با مصالح شنی پر می شد. بعد با روشن نمودن پمپ، جریان ورودی بوسیله شیرفکله تنظیم شده و با استفاده از دبی سنج آلتراسونیک مدل (UF6000)، که روی لوله خروجی پمپ به فلوم نصب شده است، قرائت می گردید. در این هنگام، دریچه انتهایی فلوم باز نگه داشته شده و این روند تنظیمی تا رسیدن به دبی مورد نظر ادامه می یافت. دبی قرائت شده در این شرایط، دبی جریان آزاد تلقی می گردد که عمق پایاب نیز شرایط سراب را تحت تأثیر قرار نمی دهد. به منظور کنترل، هر بار سطح آب طرفین سرریز قرائت می شد. اشل های نصب شده روی دیواره فلوم در فاصله ای از بالادست و پایین دست فلوم که بر اساس توصیه های ارائه شده حدود ۲۰۶ سانتی متر از یکدیگر فاصله دارند، به عنوان محل های قرائت عمق های بالادست و پایین دست سرریز انتخاب شده اند. از آنجا که هدف این مطالعه، بررسی شرایط استغراق است، دریچه انتها به تدریج بسته شده و قرائت عمق نیز انجام می شد. عمق پایاب در شرایطی که با بستن دریچه، موجب افزایش عمق سراب به اندازه یک یا دو میلی متر می شد، آستانه استغراق یا حد مدولار تلقی می - گردید.

در حالت دوم، شرایط به گونه ای است که مقداری از جریان از لبه پایین دست، به صورت آزاد سرریز می شود. گاهی به دلیل وجود موانع دیگر در پایین دست، کل سازه سرریز زیر آب رفته و حداکثر شدت جریان نسبت به حالت آزاد کاهش یافته یا حداکثر برابر با آن می شود. چنین شرایطی که طی آن عمق پایین دست بر دبی و عمق آب بالادست تأثیر می گذارد، جریان مستغرق نامیده می شود.

آنچه که در طراحی سرریزها دارای اهمیت می باشد، توجه به میزان دبی جریان مستغرق نسبت به دبی جریان آزاد می باشد. بر اساس مطالعات گذشته، فاکتور کاهش دبی برای این منظور تعریف شده است (Azimi and David, 2013). این فاکتور، خارج قسمت دبی در حالت جریان مستغرق به دبی در حالت آزاد همان عمق بالادست می باشد که به علت استغراق ایجاد شده است. رابطه (۲)، تعریف ارایه شده برای فاکتور کاهش دبی را بیان می دارد:

$$\phi = \frac{Q_s}{Q_f} \quad (2)$$

که در آن، ϕ ، فاکتور کاهش دبی، Q_s ، دبی در شرایط مستغرق و Q_f ، دبی در شرایط جریان آزاد می باشد.

آزمایش ها در فلومی به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع دیواره های ۰/۵ متر از جنس شیشه دارای کف فلزی واقع در آزمایشگاه مدل های فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. سیستم گردش آب فلوم به صورت مدار بسته می باشد و آب مورد نیاز آن از طریق مخازن مرتبط بهم که در کنار فلوم تعبیه شده است، از طریق پمپ موجود در بالادست فلوم تأمین و مقدار آن بوسیله یک شیرفکله در پایین دست پمپ، تنظیم می شود. آب پس از پمپ شدن، وارد یک مخزن آرام کننده در ابتدای فلوم می شود و با عبور از طول فلوم، از دریچه انتهایی فلوم که به منظور تنظیم سطح آب بالادست تعبیه شده، می گذرد و مجدداً وارد مخازن مرتبط می شود.

برای ساخت سرریزهای گابیونی، در ابتدا اسکلت مدل از میله های فلزی با قطر چهار میلی متر ساخته شد و مدل های مختلف سرریز گابیونی با استفاده از یک تور فولادی که اندازه مش های آن کوچک تر از حداقل اندازه مصالح سنگی مورد استفاده بود، مدل های مختلف سرریز گابیونی ساخته شد. به منظور اتصال مدل های ساخته شده به کف فلوم و نیز پایداری آن ها در حین آزمایش، سرریزها روی یک صفحه فلزی به ضخامت ۰/۵ سانتی متر قرار داده شدند. از آنجا که هدف مطالعه حاضر، بررسی اثر شیب وجوه بالادست و پایین دست سرریز گابیونی بر تغییرات فاکتور کاهش دبی جریان مستغرق می باشد، ۱۶ مدل سرریز ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. بدین ترتیب، هر یک از زوایای وجوه بالادست و

