



Determination of Discharge Coefficient in Ogee Spillways and Investigation the Effects of Submergence, Upstream Slope and Apron Elevation on Its Variations

P. Heidary, F. Salmasi* , H. Arvanaghi

Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT: Discharge over the ogee spillway is related to the length of crest, upstream total head, and discharge coefficient. Also, the discharge coefficient is influenced by several factors. In this study, some parameters that are affecting the discharge coefficient in ogee weir are investigated. These are ogee spillway upstream slope, apron elevation, and downstream submergence. In this regard, some ogee spillway physical models were fabricated. These models include (1) ogee spillway with vertical upstream face, (2) ogee spillway with inclined upstream face (18, 33, and 45 degrees), (3) ogee spillways with downstream apron elevations (3, 5, 7, and 10 cm thickness) in free flow, and (4) ogee spillway with the vertical upstream slope in submerged flow condition. Results showed that in all the ogee weirs, the discharge coefficient (C) increases with increasing (P/H_e) and then remain constant. The value of the discharge coefficient decreased from 2.25 (in free flow) to 2.15 (in submerged flow). For a constant value of head over ogee spillways (H_e), the discharge coefficient decreased with increasing downstream apron elevation and submergence. The relative discharge coefficient had a constant trend at the beginning with parameter (hd/H_e), then it had a decreasing trend. The threshold value for submergence (hd/H_e), was 0.75 in the ogee spillway in this study. With increasing relative submergence (hd/H_e) from 0.75 to 1, the relative discharge coefficient (C_s/C_0) decreased from 0.88 to 0.24.

Review History:

Received: Oct. 20, 2019

Revised: Nov. 30, 2019

Accepted: Jan. 09, 2020

Available Online: Jan. 29, 2020

Keywords:

Ogee spillway

Discharge coefficient

Upstream slope

Downstream apron elevation

Free and submerged flow

1. INTRODUCTION

In dams, spillways are hydraulic structures that are built to convey the excess flow from floods that are extra from dam capacity. Spillways should be strong, reliable, and high-performance structures to prevent severe damages. Therefore, the design and construction of dam spillways are very important. If a dam spillway is correctly designed and constructed, flood risks can be prevented by proper management when a flood occurs [1]. Spillways are made in different types, and this can be attributed to geological, hydraulic, project site topography, and most importantly economic costs. The most common spillway that is capable of passing large amounts of water on its own is the ogee spillway. These spillways are often used in diversion dams due to their high hydraulic efficiency [2]. Tullis and Neilson investigated the performance of the submerged ogee spillway and its stage-discharge relationship [3]. Tullis evaluated the changes of the ogee spillway discharge coefficient [4]. Shamsi *et al.* investigated the discharge coefficient (C_d) of cylindrical weirs and its capability of inflow energy dissipation. The results showed that in the H/D range between 0.15 and 2, the discharge coefficient varies from 1 to 1.4 [5]. Sheikh Kazemi and Saneie studied the effect of the approaching channel velocity on the weir discharge coefficient with axial arch and convergent walls [6]. Eshrati *et al.*, studied the physical

model of an arc plan weir as well as normal (perpendicular to flow) weir with similar geometrical and hydraulic conditions to investigate the discharge coefficient variations [7]. Salmasi (2018) studied the effect of downstream apron elevation and downstream submergence in the discharge coefficient of ogee weir [8]. In that study, Salmasi (2018) used classic regression equations as well as artificial intelligence methods.

A review of previous studies showed that the effects of ogee spillway upstream slope, downstream apron elevation, and weir submergence on discharge coefficient, have been less carried out in ogee spillway. Therefore, in the present study, the effects of these three factors on the discharge coefficient of ogee spillway were investigated by constructing physical models of ogee spillway in laboratory dimensions. For this purpose, dimensional analysis of the effective parameters on the discharge coefficient was identified and the results of the experiments were analyzed using dimensionless forms.

2. MATERIAL AND METHODS

The experiments were conducted in the hydraulic laboratory of the water engineering department, University of Tabriz, Iran. A Laboratory flume was a rectangular shape 10 meters long, 25 cm wide, and 50 cm high that is made of metal with glass walls. This flume is located on a chassis 110 cm above the ground and has a constant slope of 0.002. The flume also has been equipped with a series of parallel plates

*Corresponding author's email: Salmasi@Tabrizu.ac.ir



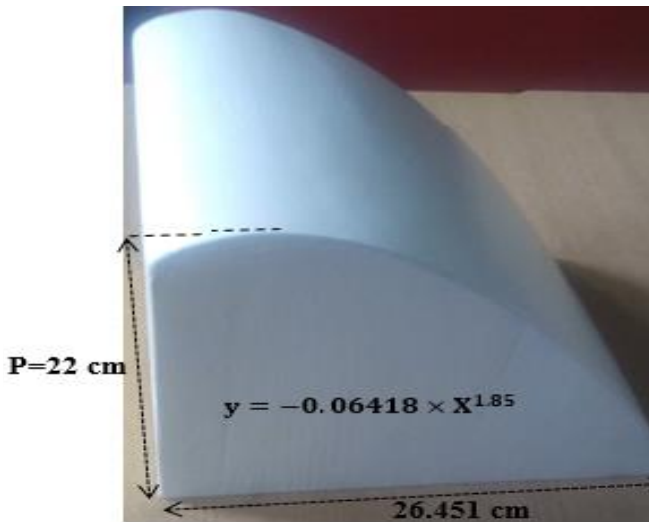


Fig. 1. A view of an ogee spillway used in the experiments

upstream. Therefore, it decreases the turbulence of the inlet flow to the flume and increases the accuracy of water depth measurement. Excess water, overflow when necessary, and return to the main tank through pipes. The maximum flow rate in the flume was 40 l/s and the flow discharge in this range was accurately adjustable by the valve at the beginning of the flume.

The ogee spillway profile was designed and developed by the US Bureau Reclamation (USBR) and with the discharge of 11 l/s. The spillway body was built with wood (Fig. 1), the downstream apron was made with polyethylene, and the three pieces of MDF wood with a thickness of 8 mm. The model was inserted into the flume and then a special adhesive was used to seal it. In each experiment, after determining the desired conditions, upstream water level, downstream

water depth, and discharge were determined. Then, using the upstream total water head, the total discharge, and the spillway width, the discharge coefficient was determined.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figs. 2 and 3 show that for all ogee spillways in different states, the discharge increases with increasing in upstream water head (H_e).

The results showed that the maximum discharge coefficient for vertical upstream face is about 2.25 whereas, its maximum value for sloping faced spillway is about 1.9 (Fig. 4). In the word, the slope of the spillway face reduces the discharge coefficient by an average of 12%.

According to Fig. 5, it can be concluded that by increasing the apron elevation downstream of the spillway, the discharge coefficient reduces.

According to the results, as the ratio (p/H_e) increases, the value of the relative discharge coefficient (C_d/C_0) initially has a constant trend until it reaches (p/H_e)=1.4. Then it has a downward trend and then it reaches (p/H_e)=1.9, and it has a constant trend. In this range, the value of C_d/C_0 reached an approximate value of 0.985.

The results showed that in the range of $p/H_e=1.2$ to $p/H_e=1.7$, the value of C_d for 18 degrees spillway is lower than that of the other slopes (Fig. 6).

4. CONCLUSION

The results showed that variations in discharge coefficient (C_d) with parameter P/H_e in all spillways initially increased, and then reached an almost constant value. However, this increase was lower for the vertical upstream face. This indicates that upstream face slope or downstream submergence decreases the discharge coefficient. Spillway with 3 cm apron elevation had the lowest decrease in C_d and spillway with

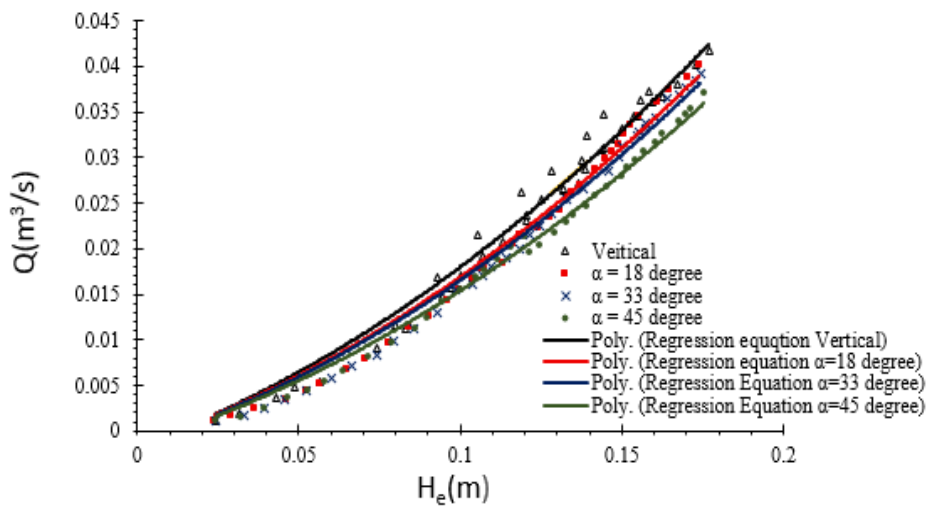


Fig. 2. Variation of H_e against Q in the ogee spillways with vertical upstream face and inclined upstream face

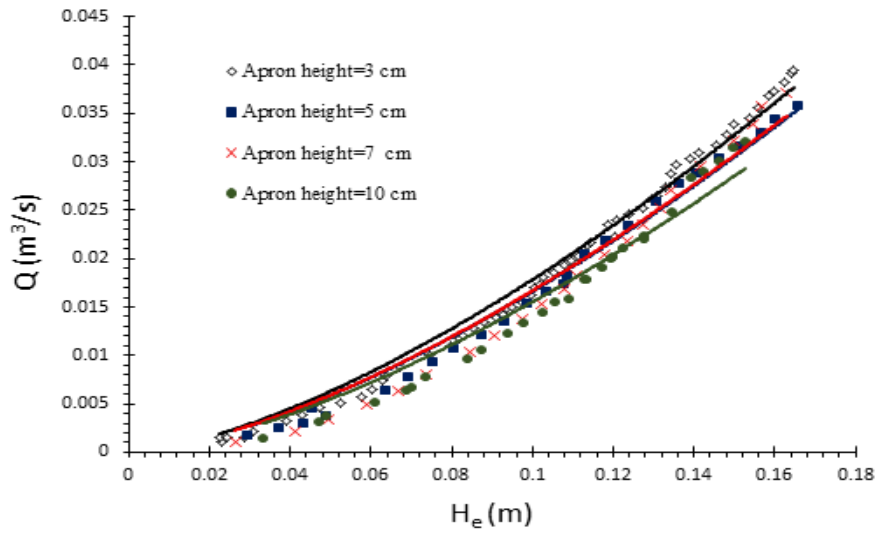


Fig. 3. Variation of H_e against Q in the ogee spillways with different downstream apron heights