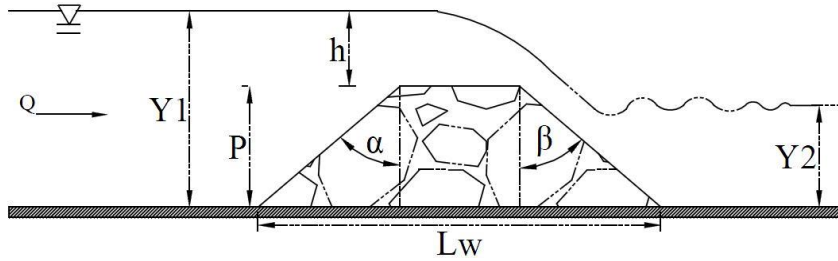


Fig. 1- Broad Crested Gabion Weir with upstream and downstream slopes

شکل ۱- سرریز لبه پهن گابیونی با شیب بالادست و پایین دست

جدول ۱- اطلاعات هندسی مدل های ساخته شده در آزمایشگاه

Table 1- Geometry of laboratory weir models

P(cm)	L _w (cm)	Upstream slope(U)	Downstream slope(D)	Symbol
		(α°)	(β°)	
18	24	30	0	G-U _{II} D _I
18	24	0	30	G-U _I D _{II}
18	34	30	30	G-U _{II} D _{II}
18	41	45	30	G-U _{III} D _{II}
18	54	60	30	G-U _{IV} D _{II}
18	32	45	0	G-U _{III} D _I
18	32	0	45	G-U _I D _{III}
18	41	30	45	G-U _{II} D _{III}
18	49	45	45	G-U _{III} D _{III}
18	61	60	45	G-U _{IV} D _{III}
18	44	60	0	G-U _{IV} D _I
18	44	0	60	G-U _I D _{IV}
18	54	30	60	G-U _{II} D _{IV}
18	61	45	60	G-U _{III} D _{IV}
18	74	60	60	G-U _{IV} D _{IV}
18	15	0	0	G-U _I D _I

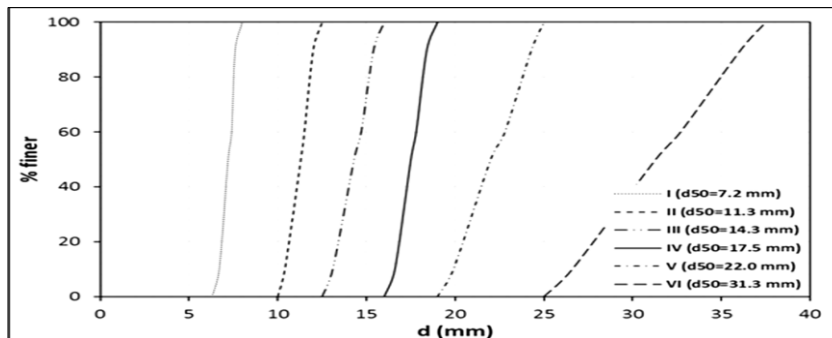


Fig. 2- Aggregate degradation of gabion weir materials in this study

شکل ۲- نمودار دانه بندی مصالح مورد استفاده در مدل سرریزهای گابیونی مطالعه حاضر

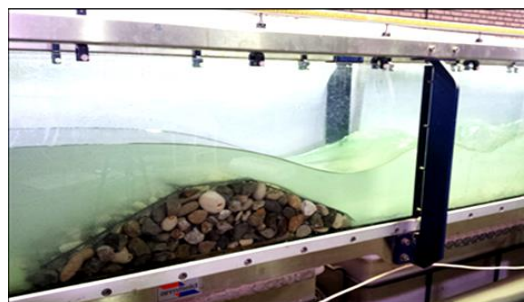


Fig. 3-Three dimensional view of submerged weir

شکل ۳- نمایی سه بعدی از سرریز گابیونی در شرایط جریان مستغرق

قرائت عمق شامل یک مرحله آزاد و شش مرحله مستغرق، ۷۰ آزمایش بود، و با در نظر گرفتن ۱۶ مدل سرریز و شش نوع دانه بندی مختلف مصالح گابیون، در مجموع ۶۷۲۰ آزمایش انجام شده است. به همین دلیل گفته شد که دبی جریان آزاد مربوط به آزمایش‌های مستغرق متناظر با دبی حالت آزاد در عمق سراب برابر می‌باشد و بر همین اساس، رابطه دبی-اشل حالت آزاد با محدوده عمق‌های سراب لازم نیز با انجام آزمایش‌های مقدماتی استخراج شده است. نتایج ارایه شده در ادامه متن، به بررسی تأثیر اندازه مصالح، تغییرات شیب بالادست و پایین‌دست سرریز و نسبت استغراق بر تغییرات فاکتور کاهش دبی سرریز گابیونی در شرایط مستغرق می‌پردازد.