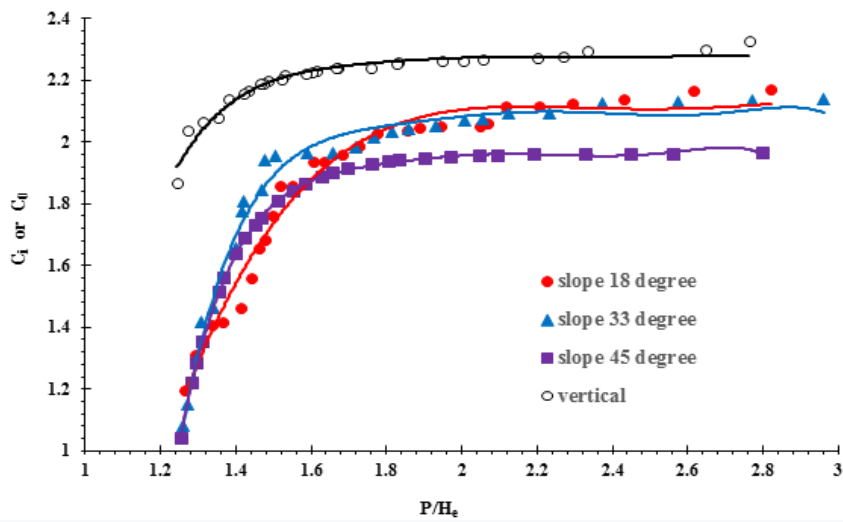


Fig. 4. Variation of discharge coefficient (C_d) against dimensionless parameter p/H_e

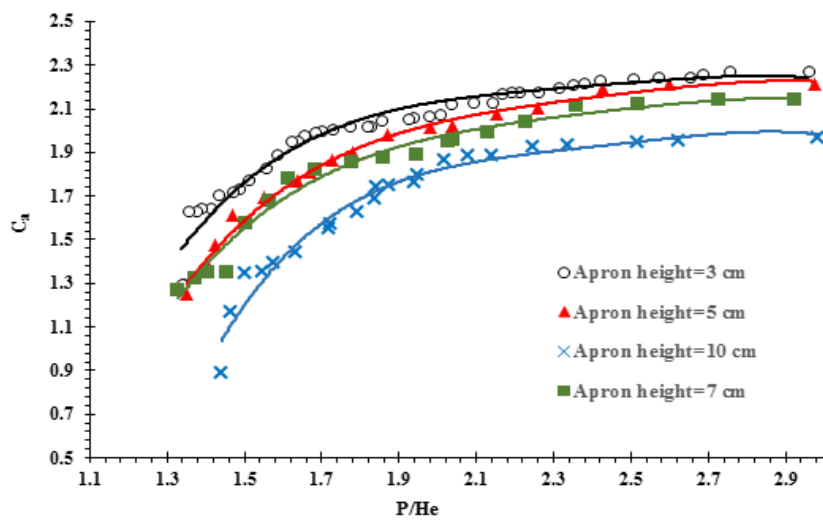


Fig. 5. Variation of discharge coefficient (C_a) against dimensionless parameter p/H_e

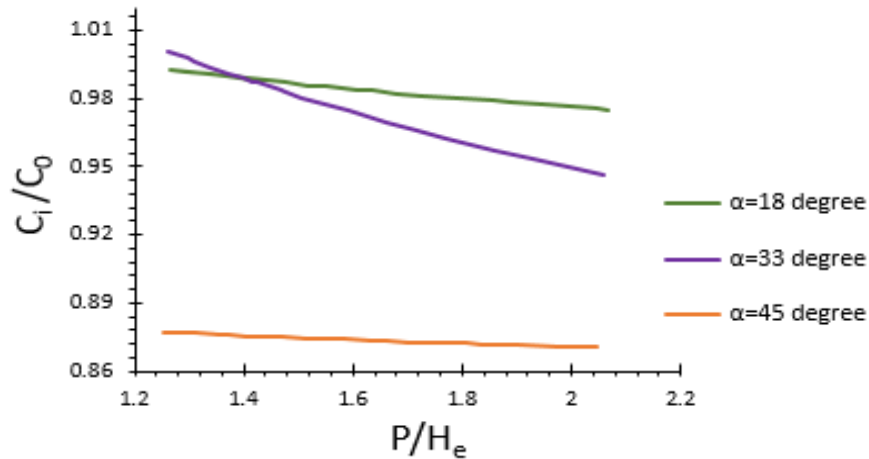


Fig. 6. Comparison of changes in the relative discharge coefficient ($\frac{C_1}{C_0}$) against dimensionless Parameter p/H_e .

10 cm apron thickness had the highest decrease in C_d . The discharge coefficient decreased with increasing submergence rates. The threshold value for submergence (h_d/H_e), was 0.75 in the ogee spillway in this study. With increasing relative submergence (h_d/H_e) from 0.75 to 1, the relative discharge coefficient (C_s/C_0) decreased from 0.88 to 0.24.

REFERENCES

- [1] W. Boiten, Environmental Research Instruments. Venturi gate, Adjustable gate for discharge measurement and fish migration, Elsevier, 13(6) (2002) 203-207.
- [2] M. Mahmoudian Shooshtari, Principles of flow in open channels. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. First Edition. (2009). Volume II 508 pages.
- [3] B.P. Tullis, and J. Neilson, Performance of Submerged Ogee-Crest Weir Head-Discharge Relationships, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 134(4) (2008) 486-491.
- [4] B.P. Tullis, Behavior of Submerged Ogee Crest Weir Discharge Coefficients, Journal of irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 137(10) (2011) 677-681.
- [5] Z. Shamsi, A. Parsaie and A.H. Haghiabi, Optimum hydraulic design of cylindrical weirs. ISH Journal of Hydraulic Engineering: 1-5. doi: 10.1080/09715010.2019.1683474 (2019).
- [6] J. Sheikh Kazemi, and M. Saneie, The Effect of Approach Channels on the Discharge of Ogee Spillway in the Axial Arc Condition with Convergent Sidewalls, Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST), 22(2) (2014) 119-123.
- [7] T. Eshrati, R. Fazloul, M. Sanei, A. Emadi, Laboratory Study of Hydraulic Performance of Ogee Spillway and Downstream Canal with Axial Arc, Journal of Water and Soil, 9(4) Sept.-Oct (2015) 874-885.
- [8] F. Salmasi, Effect of downstream apron elevation and downstream submergence in discharge coefficient of Ogee weir, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 2018, DOI: 10.1080/09715010.2018.1556125.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

P. Heidary, F. Salmasi, H. Arvanaghi, Determination of Discharge Coefficient in Ogee Spillways and Investigation the Effects of Submergence, Upstream Slope and Apron Elevation on Its Variations, Amirkabir J. Civil Eng., 53(7) (2021) 597-600.

DOI: [10.22060/ceej.2020.17257.6503](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17257.6503)





تعیین ضریب دبی سرریز اوجی و مطالعه اثرات استغراق، شیب بالادست و ارتفاع کف بند بر میزان تغییرات آن

پروانه حیدری، فرزین سلماسی*، هادی ارونقی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۱/۰۹

کلمات کلیدی:

سرریز اوجی

ضریب دبی

شیب بالادست

ارتفاع کف بند پایین دست

جریان آزاد و مستغرق

خلاصه: دبی جریان عبوری از روی سرریز اوجی به طول سرریز، بار آبی بالادست و ضریب دبی جریان بستگی دارد. عوامل متعددی نیز بر ضریب دبی جریان اثر می گذارند. در این پژوهش، به بررسی برخی از پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز اوجی مانند: شیب وجه بالادست، ارتفاع کف بند و استغراق پایین دست پرداخته شده است. بدین منظور، مدل های فیزیکی از سرریز اوجی ساخته شد. این مدل ها دارای شیب متفاوت در وجه بالادست (وجه قائم و شیب های ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه)، دارای ارتفاع کف بند متفاوت ۳، ۵، ۷ و ۱۰ سانتی متری در پایین دست در حالت جریان آزاد و سرریز اوجی دارای شیب وجه قائم بالادست ولی در حالت مستغرق می باشند. نتایج نشان داد که برای همه سرریزها، ضریب دبی با افزایش پارامتر P/H_e ابتدا سیر صعودی داشته و سپس روند ثابتی دارد. مقدار ضریب دبی از حدود ۲/۲۵ در حالت جریان آزاد به ۲/۱۵ در حالت جریان مستغرق کاهش می یابد. به ازای یک بار آبی (H_e) معین، سرریزهای دارای کف بند و حالت مستغرق، میزان دبی کمتری از خود عبور می دهند. همچنین با استغراق سرریز با شیب وجه قائم بالادست، نحوه ی تغییر ضریب دبی نسبی با پارامتر $(\frac{h_d}{H_e})$ ، ابتدا روند ثابتی داشته و سپس کاهش یافته است. آستانه ی استغراق (h_d/H_e) در این پژوهش برای این سرریز ۰/۷۵ می باشد و با افزایش نسبت استغراق (h_d/H_e) از حدود ۰/۷۵ تا ۱، ضریب دبی نسبی (C_p/C_0) از ۰/۸۸ به ۰/۲۴ کاهش می یابد

۱- مقدمه

و در عین حال ارزان ترین سرریزی که توانایی عبور مقدار زیادی آب از روی خود را دارد، سرریز اوجی است. این سرریزها اغلب در سدهای انحرافی به دلیل راندمان هیدرولیکی زیاد استفاده می شوند [۳]. پروفیل سرریز از نوع پیوندی (اوجی) بوده و به نحوی است که سطح مربوط به بخش بالایی آن با پروفیل تیغه زیری جت آزاد آب در سرریز لبه تیز مطابقت دارد. انتهای پایین دست سرریز می تواند به شکل یک منحنی معکوس طراحی شود تا جریان را به صورت آرامتر به ابتدای کف بند حوضچه آرامش هدایت نماید. این سرریز برای دره های عریض جایی که طول تاج می تواند به اندازه کافی انتخاب شود، مناسب می باشد [۲].

تولیس و نیلسون^۱ [۱۰]، عملکرد سرریز اوجی مستغرق و روابط

در سدها، سرریزها از جمله سازه های هیدرولیکی هستند که برای عبور سیلاب های اضافه بر ظرفیت سدها ساخته می شوند. سرریزها باید سازه ای قوی و مطمئن و با کارایی بالا باشند تا از آسیب دیدگی شدید سد و تخریب آن جلوگیری نمایند. از این رو طراحی و ساخت سرریز سدها از اهمیت بالایی برخوردار است.

اگر سرریز یک سد به درستی محاسبه و احداث شود، هنگام وقوع سیل، با مدیریت صحیح می توان از خطرات سیل جلوگیری نمود [۴]. سرریزها در انواع متفاوتی ساخته می شوند و علت این امر را می توان ناشی از مشخصات ژئولوژیکی، هیدرولیکی، محل احداث پروژه و از همه مهم تر هزینه های اقتصادی ذکر کرد. معمول ترین

* نویسنده عهده دار مکاتبات: Salmasi@Tabrizu.ac.ir

1 Tullis and Neilson



به کاهش طول منطقه غیر هوادهی و همچنین تغییر اندازه پله‌ها منجر به انتقال موقعیت محل شروع هوادهی به پایین دست می شود. پارسایی و حق آبی [۱۴] خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای پلکانی با تاج دایره‌ای (CCSS) شامل رابطه دبی-اشل، ضریب دبی (C_d) و قابلیت آنها در استهلاک انرژی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تابع پتانسیل می‌تواند از نظر ریاضی رابطه دبی-اشل CCSS را مدل کند. ارزیابی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی نشان داد که مهم ترین عامل تأثیرگذار بر C_d ، نسبت (h_{up}/R) است. ضریب دبی CCSS بین ۰/۹ تا ۱/۴ در محدوده (h_{up}/R) بین ۰/۳ تا ۲/۱ متغیر است. قابل ذکر است که از لحاظ طراحی اقتصادی بهینه ضریب دبی برابر با ۱/۳ در (h_{up}/R) ۱/۱ رخ می‌دهد. CCSS می‌تواند انرژی جریان را بین ۹۰ تا ۴۰ درصد مستهلک کند. همچنین نتایج نشان داد که در مقادیر مشخصی از شیب شوت، اندازه پله‌ها افزایش می‌یابد و عملکرد CCSS را در استهلاک انرژی جریان به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. در حالی که کاهش اندازه پله‌ها توانایی این سازه‌ها را در استهلاک انرژی جریان کاهش می‌دهد. در تعداد معینی از پله‌ها، افزایش شیب موجب کاهش استهلاک انرژی می‌شود. پارسائی و همکاران [۱۵]، ضریب دبی سرریز-دریچه استوانه‌ای را با استفاده از GMDH-PSO پیش‌بینی کردند. آن‌ها از روش گروهی پردازش داده‌ها (GMDH) آموزش داده شده با استفاده از روش بهینه سازی ازدحام ذرات برای پیش بینی ضریب دبی سرریز-دریچه استوانه‌ای استفاده کرده و عملکرد مدل GMDH تهیه شده را با شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLPNN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که همه مدل‌های توسعه یافته دارای عملکرد مناسب هستند. مدل SVM کمی دقیق‌تر بوده و نتایج حاصل از ساختارهای توسعه یافته مدل GMDH نشان داد که عدد فرود بالادست و مقدار بازشدگی دریچه به قطر سرریز-دریچه استوانه‌ای، مؤثرترین پارامترها بر روی ضریب دبی است. همچنین در طی توسعه مدل‌های SVM و MLPNN مشخص شد که عملکرد تابع پایه شعاعی به عنوان تابع کرنل و تابع سیگموئید تانژانت هیپربولیک به عنوان تابع انتقال از دقت بهتری در مقایسه با سایر توابع آزمایش شده برخوردار هستند. حق آبی و همکاران [۱۶] جریان در اطراف سرریز استوانه‌ای با ترکیبی از جریان پتانسیل یکنواخت را مورد مطالعه قرار دادند. توزیع سرعت روی تاج سرریز و ضریب دبی تخمین

دبی-اشل آن را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق ایشان چهار رابطه برای جریان مستغرق و یک رابطه برای جریان آزاد با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به منظور پیش بینی تراز آب در بالادست در شرایط استغرق، مورد ارزیابی قرار گرفت. ایشان بیان داشتند که برای درجه استغرق‌های کم تر از ۰/۸ می‌توان از رابطه دبی-اشل در حالت آزاد استفاده نمود. منظور از درجه استغرق عبارت است از $S=h_d/H_e$ که h_d فاصله عمودی بین تراز آب در پایاب با تاج سرریز و H_e بار آبی جریان آب در بالادست نسبت به تاج سرریز می‌باشند. تولیس^۱ [۹]، تغییرات ضریب دبی سرریز اوجی را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که همبستگی ضعیف بین مقادیر ضریب دبی پیش بینی شده توسط سازمان عمران آمریکا با نتایج حاصله او می‌تواند به دلیل تفاوت در مکان اندازه گیری عمق آب در پایین دست باشد. شمسی و همکاران [۱۲]، ضریب دبی (C_d) سرریزهای استوانه‌ای و قابلیت آن در استهلاک انرژی جریان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در محدوده H/D بین ۰/۱۵ تا ۲، ضریب دبی بین ۱ تا ۱/۴ تغییر می‌کند. در بازه مشابه H/D سازه‌های دیگر انرژی جریان را بین ۸۰٪ تا ۱۵٪ مستهلک می‌کنند. مقدار بهینه C_d برای طراحی با اهداف اقتصادی تقریباً برابر با ۱/۳ است که در محدوده H/D بین ۰/۵ تا ۰/۷ حاصل شد. پارسائی و حق آبی [۱۳] به بررسی محل شروع نقطه هوادهی جریان (LIPFA) در سرریز پلکانی با تاج ربع دایره‌ای (QCSS) پرداختند. برای این منظور، یک سری آزمایشات انجام شد. آنالیز ابعادی نشان داد که شیب پایین دست شوت پله‌ای، اندازه پله و دبی جریان پارامترهای مؤثر در LIPFA است. در این تحقیق، سه مقدار ۰/۱ متر، ۰/۱۵ متر و ۰/۲ متر برای شعاع تاج QCSS، ارتفاع سرریزهای پلکانی برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۸ و ۰/۱ متر و طول پله‌ها به اندازه ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به اندازه پله‌ها، چهار مقدار (۰/۳۳، ۰/۵، ۱ و ۱/۶۰) برای شوت پله‌ای پائین دست به دست آمد. تعداد پله‌ها برابر با ۸، ۱۰ و ۱۶ بود. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت جریان، فاصله LIPFA از تاج نیز افزایش می‌یابد. با نصف شدن اندازه پله‌ها، طول منطقه غیر هوادهی به بیش از ۶۰٪ افزایش می‌یابد. با افزایش یک درصدی شیب، طول منطقه هوادهی بیش از ۲۰٪ افزایش می‌یابد. به طور کلی، کاهش میزان شیب سرریز پلکانی منجر

1 Tullis

عددی، مدل های آزمایشگاهی نسبت به مدل های عددی هنوز هم برتری بالایی دارند. سلماسی [۷]، به بررسی تأثیر ارتفاع کف بند و استغراق پایین دست بر روی ضریب دبی سرریز اوجی با استفاده از داده های آزمایشگاهی تولیس [۹]، پرداخت و از دو روش رگرسیون چندگانه و روش برنامه نویسی بیان ژن (GEP) استفاده نمود. نتایج نشان داد که روش GEP نسبت به روش رگرسیون در پیش بینی ضریب دبی دقیق تر بوده است.

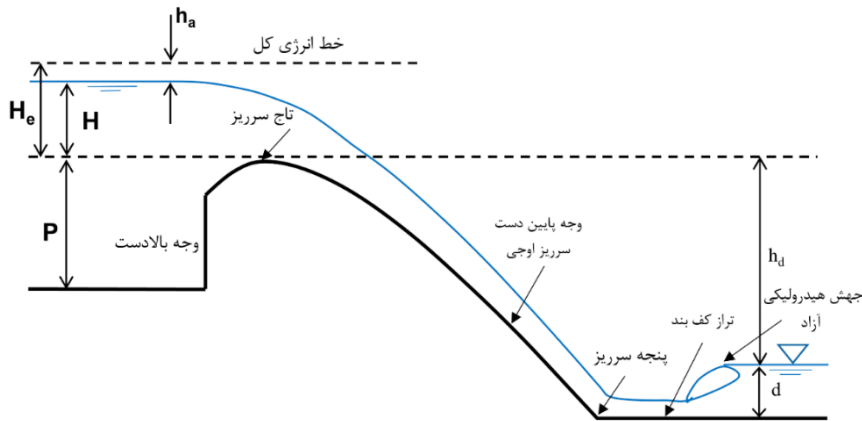
بررسی پژوهش های قبلی انجام شده نشان می دهد که بررسی اثرات شیب بالادست سرریز، ارتفاع یا تراز کف بند پایین دست و استغراق سرریز تواما بر روی ضریب دبی سرریز اوجی کم تر صورت گرفته است. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده است با ساخت مدل های فیزیکی از سرریز اوجی در ابعاد آزمایشگاهی و برقراری دبی های مختلف از روی سرریز، به بررسی اثرات سه عامل مذکور بر روی ضریب دبی سرریز اوجی پرداخته شود. برای این منظور، با استفاده از تحلیل ابعادی پارامترهای بی بعد مؤثر در ضریب دبی شناسایی و نتایج به دست آمده از آزمایش ها با ارائه شکل های بدون بعد تجزیه و تحلیل می شوند.

بنابراین اهداف و روند این پژوهش به طور کلی این صورت بیان می شوند: بررسی ضریب دبی مدل آزمایشگاهی سرریز اوجی در شرایط آزاد، اثر کف بند پایین دست در ارتفاع های مختلف و اثر شیب بالادست بر ضریب دبی سرریز اوجی در شرایط آزاد، اثر استغراق بر ضریب دبی سرریز اوجی. همچنین روابطی برای تخمین ضریب دبی سرریز اوجی و نمودارهای مربوط به پارامترهای بدون بعد در شرایط آزاد و مستغرق ارائه شده و در آخر مقایسه نتایج به دست آمده از آزمایشات با سایر پژوهش های انجام شده است.

شایان ذکر است که در بین همه نتایج به دست آمده توسط سایر محققین، تولیس در سال ۲۰۱۱ تغییرات ضریب دبی سرریز اوجی را در شرایط استغراق و در آزمایشات دیگر استغراق توام با کف بند پایین دست بررسی نمود. ولی در تحقیق حاضر ۳ عامل شیب وجه بالادست سرریز، تراز کف بند پایین دست و استغراق به صورت یکجا مورد بررسی قرار گرفته است که هم کار تولیس (۲۰۱۱) را کامل کرده و هم نسبت به تحقیق اداره عمران آمریکا (۱۹۸۷) جدیدتر است. تحقیق حاضر از آنجا نشات گرفت که تولیس (۲۰۱۱) در مقاله خود به تفاوت هایی در داده های آزمایشگاهی با تحقیق اداره عمران

زده شد. برای ارزیابی معادلات تخمین زده شده، آزمایشات بر روی سه مدل سرریز استوانه ای انجام شد. تطابق مناسب و معقولی بین داده های آزمایشگاهی اندازه گیری شده و معادلات تخمین زده شده مشاهده شد. بهبهانی و پارسایی [۱۷] تأثیر هندسه دیواره های هدایت بر الگوی جریان و منحنی سنج سد بالارود (ایران) را با استفاده از شبیه سازی عددی و فیزیکی بررسی کردند. شبیه سازی عددی با استفاده از نرم افزار ۳D Flow به عنوان یک ابزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) انجام شد. برای این کار، سه طرح برای دیواره های هدایت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که طرح (۳) بهترین عملکرد را برای از بین بردن امواج عرضی و جریانات عبوری از روی سرریز دارد. ارزیابی مدل های آشفتگی نشان داد که مدل RNG-K-ε بهترین عملکرد را در نمایش امواج عرضی دارد.