نتایج و بحث

بررسی تغییر اندازه مصالح سنگی بر فاکتور کاهش دبی در شرایط جریان مستغرق

با گردآوری و تحلیل نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها، ابتدا نمودارهای بی‌بعد، η ، فاکتور کاهش دبی در مقابل، Y_2/Y_1 ، نسبت عمق آب پایین‌دست به عمق آب بالادست سرریز برای تمام مدل‌ها رسم گردید. بخشی از این نمودارها به عنوان نمونه برای تعدادی از مدل‌های سرریز گابیونی در شکل (۵) ارایه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده معلوم شد که با افزایش پارامتر (Y_2/Y_1) ، میزان فاکتور کاهش دبی در ابتدا با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. سپس این روند نزولی، شیب تندتری به خود می‌گیرد. با تطابق نتایج نمودار و رویدادهای آزمایشگاهی، مشخص می‌گردد که وقوع شیب تندتر در منحنی ذکر شده، مربوط به تغییر حالت جریان از آزاد به شرایط مستغرق بوده که شروع آن با حد مدولار رقم می‌خورد. هم‌چنین مقایسه نمودار مربوط به اقسام دانه‌بندی مصالح، مبین آن است که تغییر اندازه مصالح بر مقدار فاکتور کاهش دبی اثری قابل توجه ندارد.

از این نقطه به بعد، بستن دریچه و افزایش عمق پایاب سرریز، شرایط جریان ورودی و عمق سراب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طوری که منجر به افزایش عمق سراب و کاهش دبی می‌شود. تصاویر ارایه‌شده در شکل (۴)، مراحل تبدیل شدن جریان از حالت آزاد به حالت مستغرق را نمایش می‌دهد.

مرور مطالعات گذشته در این زمینه نشان می‌دهد که به منظور برآورد دبی جریان مستغرق در مقایسه با دبی جریان آزاد سرریزی، فاکتور کاهش دبی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهداف مطالعه حاضر، ایجاد جریان آزاد یک قرائت محسوب شده و افزایش عمق پایاب از لحظه وقوع آستانه تا رسیدن به استغراق کامل که طی آن سطح آب دو طرف سرریز تقریباً برابر می‌شود، در شش مرحله انجام شده است. مقدار فاکتور کاهش دبی برای هر یک از مراحل استغراق با استفاده از رابطه (۲)، محاسبه شده است.

آزمایش‌ها با ده دبی مختلف شامل محدوده تغییرات ده تا ۳۰ لیتر بر ثانیه انجام شده است. در آزمایش مربوط به هر دبی جریان، ابتدا شرایط آزاد تنظیم می‌شود. سپس با بستن تدریجی دریچه، اطلاعات مربوط به ایجاد آستانه استغراق ثبت می‌گردید. پیش از این، اشاره شد که افزایش عمق پایاب پس از وقوع حد آستانه به افزایش عمق سراب و در نتیجه کاهش دبی عبوری منجر شده و تا رسیدن به شرایط استغراق کامل، این روند ادامه می‌یافت. در هر مرحله از شرایط استغراق، عمق‌های سراب و پایاب اندازه‌گیری می‌شد. دبی تنظیم‌شده در ابتدای آزمایش به عنوان دبی مستغرق کلیه مراحل پس از ایجاد حد مدولار تلقی شده و در محاسبه فاکتور کاهش دبی منظور می‌شد. عمق سراب در هر یک از مراحل استغراق از حالت آستانه تا حالت کامل که شامل شش مرحله بوده است، قرائت شده و دبی متناظر با هر یک از این عمق‌ها در شرایط جریان آزاد که رابطه دبی-اشل مربوط به آن پیش از انجام آزمایش‌های مستغرق به دست آمده بود، نیز به عنوان دبی جریان آزاد در محاسبه فاکتور کاهش دبی مورد استفاده قرار می‌گرفت.