شیخ کاظمی و صانعی [۸]، به مطالعه تأثیر کانال نزدیک شونده در ضریب دبی سرریز اوجی با قوس محوری و دیواره های همگرا پرداختند. آزمایش ها روی مدل فیزیکی سرریز گرمی چای میانه و در مقیاس ۱:۷۵ انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش عرض کانال نزدیک شونده به میزان ۵۲ درصد، ۱۱ درصد از عمق جریان روی تاج کاهش و ضریب دبی ۲۲ درصد افزایش خواهد داشت. عشرتی و همکاران [۱]، مدل فیزیکی از سرریز اوجی با پلان قوسی و نیز سرریز اوجی در شکل نرمال (عمود بر جریان) با شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه به منظور بررسی تغییرات ضریب دبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مربوط به مدل اول نشان داد که با افزایش نسبت هد جریان به هد طراحی، ضریب دبی سرریز تا مقدار ۱/۲۲ افزایش یافته و بعد از آن استغراق سرریز رخ داده و ضریب دبی تا مقدار ۱/۲۳ کاهش می یابد. همچنین بررسی نتایج مربوط به کارایی سرریز نشان داد برای مدل سرریز در شکل نرمال، استغراق سریع تر و به ازای مقادیر دبی یکسان با سرریز قوسی، مقدار ضریب دبی برای سرریز در شکل نرمال، کمتر خواهد بود. کانیا بوجینگا [۶]، به مدل سازی هیدرولیکی سرریز اوجی با استفاده از مدل CFD و مقایسه نتایج حاصل با دستاوردهای مدل فیزیکی اقدام نمود. جهت مدل سازی عددی از نرم افزار ANSYS FLUENT و برای مدل سازی آشفتگی از مدل k-ε Realizable استفاده شد. مقایسه های صورت گرفته بین مدل های آزمایشگاهی و عددی نشان داد که با وجود پیشرفت های چشم گیر در مدل های



شکل ۱. نمایی از یک سرریز اوجی و مشخصات هندسی و هیدرولیکی
 Fig. 1. View of an ogee weir and its geometric and hydraulic variables

که در آن عوامل موجود به شرح زیر می باشند:

ρ جرم واحد حجم مایع، μ لزجت دینامیکی، ϕ شتاب ثقل، کشش سطحی، H_e ارتفاع آب بالای سرریز، V سرعت جریان، h_d اختلاف ارتفاع بین هد پایین دست با تاج سرریز، P ارتفاع سرریز، W عرض سرریز، L_e طول مؤثر سرریز، α شیب وجه بالادست سرریز و d اختلاف ارتفاع بین سطح آب پایین دست و کف بند پایین دست (عمق آب پایاب بعد از پرش هیدرولیکی) می باشند.

به منظور به دست آوردن اعداد بدون بعد مؤثر در آزمایش های صورت گرفته، بر اساس روش باکینگهام ابتدا سه متغیر تکراری انتخاب می شود که عبارتند از: پارامترهای ρ ، Q و H_e ؛ زیرا به یکدیگر وابسته نیستند و در ضمن جمع آن ها دارای تمامی ابعاد موجود در متغیرها می باشند.

با استفاده از اصول تحلیل ابعادی π باکینگهام، معادله (۳) به دست می آید.

$$C_d = f\left(\frac{h_d}{H_e}, \frac{P}{H_e}, \frac{d}{H_e}, \alpha, \frac{W_e}{H_e}, W_b, R_e, Fr, \frac{L_e}{H_e}\right) \quad (3)$$

که در آن R_e عدد رینولدز، W_b عدد وبر و Fr عدد فرود می باشند. در این تحقیق ارتفاع آب اندازه گیری شده بر روی سرریز حداقل ۳ سانتی متر می باشد، به این ترتیب اثر کشش سطحی بر روی سرریز ناچیز بوده و می توان از آن صرف نظر کرد (به عنوان مثال به باس [۵] مراجعه گردد). با چشم پوشی از کشش سطحی، عدد وبر نیز از

آمریکا (۱۹۸۷) اشاره نمود و علت آن را احتمالاً به محل اندازه گیری عمق آب قبل از پرش هیدرولیکی نسبت داد. ضمناً تولیس (۲۰۱۱) اشاره کرد که نمودارهای ارائه شده توسط اداره عمران آمریکا (۱۹۸۷) مربوط به آزمایشات برادلی (۱۹۵۶) است که بسیار قدیمی است. لذا تصمیم بر آن شد تا آزمایشات جدیدی در این تحقیق انجام گردد، تا در حد ممکن با استفاده از امکانات آزمایشگاهی به برخی ابهامات پاسخ داده شود.

۲- مواد و روش ها

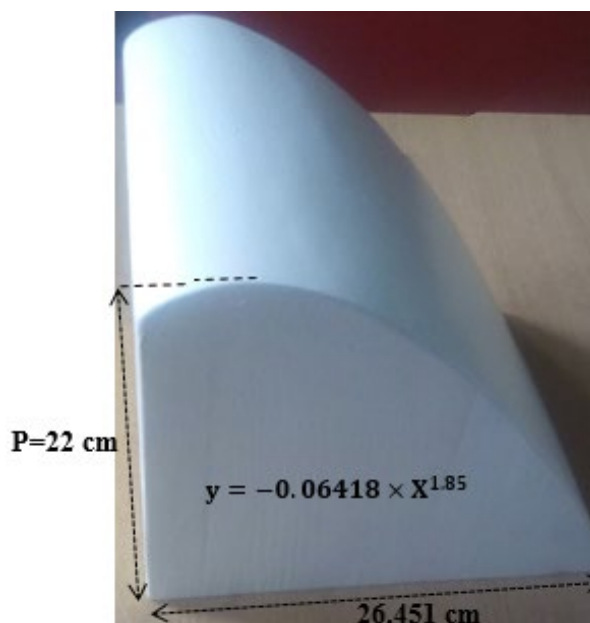
سرریز اوجی شامل چهارقسمت: وجه بالادست، تاج سرریز، وجه پایین دست و پنجه سرریز است. در شکل ۱ شمای کلی یک سرریز اوجی و قسمت های مختلف آن نشان داده شده است. همچنین رابطه (۱) دبی عبوری از روی سرریزهای اوجی شکل را ارائه می کند.

$$Q = C L_e H_e^{1.5} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Q دبی عبوری از روی سرریزهای اوجی، C ضریب دبی، L_e طول تاج مؤثر و H_e = بار آبی کل روی تاج سرریز (شامل ارتفاع آب به علاوه هد سرعت) می باشند.

به طور کلی پارامترهای مهم و مؤثر بر جریان عبوری از روی سرریز اوجی به صورت معادله (۲) است [۷].

$$C_d = (H_e, V, h_d, P, W, L_e, d, \rho, \mu, \phi, \sigma, \alpha) \quad (2)$$



شکل ۲. نمایی از سرریز اوجی مورد استفاده در آزمایشات
Fig. 2. A view of an ogee weir used in the experiments

در نتیجه دبی آب در سیستم چرخش ثابت می ماند. جریان پس از عبور از فلوم مستطیلی به سمت سرریز مثلثی واسنجی شده هدایت می گردد و به کمک این سرریز اندازه گیری دبی جریان صورت می پذیرد. در نهایت آب پس از عبور از این سرریز مجدداً به سمت مخزن اصلی هدایت می شود.

فلوم آزمایشگاه مستطیلی شکل به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر از جنس فلز با دیواره های شیشه ای است که این فلوم بر روی یک شاسی به ارتفاع ۱۱۰ سانتی متر از سطح زمین قرار گرفته و شیب فلوم ثابت و برابر با ۰/۰۲۲ می باشد. همچنین این فلوم در بالادست مجهز به سرریز می باشد که در کف آن صفحه های مشبک وجود دارد. به این ترتیب تلاطم جریان ورودی به فلوم کاهش یافته و دقت اندازه گیری ارتفاع آب افزایش می یابد. آب اضافی در مواقع لازم سرریز کرده و از طریق لوله هایی دوباره به مخزن برگردانده شود. حداکثر جریان عبوری در فلوم ۴۰ لیتر بر ثانیه بوده و دبی جریان در این محدوده با دقت خوبی توسط شیرفلكه ابتدای فلوم قابل تنظیم است.

همچنین بار آبی بالادست و عمق آب پایین دست به وسیله سطح سنج مستقر بر روی دیواره های فلوم اندازه گیری می گردد. دقت اندازه گیری عمق آب توسط این تراز سنج ۰/۱ میلی متر می باشد. در این پژوهش با استفاده از معیار ارائه شده توسط باس [۵]، محل

معادله خارج خواهد شد. با توجه به این نکته که جریان در کانال عموماً به صورت متلاطم می باشد و همچنین ضخامت لایه مرزی قابل صرف نظر است، تأثیر لزجت دینامیکی بر رفتار هیدرولیکی جریان را می توان نادیده گرفت. به این ترتیب عدد رینولدز را نیز می توان در معادله در نظر نگرفت. همچنین در این تحقیق عرض سرریز و طول مؤثر سرریز ثابت بوده و در نتیجه پارامترهای W/H_e و L_e/H_e نیز حذف می شوند.

به این ترتیب معادله ضریب جریان به صورت تابعی از اعداد بدون بعد زیر خواهد شد:

$$C_d = f\left(\frac{h_d}{H_e}, \frac{P}{H_e}, \frac{d}{H_e}, \alpha\right) \quad (4)$$

آزمایش های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام گرفته است. سیستم تأمین آب در این آزمایشگاه، شامل مخزن زیرزمینی است که به یک دستگاه الکتروپمپ عمودی مستغرق به قدرت ۱۰۰ اسب بخار مجهز می باشد. این پمپ وظیفه پمپاژ آب به یک مخزن هوایی به ارتفاع ۴ متر را بر عهده دارد. مخزن هوایی از طریق سرریزی که در داخل آن تعبیه شده است، تأمین کننده ارتفاع ثابت آب می باشد. این سرریز آب اضافی مخزن هوایی را به مخزن زیرزمینی برمی گرداند و با این کار ارتفاع و

جدول ۱. مشخصات هندسی مدل های ساخته شده در آزمایشگاه
Table 1. Geometric variables of models made in the laboratory

طول و عرض تخته استفاده شده برای شیب بالادست (cm)	طول، عرض و ارتفاع کفبند پایین دست (cm)	α	L (cm)	H_e (cm)	P_d (cm)	P (cm)	مدل
-	-	۰	۲۶/۴۵	۱۱	۰	۲۲	سرریز اوجی با وجه بالادست قائم
۲۳/۲، ۲۴	-	۱۸°	۴۹/۶۵	۱۱	۰	۲۲	سرریز اوجی با شیب بالادست ۱:۳
۲۶/۴، ۲۴	-	۳۳°	۵۲/۸۵	۱۱	۰	۲۲	سرریز اوجی با شیب بالادست ۲:۳
۳۱/۲، ۲۴	-	۴۵°	۵۷/۶۵	۱۱	۰	۲۲	سرریز اوجی با شیب بالادست ۳:۳
-	۶۰، ۲۴، ۳	۰	۸۶/۴۵	۱۱	۱۹	۲۲	سرریز اوجی با کفبند پایین دست ۳ سانتی متر
-	۶۰، ۲۴، ۵	۰	۸۶/۴۵	۱۱	۱۷	۲۲	سرریز اوجی با کفبند پایین دست ۵ سانتی متر
-	۶۰، ۲۴، ۷	۰	۸۶/۴۵	۱۱	۱۵	۲۲	سرریز اوجی با کفبند پایین دست ۷ سانتی متر
-	۶۰، ۲۴، ۱۰	۰	۸۶/۴۵	۱۱	۱۲	۲۲	سرریز اوجی با کفبند پایین دست ۱۰ سانتی متر

فلوم قرار داده شده و سپس برای آب بندی آن از چسب مخصوص استفاده گردید. در هر آزمایش بعد از ثابت شدن شرایط مورد نظر، سطح آب بالادست، عمق آب پایین دست و دبی تعیین می گردد. سپس با استفاده از مقدار بار آبی کل بالادست، دبی کل و معادله ی دبی سرریز، ضریب دبی تعیین می شود.

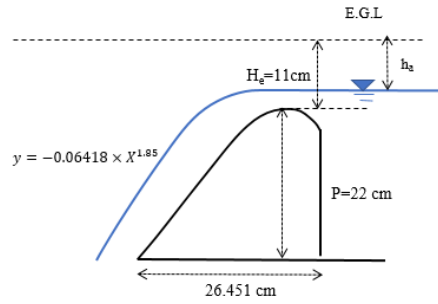
مشخصات مدل های فیزیکی ساخته شده در جدول ۱ و نمایی شماتیک و در حین آزمایشات از برخی از مدل ها در شکل ۳ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

برای بررسی رابطه دبی - اشل در سرریز اوجی برای حالت جریان آزاد، نمودارهایی مطابق شکل های ۴ و ۵ رسم گردید. نتایج به دست آمده از این نمودارها نشان می دهد که برای سرریزهای اوجی در حالت های مختلف، با افزایش دبی، مقدار کل بار آبی بالادست (H_e) به صورت توانی افزایش می یابد. این روند صعودی را با توجه به فرمول محاسبه دبی سرریز اوجی نیز می توان توجیه کرد؛ زیرا Q و H_e رابطه

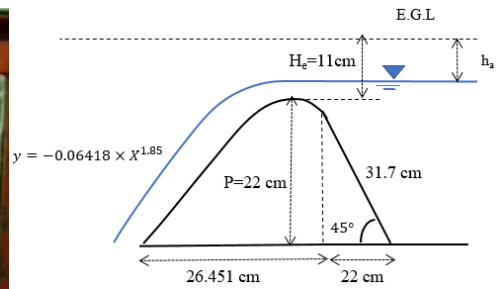
اندازه گیری ارتفاع کل بار آبی در بالادست سرریز، فاصله افقی به طول ۳ تا ۴ برابر حداکثر بار آبی روی تاج سرریز در بالادست می باشد. جریان بعد از عبور فلوم، به درون حوضچه آرامش هدایت می شود و سپس از حوضچه دارای آشغالگیر به درون حوضچه اندازه گیری دبی که در دیواره آن سرریز مثلثی واسنجی شده با زاویه رأس ۵۳ درجه نصب شده است، هدایت می شود. اندازه گیری دبی جریان به وسیله قرائت سطح آب درون چاهک توسط سطح سنجی که در کنار حوضچه اندازه گیری دبی قرار دارد و دارای دقت $\pm 0/1$ میلی متر می باشد، به دست می آید.

در مدل های فیزیکی سرریز اوجی، پروفیل سرریز اوجی به روش اداره عمران آمریکا [۱۱] و با دبی طرح ۱۱ لیتر بر ثانیه طراحی و ساخته شد. بدنه سرریز با استفاده از چوب که روی آن رنگ زده شده (شکل ۲)، کف بندهای پایین دست از جنس پلی اتیلن و برای شیب دار کردن وجه بالادست سرریز نیز از ۳ قطعه چوب MDF به ضخامت ۸ میلی متر استفاده شده است. مدل ساخته شده در درون



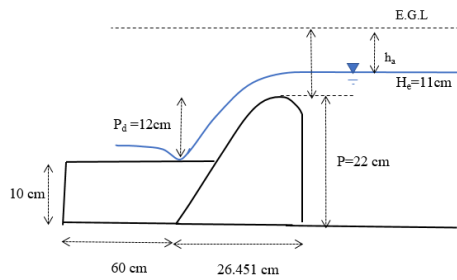
الف: نمایی از سرریز اوجی با وجه بالادست قائم

a- View of ogee weir with vertical upstream face



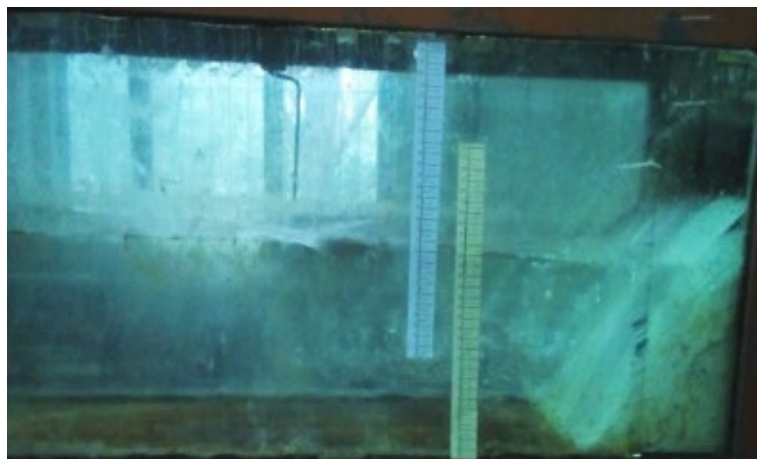
ب: نمایی از سرریز اوجی با شیب وجه بالادست 45 درجه

b- A view of ogee weir with inclined upstream face with 45 degrees



ج: نمایی از سرریز اوجی با کفبند به ارتفاع 10 سانتی متر در پایین دست

c- A view of ogee weir with downstream apron elevation equal to 10 cm



لحظه شروع استغراق

شکل ۳. فلوم آزمایشگاهی و سرریز اوجی نصب شده دورن آن
Fig. 3. Laboratory flume with ogee weir installed in it



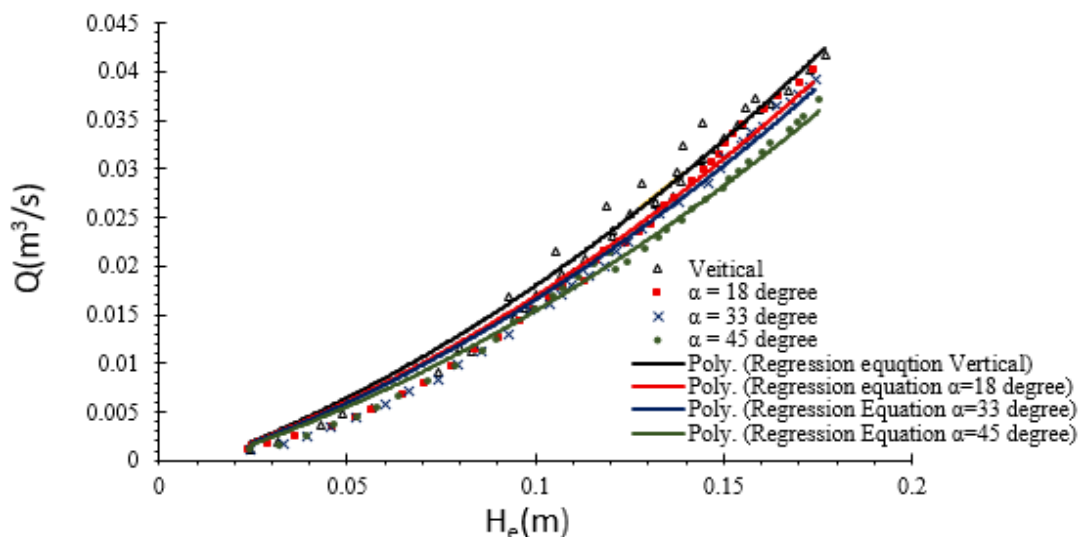
پایان استغراق

د: سرریز اوجی با وجه قائم بالادست در شرایط جریان مستغرق: (بالا) لحظه شروع استغراق؛ (پایین) پایان استغراق

d- A view of ogee weir with vertical upstream face in submerged flow: (up) The moment of the beginning of submergence; (below) the end of submergence

ادامه شکل ۳. فلوم آزمایشگاهی و سرریز اوجی نصب شده دورن آن

Continued Fig. 3. Laboratory flume with ogee weir installed in it



شکل ۴. تغییرات (H_e) نسبت به دبی عبوری (Q) در سرریزهای اوجی با شیب وجه بالادست قائم و شیب‌دار بدون کفبند

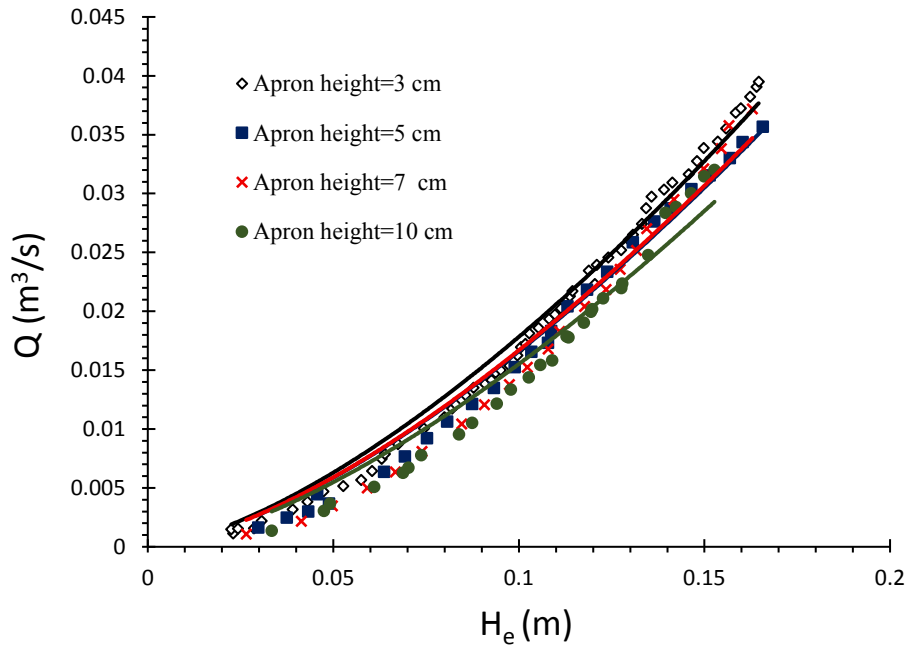
Fig. 4. Variation of H_e against Q in the ogee spillways with vertical upstream face and inclined upstream face

روی سرریز در حالت وجه قائم نسبت به سرریز شیب‌دار باعث این پدیده گردیده است.