بنابراین تعداد آزمایش‌های مربوط به یک مدل سرریز دارای قطر مصالح مشخص و در دبی‌های مختلف با احتساب هفت مرحله

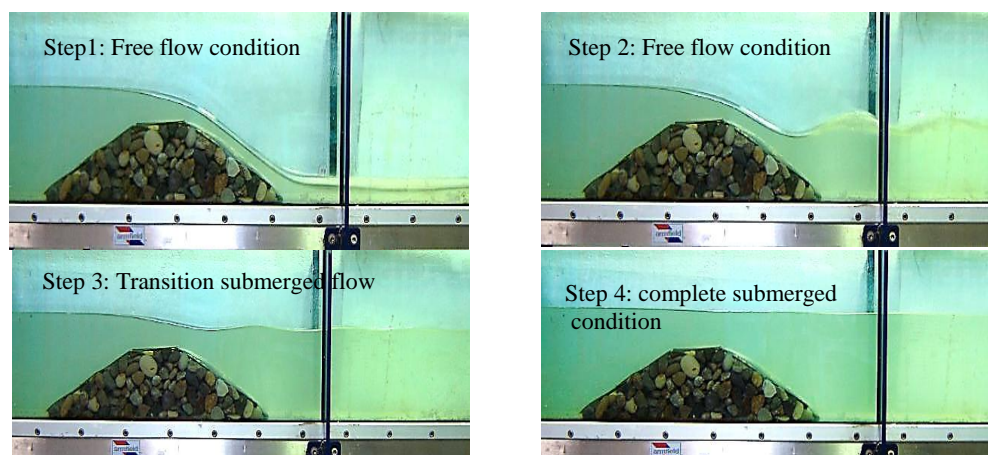
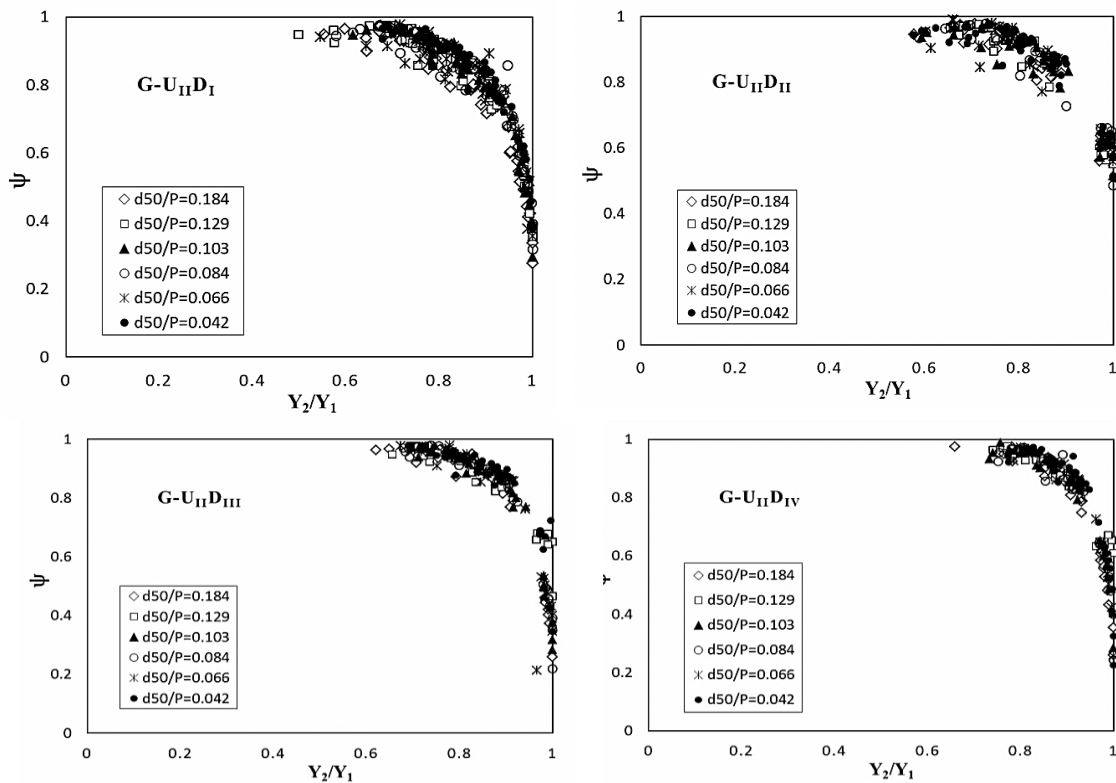


Fig. 4-Transition of free flow to submerged flow

شکل ۴- مراحل تبدیل جریان از حالت آزاد به مستغرق



شکل ۵- تغییرات فاکتور کاهش دبی (ψ) به نسبت (Y_2/Y_1) مدل های گابیونی مختلف با اندازه مصالح مختلف

Fig. 5- Relation of discharge decrease factor (ψ) with (Y_2/Y_1) for different upstream and downstream

جدول ۲- مقادیر ثابت a و b به همراه ضریب تعیین برای هر مدل سرریز

Table 2- Regression coefficient R^2 and constant of a and b for different models

No.	Weir model	a	b	R^2
1	G-U _I D _I	2.86	0.16	0.56
2	G-U _I D _{II}	5.53	0.25	0.63
3	G-U _I D _{III}	5.79	0.25	0.64
4	G-U _I D _{IV}	7.09	0.24	0.74
5	G-U _{II} D _I	4.72	0.24	0.81
6	G-U _{II} D _{II}	3.22	0.15	0.12
7	G-U _{II} D _{III}	3.56	0.14	0.91
8	G-U _{II} D _{IV}	8.03	0.25	0.78
9	G-U _{III} D _I	4.07	0.22	0.70
10	G-U _{III} D _{II}	4.15	0.18	0.67
11	G-U _{III} D _{III}	3.94	0.13	0.12
12	G-U _{III} D _{IV}	9.77	0.30	0.78
13	G-U _{IV} D _I	4.43	0.21	0.77
14	G-U _{IV} D _{II}	6.01	0.25	0.85
15	G-U _{IV} D _{III}	6.44	0.26	0.79
16	G-U _{IV} D _{IV}	7.01	0.20	0.23

$$\varphi = \left(1 - \frac{Y_2}{Y_1}\right)^a \quad (3)$$

در این مطالعه نیز به منظور استخراج توان‌های ثابت معادله، از رگرسیون غیرخطی استفاده شده و به کمک نرم‌افزار spss، رابطه (۳) به دست آمد. پارامترهای موجود در این رابطه، قبلاً معرفی شده

استخراج رابطه فاکتور کاهش دبی جریان مستغرق

با توجه به مرور منابع انجام شده، به منظور پیش‌بینی فاکتور کاهش دبی در حالت مستغرق، یک معادله ریاضی به فرم کلی رابطه (۳)، پیشنهاد شده است.

استغراق به بعد مشاهده کرد. همچنین با افزایش شیب پایین دست، ضریب تخلیه جریان نیز افزایش می‌یابد.

بررسی پروفیل سطح آب در حالت جریان مستغرق

در این بخش، برای بررسی پروفیل سطح آب ابتدا از طریق نرم افزار Digitizer و انتقال نتایج قرائت عمق آب در این نرم افزار به اکسل، نمودارهای آن‌ها ترسیم گردید. پروفیل سطح آب ترسیم شده به کمک نرم افزار در شکل (۷) نمایش داده شده است. از طرفی به منظور نمایش اثر هر یک از مراحل استغراق بر پروفیل سطح آب، مراحل تبدیل شدن حالت جریان آزاد به حالت مستغرق در دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه برای حداقل و حداکثر قطر متوسط مصالح گابیون به ترتیب برابر با ۷/۲ و ۳۱/۲ میلی متر در شکل (۸) نمایش داده شده است. با افزایش عمق نسبی از حالت آزاد به آستانه استغراق می‌رسیم که با خط پیوسته نشان داده شده است.

است. ضرایب a و b ، مقادیر ثابت معادله به شمار می‌روند که مقدار هر یک از آن‌ها برای کلیه مدل سرریزهای مورد آزمایش، به همراه ضریب تعیین، R^2 ، مربوط به هر رابطه استخراج و در جدول (۲) آورده شده است.

بررسی تأثیر شیب وجوه بالادست و پایین دست سرریز بر فاکتور کاهش دبی جریان مستغرق

در این بخش، ابتدا مقدار فاکتور کاهش دبی با استفاده از رابطه (۳) در شرایط جریان مستغرق به دست آورده شد، سپس مقادیر محاسبه شده به صورت گراف‌هایی نسبت به پارامتر بی بعد (Y_2/Y_1) در شکل (۶) ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عمق نسبی، در ابتدا فاکتور کاهش دبی با شیب ملایمی کاهش یافته و سپس این مقدار با شیب تندتری در چهار مدل به صورتی مشابه کاهش می‌یابد که این شیب تندتر را می‌توان از حالت آستانه