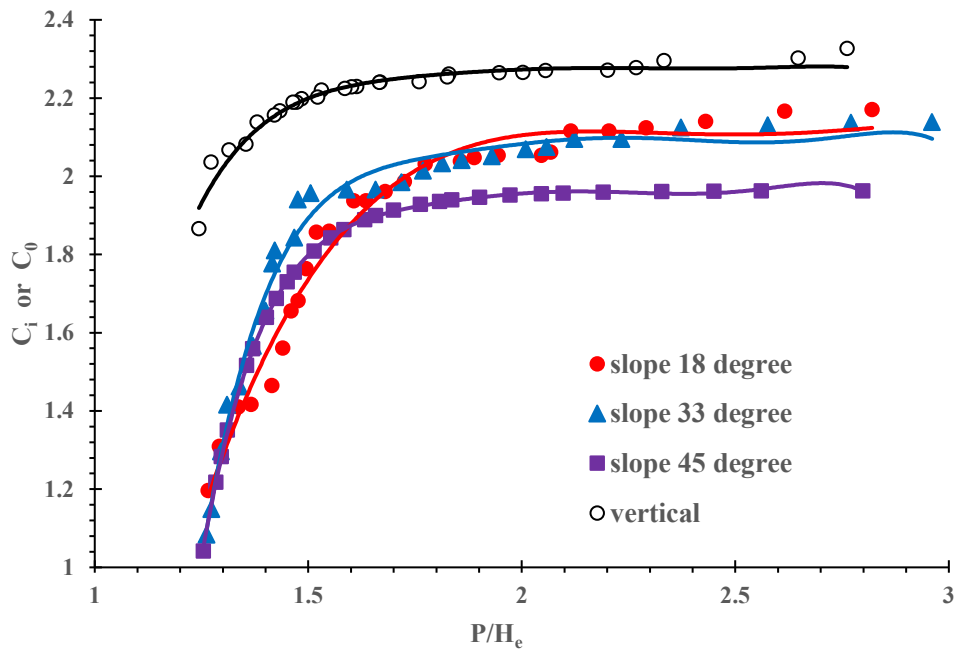
همچنین با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که به ازای یک (H_e) معین، سرریز اوجی دارای کف بند پایین دست به ارتفاع ۳ سانتی متر، بیشترین میزان دبی و سرریز دارای کف بند پایین دست به ارتفاع ۱۰ سانتی متر، کمترین میزان دبی را از خود عبور می‌دهند. با $\frac{2}{3}$ برابر شدن ارتفاع کف بند در پایین دست سرریز اوجی، دبی عبوری از روی سرریز به میزان $\frac{13}{104}$ درصد کاهش می‌یابد.

توانی با یکدیگر دارند.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که به طور کلی تأثیر شیب وجه بالادست روی دبی جریان ناچیز بوده است. ولی می‌توان گفت که به ازای یک (H_e) معین، سرریز با وجه قائم بالادست، بیشترین میزان دبی و سرریز با شیب وجه بالادست ۴۵ درجه کمترین میزان دبی را از خود عبور می‌دهد. دبی عبوری سرریز با شیب ۴۵ درجه در بالادست، به ازای بار آبی معین، حدود ۳ لیتر بر ثانیه کمتر از سرریز با شیب قائم می‌باشد. احتمالاً اثر انقباض بیشتر تیغه آب عبوری از



شکل ۵. تغییرات (H_e) نسبت به دبی (Q) در سرریزهای اوجی دارای کفبند پایبندست
 Fig. 5. Variation of H_e against Q in the ogee spillways with downstream apron

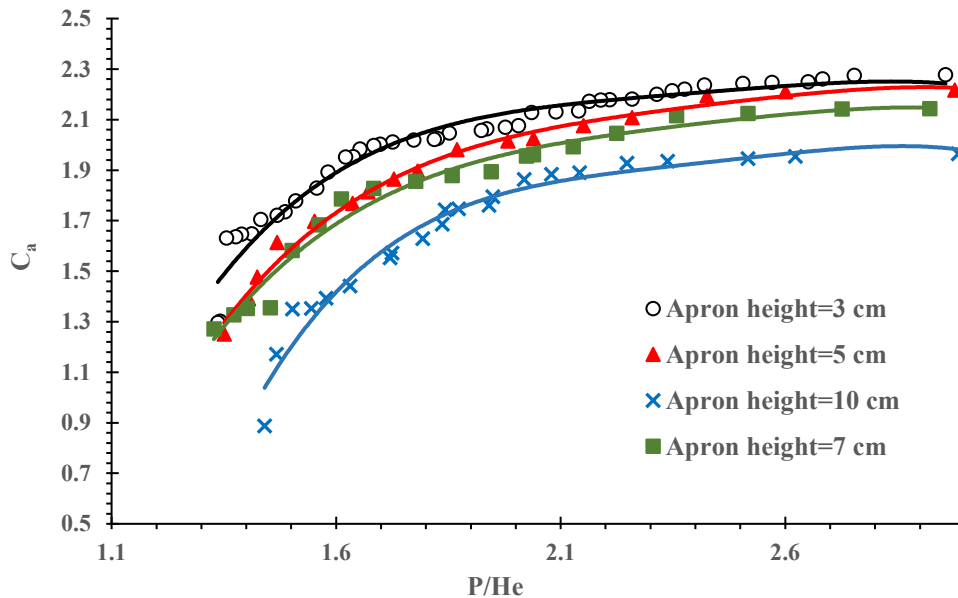


شکل ۶. تغییرات ضریب دبی (C_i) در برابر پارامتر بدون بعد $(\frac{P}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب قائم و شیب ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه بالادست.
 Fig. 6. Variation of discharge coefficient (C_i) against dimensionless parameter $(\frac{P}{H_e})$ in the ogee spillways with vertical upstream face and inclined upstream face including 18, 33, and 45 degrees

شیب‌دار بالادست از (C_i) و برای سرریز با کف بند پایین دست از (C_0) استفاده شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست قائم، با افزایش نسبت $(\frac{P}{H_e})$ ضریب دبی ابتدا

شکل ۶ تغییرات ضریب دبی (C_i) در برابر پارامتر بدون بعد $(\frac{P}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب قائم، ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه بالادست را ارائه می‌کند. ضمناً در شکل‌های بعدی برای نشان دادن ضریب دبی برای سرریز با وجه قائم بالادست از (C_0) ، برای سرریز با وجه



شکل ۷. تغییرات ضریب دبی (C_d) در برابر پارامتر بدون بعد ($\frac{P}{H_e}$) برای سرریز اوجی با کفبند با ارتفاع های ۳، ۵، ۷ و ۱۰ سانتیمتر در پایین دست.
Fig. 7. Variation of discharge coefficient (C_d) against dimensionless parameter ($\frac{P}{H_e}$) in the ogee spillways with downstream apron elevations of 3, 5, 7, and 10 cm

می دهد. با توجه به شکل ۷ می توان دریافت که با افزایش نسبت ضریب دبی ($\frac{P}{H_e}$) سیر صعودی داشته و سپس به مقدار ثابتی می رسد که شدت این روند برای هر چهار نمودار یکسان نمی باشد. به عبارت دیگر افزایش ارتفاع کف بند در وجه پایین دست سرریز باعث کاهش ضریب دبی می شود. با توجه به معادله دبی سرریز، کاهش ضریب دبی می تواند به دلیل افزایش سطح آب بالادست در صورت وجود کف بند در پایین دست باشد.

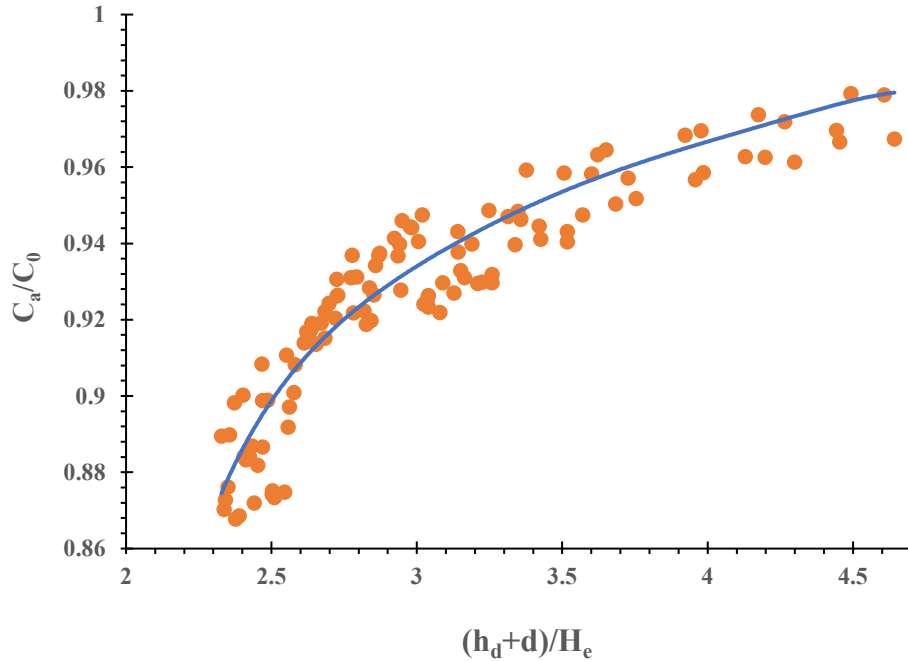
در شکل ۸ نمودار تغییرات ($\frac{C_d}{C_0}$) در برابر پارامتر ($\frac{h_d+d}{H_e}$) برای سرریزهای اوجی دارای کف بند پایین دست ارائه شده است.

همان طور که در شکل ۸ ملاحظه می شود، برای سرریزهای اوجی دارای کف بند پایین دست با افزایش نسبت ($\frac{h_d+d}{H_e}$)، مقدار ($\frac{C_d}{C_0}$) افزایش می یابد تا به مقدار ثابت ۱ می رسد. در این حالت ضریب دبی نسبی ($\frac{C_d}{C_0}$) مستقل از مقدار ($\frac{h_d+d}{H_e}$) می گردد. از نظر فیزیکی با افزایش ارتفاع کف بند پایاب، از مقدار اختلاف بار آبی بالادست و پایین دست کاسته شده و این خود موجب کاهش ظرفیت دبی عبوری یا کاهش ضریب دبی گردیده است.