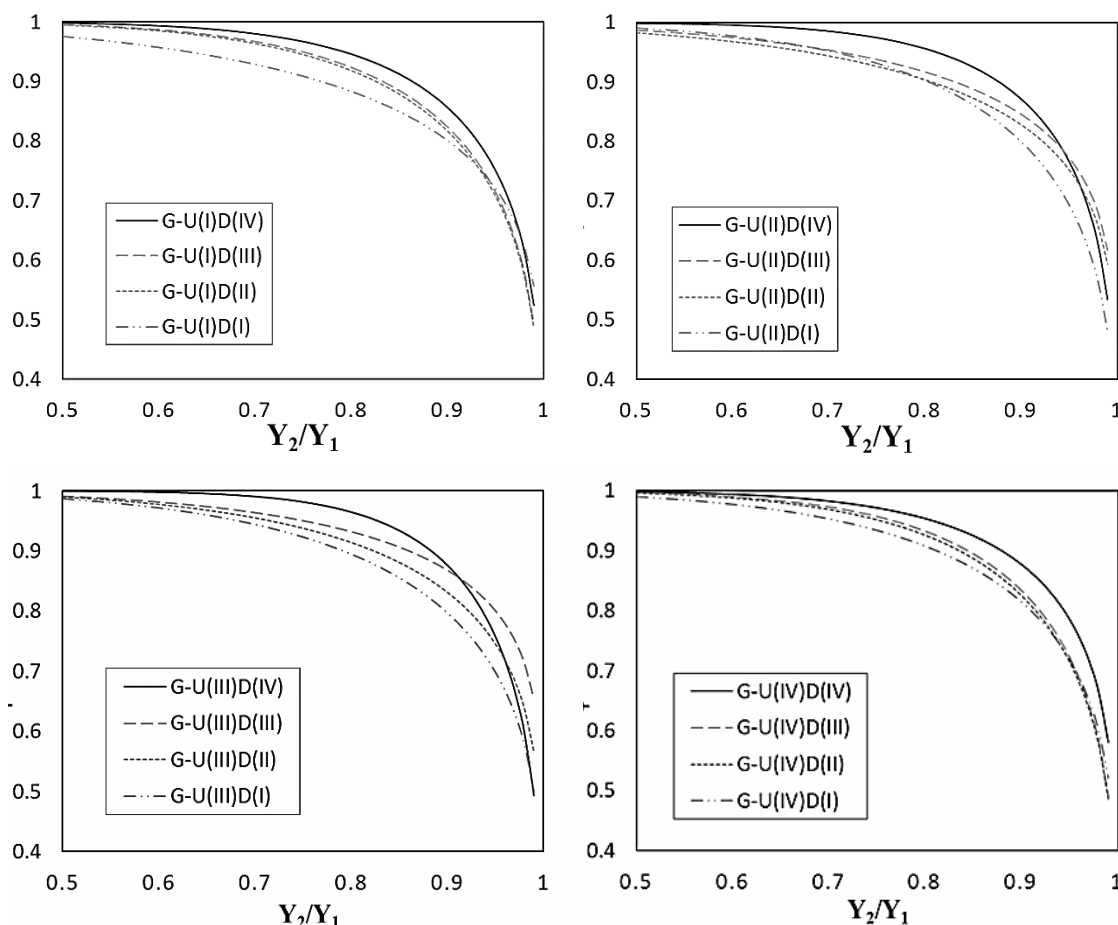


Fig. 6-Relation of (ψ) with (Y_2/Y_1) for different up and downstream slopes

شکل ۶- نمودار تغییرات فاکتور کاهش دبی نسبت به (Y_2/Y_1) برای شیب‌های مختلف



Fig. 7- Drawing of flow profile using Digitizer
 شکل ۷- نحوه رسم پروفیل سطح آب با استفاده از نرم افزار Digitizer