همچنین منحنی برازش داده شده به مجموع نقاط در معادله (۵) ارائه شده است. ضمناً ضریب تبیین معادله ی مذکور ۰/۹۱ محاسبه گردید. قابل ذکر است که معادله (۵) برای $(h_d+d)/H_e$ در محدوده

سیر صعودی داشته و سپس به مقدار ثابتی می رسد و برابر ۲/۲۵ می گردد. در این حالت ضریب دبی مستقل از مقدار ($\frac{P}{H_e}$) می شود. این حد آستانه برای ($\frac{P}{H_e}$) برابر ۱/۶ به دست آمد. به طور کلی، ضریب دبی برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست قائم (C_0) بیشتر از حالت نظیر برای سرریزهایی با وجه بالادست مایل (C_i) بدست آمد. همچنین شکل ۶ نشان می دهد که وجود شیب در وجه بالادست سرریز باعث کاهش ضریب دبی می شود. وقتی نسبت ($\frac{P}{H_e}$) به مقدار تقریبی ۲/۱ می رسد، ضریب دبی هر سه نمودار برای سرریزهای شیب دار در وجه بالادست، حدوداً به ۱/۹ تا ۲/۱ می رسد و مستقل از مقدار ($\frac{P}{H_e}$) می شود. با شیب دار کردن وجه بالادست سرریز اوجی، ضریب دبی آن از حدود ۲/۲۵ به حدود ۲/۱ در بیشترین مقدار و در کمترین مقدار آن به حدود ۱/۹ می رسد. به عبارتی شیب دار کردن سرریز ضریب دبی آن را به میزان متوسط ۱۲ درصد کاهش می دهد. کاهش ضریب دبی می تواند به دلیل افزایش سطح تماس آب با وجه بالادست سرریز باشد که افت انرژی را افزایش می دهد. به بیان دیگر شیب دار کردن وجه بالادست سرریز موجب افزایش سطح تماسی اصطکاکی بین سرریز با آب می گردد.

شکل ۷ تغییرات ضریب دبی (C_d) در برابر پارامتر بدون بعد ($\frac{P}{H_e}$) برای سرریز اوجی با کف بند با ارتفاع مختلف در پایین دست را نشان



شکل ۸. نمودار تغییرات $(\frac{C_a}{C_0})$ در برابر پارامتر $(\frac{h_d+d}{H_e})$ برای سرریزهای اوجی دارای کفبند پایبندست

Fig. 8. Variation of discharge coefficient (C_a) against dimensionless parameter ($\frac{h_d+d}{H_e}$) in the ogee spillways with downstream apron

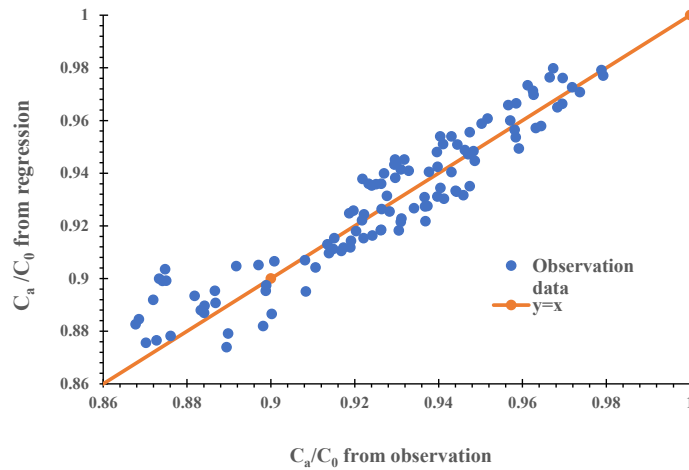
دبی با شیب وجه بالادست ۱۸ درجه ثابت در نظر گرفت. با توجه به شکل ۱۰-ب، با افزایش نسبت $(\frac{p}{H_e})$ ، مقدار $(\frac{C_a}{C_0})$ کاهش می یابد و بعد از اینکه به حدود $(\frac{p}{H_e}) = 1/8$ رسید، نمودار روند ثابتی دارد و در این محدوده مقدار پارامتر $(\frac{C_a}{C_0})$ به مقدار تقریبی ۰/۹۵ می رسد. همچنین با توجه به شکل ۱۰-ج، می توان نتیجه گرفت که با افزایش نسبت $(\frac{p}{H_e})$ ، مقدار ضریب دبی نسبی $(\frac{C_a}{C_0})$ روند نزولی در پیش دارد تا به مقدار $(\frac{p}{H_e}) = 1/7$ می رسد. در این محدوده $(\frac{C_a}{C_0})$ به مقدار تقریبی ۰/۸۶ می رسد.

در شکل ۱۱ مقایسه تغییرات $(\frac{C_a}{C_0})$ در برابر پارامتر $(\frac{p}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه انجام گرفته است. با توجه به شکل ۱۱ و مقایسه تغییرات نمودار سرریزهای دارای شیب بالادست می توان نتیجه گرفت در محدوده $1/2 = (\frac{p}{H_e})$ تا $(\frac{p}{H_e}) = 1/7$ ، شیب نمودار سرریز دارای شیب ۱۸ درجه در وجه بالادست کمتر از نمودارهای دیگر سرریزهای شیب دار است. این بدان معناست در محدوده یکسان پارامتر $(\frac{p}{H_e})$ ، سرریز اوجی دارای شیب وجه بالادست ۱۸ درجه، مقدار تغییرات ضریب دبی نسبی $(\frac{C_a}{C_0})$ کمتری از سرریزهای شیب دار ۳۳ و ۴۵ درجه در شیب وجه بالادست دارد؛ ولی سرریز دارای شیب بالادست ۴۵ درجه، مقدار ضریب دبی

$(\frac{h_d+d}{H_e})/H_e$ در پارامتر بی بعد ۲/۲۵ تا ۴/۶۵ اعتبار دارد. همچنین در پارامتر بی بعد صورت کسر نماینده تراز کف بند است (شکل ۱) و لذا رابطه (۵) برای تمامی ارتفاع های کف بند قابل استفاده است.

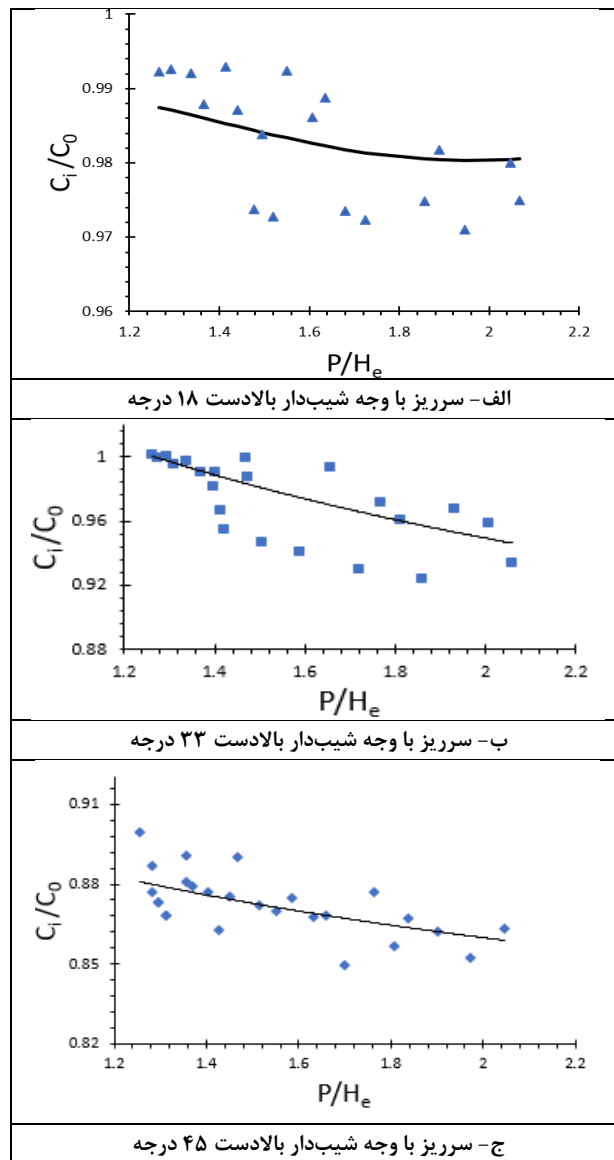
$$\frac{C_a}{C_0} = 0.94 \left(\left[\frac{h_d+d}{H_e} \right] - 2.13 \right)^{0.045} \quad (5)$$

در شکل ۹ منحنی پراکنش داده ها با معادله (۵) و همچنین نقاط آزمایشی در اطراف خط $Y=X$ ارائه شده است که حاکی از تطابق نسبتاً مناسب داده های حاصل از اندازه گیری با معادله (۵) می باشد. در شکل ۱۰ تغییرات نقاط آزمایشی $(\frac{C_a}{C_0})$ در برابر پارامتر $(\frac{p}{H_e})$ برای سرریز اوجی با سه شیب وجه بالادست ۱۸-۳۳-۴۵ درجه ارائه گردیده است. مطابق شکل ۱۰-الف، با افزایش نسبت $(\frac{p}{H_e})$ مقدار ضریب دبی نسبی $(\frac{C_a}{C_0})$ ابتدا روند ثابتی دارد تا به مقدار $(\frac{p}{H_e}) = 1/4$ می رسد. سپس سیر نزولی داشته و بعد از اینکه به $(\frac{p}{H_e}) = 1/9$ می رسد، نمودار سیر ثابتی دارد و در این محدوده مقدار پارامتر $(\frac{C_a}{C_0})$ به مقدار تقریبی ۰/۹۸۵ می رسد. در حالت کلی چون این تغییرات خیلی ناچیز هستند، می توان تغییرات $(\frac{C_a}{C_0})$ در برابر $(\frac{p}{H_e})$ برای ضریب



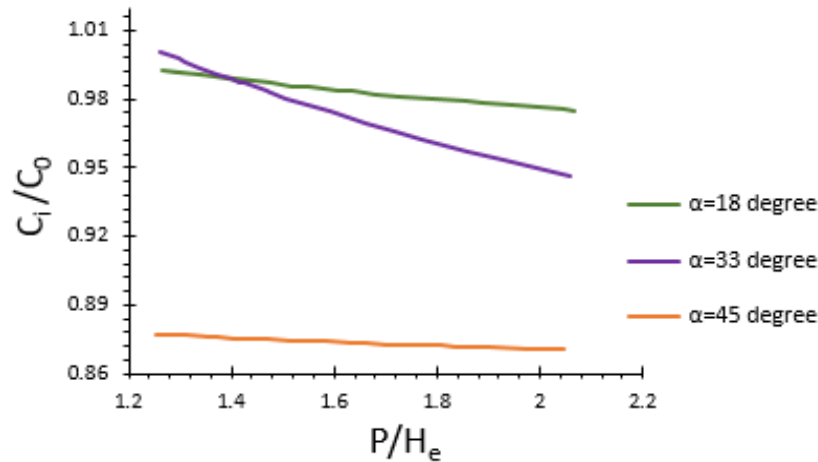
شکل ۹. مقایسه بین داده‌ها با معادله رگرسیون ارائه شده (معادله (۵))

Fig. 9. Comparison between experimental data and regression equation (Eq. (5)).



شکل ۱۰. نقاط آزمایشی تغییرات $(\frac{C_i}{C_0})$ در برابر پارامتر $(\frac{P}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست

Fig. 10. Variation of discharge coefficient $(\frac{C_i}{C_0})$ against dimensionless parameter $(\frac{P}{H_e})$ in the ogee spillways with inclined upstream faces



شکل ۱۱. مقایسه تغییرات ($\frac{C_i}{C_0}$) در برابر پارامتر ($\frac{p}{H_e}$) برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه.