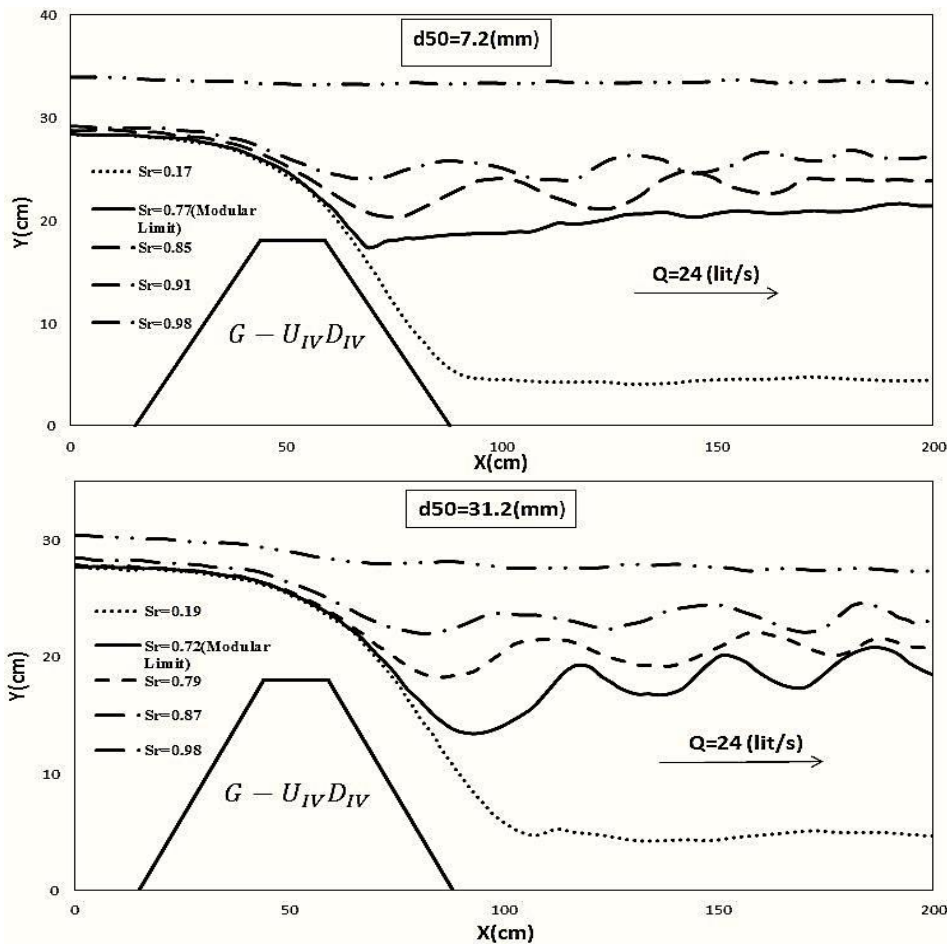


Fig. 8- Water surface profiles and transition of free to submerged flows
 شکل ۸- بررسی پروفیل سطح آب و مراحل تبدیل شدن جریان آزاد به جریان مستغرق

در اثر شرایط استغراق دانست. با کاهش قطر مصالح، رقوم سطح آب افزایش می یابد که این وضعیت به دلیل باریک شدن لوله های جریان در میان سرریزهای گابیونی ایجاد می شود.

از مقایسه نمودارها با یکدیگر درمی یابیم که سرریز گابیونی با شیب بالادست و یا پایین دست نسبت به حالت سرریز گابیونی بدون شیب بالادست یا پایین دست پروفیل سطح آب پایین تری دارد و برای حالت دو طرف شیب دار این کاهش پروفیل بیشتر از دو حالت

از این مرحله به بعد، پروفیل سطح آب به حالت موجی تبدیل می شود. مجدداً با افزایش عمق نسبی، شرایط استغراق کامل روی می دهد. در این حالت که درپچه نیمه باز بوده، ارتفاع و طول موج بلندتر و به تدریج با بستن درپچه، رو به کاهش می گذارند. در نهایت با بستن کامل درپچه، سطح آب دو طرف سرریز برابر می شود. موج سطحی را می توان ناشی از برخورد جریان ورودی از بالادست با سرعت عبور بیشتر و جریان با سرعت کمتر در پایین دست سرریز

سرریز در (Y2/Y1) بیشتری به آستانه استغراق می‌رسد. همچنین تغییر اندازه متوسط مصالح بر فاکتور کاهش دبی تاثیر قابل توجهی ندارد. اما پروفیل سطح آب به دلیل کاهش اندازه متوسط مصالح افزایش می‌یابد که باریک شدن لوله‌های جریان در میان سرریز گابیونی و افزایش اصطکاک میان مولکول‌های آب و مصالح مدل، عامل ایجاد این شرایط می‌شود. بررسی پروفیل سطح آب در حالت مستغرق نشان می‌دهد که با افزایش اندازه متوسط مصالح، سرریز با سطح آب پایین‌دست یا نسبت (Y2/Y1) کمتری به حالت آستانه استغراق می‌رسد. این بدان معناست هرچه که اندازه متوسط مصالح افزایش یابد، سرریز دیرتر به آستانه می‌رسد. در نهایت با رگرسیون غیرخطی، رابطه (۳) با ضریب تعیین ۰/۱۲ تا ۰/۹۱ جهت محاسبه فاکتور کاهش دبی ارائه شده است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نگارندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز به پاس فراهم آوردن امکان این تحقیق و همچنین از قطب علمی بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای تهیه بخشی از اطلاعات تشکر و قدردانی می‌نمایند.

قبل اتفاق می‌افتد، یعنی سرریز با داشتن شیب بالادست و پایین‌دست قدرت انتقال جریان بیشتری را پیدا می‌کند که به دنبال این انتقال، کاهش سطح پروفیل آب روی می‌دهد.

نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه بررسی اثر شیب بالادست و پایین‌دست سرریزهای گابیونی لبه پهن بر فاکتور کاهش دبی در شرایط مستغرق، ارائه رابطه پیش‌بینی کننده فاکتور کاهش دبی و تاثیر تداخل مصالح سرریزهای گابیونی لبه پهن بر فاکتور کاهش دبی در شرایط مستغرق می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه بالادست و پایین‌دست سرریز نسبت به راستای عمود فاکتور کاهش دبی افزایش می‌یابد. در مدل‌های مختلف اگر شیب بالادست ثابت در نظر گرفته شود، آنگاه با افزایش شیب پایین‌دست، عمق آب پایین‌دست دیرتر بر عمق بالادست تاثیر می‌گذارد. به عبارتی دیگر با افزایش شیب پایین‌دست سرریز در (Y2/Y1) بیشتری به آستانه استغراق می‌رسد. همچنین اگر شیب پایین‌دست ثابت در نظر گرفته شود، با افزایش شیب بالادست، عمق آب پایین‌دست دیرتر بر عمق بالادست تاثیر می‌گذارد، به عبارتی دیگر با افزایش شیب بالادست،

References

- 1-Ansar, M. and Castro, G., 2003. Submerged weir flow at prototype gated spillway. In *World Water and amp Environment Resource Congress 2003, ASCE*.
- 2-Azimi, A. M. and David, Z., 2013. Discharge characteristics of weir of finite crest length with upstream and downstream ramps. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139, pp. 75-83.
- 3-Chanson, H., 2006. Discussion of discharge through a permeable rubble mound weir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(4), pp. 432-434.
- 4-Farhoudi, J., Goudarzi, A. and Shokri, N., 2007. The effect of sloping upstream of rectangular broad crested weir on discharge coefficient and flow characteristics. In *6th Iranian Hydraulic Conference, Sharekord University, Iran*.
- 5-Fathi Moghadam, M., Tavakol Sadrabadi, M. and Rahmanshahi, M., 2018. Numerical simulation of the hydraulic performance of triangular and trapezoidal gabion weir in free flow condition. *Flow Measurement and Instrumentation*, 62, pp. 93-104.
- 6-Hager, W. H., and Schwalt, M. 1994. Broad-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(1), pp. 13-26.
- 7-Kells, J. A., 1993. Spatially varied flow over rockfill embankment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20, pp. 820-827.
- 8-Kheyraei, M. and Fathi Moghadam, M., 2016. Hydraulic characteristics of the crump gabion weirs for free flow condition. *Journal Measurement System*, 9(29), pp. 75-86. (In Persian).
- 9-Leu, J. M., Chan, H. C., and Chu, M. C., 2008. Comparison of turbulent flow over solid and porous structures mounted on the bottom of a rectangular channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(6), pp. 331-337.
- 10-Li, B., and Garga, V. K., 1998. Theoretical solution for seepage flow in overtopped rockfill. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(4), pp. 213-217.

-
- 11-Michioku, K., Maeno, S., Furusawa, T., and Haneda, M. 2005. Discharge through a permeable rubble mound weir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(1), pp. 1-10.
- 12-Michioku, K., Takehara, K., and Etoh, T. 2007. An experimental study on flow field in and around rubble mound river structures. *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, 25(2), pp. 37-45.
- 13-Mohamed, H. I., 2010. Flow gabion weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(8), pp. 573-577.
- 14-Sargison, J. E., and Percy, A. 2009. Hydraulic of broad-crested weirs with varying side slopes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), pp. 115-118.
- 15- 15-Shariq. A., Hussain, A., and Ahmad, Z., 2020. Discharge equation for the gabion weir through flow condition. *Flow Measurement and Instrumentation*, 74, 101769.