Fig. 11. Comparison of changes in the relative discharge coefficient ($\frac{C_i}{C_0}$) against dimensionless Parameter ($\frac{p}{H_e}$) in the ogee spillways with inclined upstream face

جدول ۲. معادلات و ضرایب تبیین منحنیهای برازش داده شده برای سرریزهای اوجی دارای شیب وجه بالادست

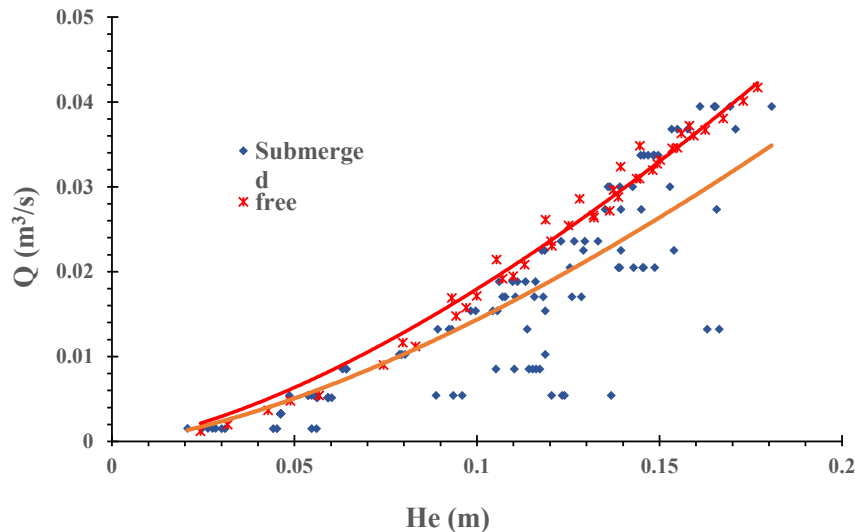
Table 2. Equations and determination coefficients of the fitted equations for ogee spillways with inclined upstream faces

مدل سرریز اوجی	معادله منحنی برازش داده شده	ضریب R^2 = تبیین	خطای نسبی
سرریز با شیب وجه بالادست ۱۸°	$\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = (0.906 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{-0.0395} + -0.0002 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{0.2418})$	۰/۵۲۶	۰/۴۴۲۱۳
سرریز با شیب وجه بالادست ۳۳°	$\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = (0.330 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{-0.1822} + 0.3312 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{-0.1826})$	۰/۷۱۸	۱/۳۹۸۷۷
سرریز با شیب وجه بالادست ۴۵°	$\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = (0.66 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{-0.06972} + [0.232 \left[\frac{p}{H_e}\right]^{-0.00217}])$	۰/۷۲۵	۰/۷۶۲۵۹
سرریز با شیب وجه بالادست متغیر از ۱۸ تا ۴۵ درجه	$\frac{C_i}{C_0} = 7.387^{(-18.526 \frac{P}{H_e} + 1.212)} + \frac{(1.902 + \frac{P}{H_e})^2}{-47.671 + 443.797 * \alpha} - \frac{10.670}{2.718 * \alpha * \frac{P}{H_e} * (\alpha - 10.67)}$	۰/۶۲۵	۳/۴

در معادله آخری از جدول ۲).

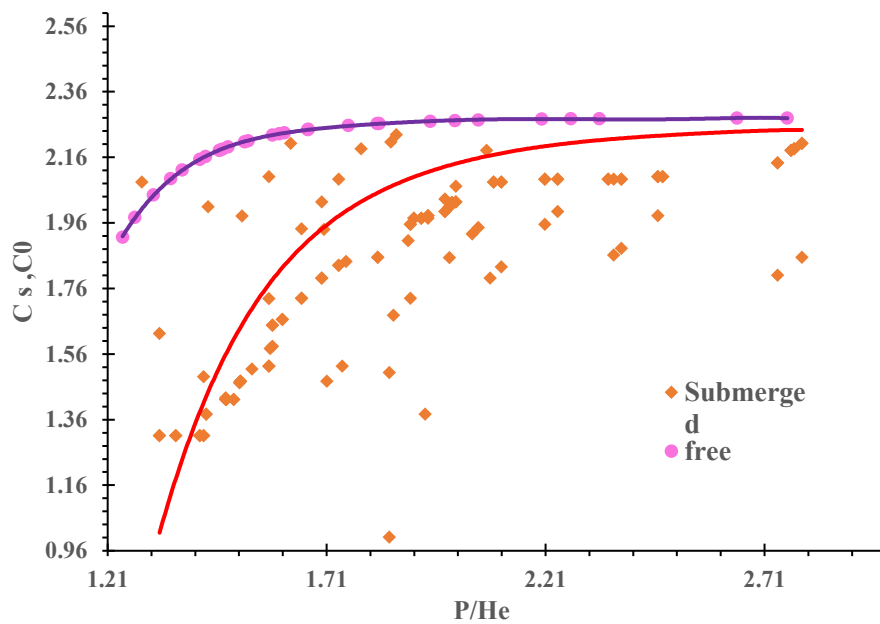
در شکل ۱۲، تغییرات منحنی دبی-اشل برای دو حالت سرریز مستغرق و سرریز در حالت جریان آزاد ارائه شده است. میزان کاهش دبی به ازای بار آبی ثابت، در حالت جریان مستغرق مشهود است. به وقوع پیوستن جریان مستغرق برای سرریز مناسب نیست و علت آن کاهش دبی عبوری از روی سرریز می باشد. از این رو کلیه طراحی ها به ازای بار آبی طرح و در حالت جریان آزاد صورت می گیرد.

نسبی کمتری در بین سرریزهای شیب دار موجود در این تحقیق دارد. همچنین منحنی برازش داده شده به مجموع نقاط آزمایشی برای سرریزهای دارای شیب وجه بالادست توسط نرم افزار Excel به دست آمد که به همراه ضریب تبیین معادلات در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین در این مرحله سعی در ایجاد یک معادله واحد به ازای شیب های مختلف ۱۸ تا ۴۵ درجه شد تا کار طراحان ساده تر گردد. ولی معادله حاصله دارای خطای زیادی بود (خطای نسبی برابر ۳/۴



شکل ۱۲. مقایسه منحنی دبی-اشل برای سرریز در دو حالت مستغرق و حالت جریان آزاد.

Fig. 12. Comparison of the discharge-head relation for ogee spillways in two submerged and free flow conditions

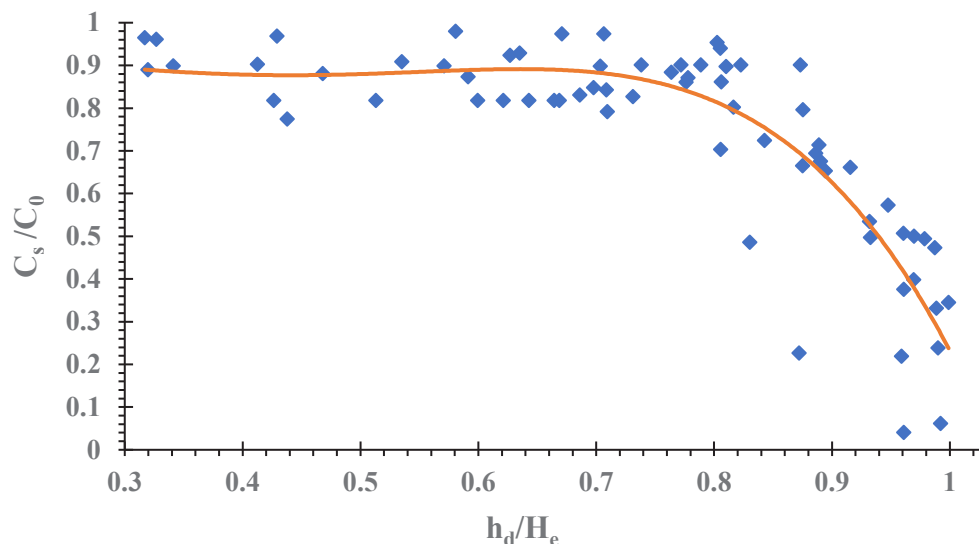


شکل ۱۳. تغییرات ضریب دبی (C_s, C_0) در برابر $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست برای جریان مستغرق و آزاد.

Fig. 13. Variation of discharge coefficient (C_s, C_0) against dimensionless parameter $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ in the ogee spillways with vertical upstream face in two submerged and free flow conditions

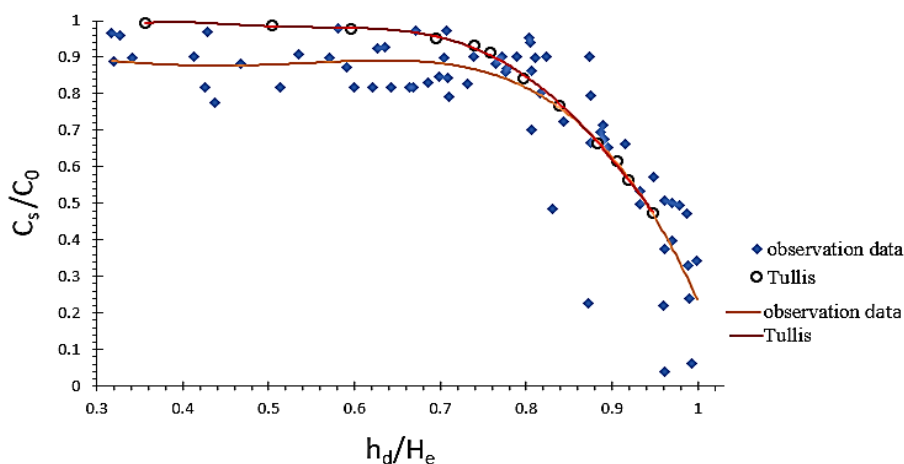
در شکل ۱۳ نمودار تغییرات ضریب دبی (C_s, C_0) در برابر $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست برای جریان مستغرق و آزاد جهت مقایسه ارائه شده است. مشاهده می شود با مستغرق شدن سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست، ضریب دبی کاهش می یابد. این کاهش برای نسبت های کم $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ زیاد است، ولی به تدریج با افزایش $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ کاهش می یابد؛ به طوری که حداکثر ضریب دبی از حدود ۲/۲۵ در حالت جریان آزاد به ۲/۱۵ در حالت جریان

در شکل ۱۲ پراکندگی داده ها در حالت مستغرق به دلیل حساسیت زیاد استغراق نسبت به عمق پایاب بوده است. به طوری که با اندکی تغییر در عمق پایاب، تغییر زیادی در ارتفاع آب بالادست سرریز دیده می شود. لذا خطای ناشی از اندازه گیری عمق پایاب تأثیر زیادی بر روی نتایج خواهد گذاشت. ضمن این که عمق پایاب حالت نوسانی نیز داشت. پیشنهاد می شود در این زمینه محققان دیگر آزمایشات بیشتری انجام دهند.



شکل ۱۴. تغییرات $(\frac{C_s}{C_0})$ در برابر پارامتر بی بعد $(\frac{h_d}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست.

Fig. 14. Variation of discharge coefficient $(\frac{C_s}{C_0})$ against dimensionless parameter $(\frac{h_d}{H_e})$ in the ogee Spillways with vertical upstream face



شکل ۱۵. تغییرات $(\frac{C_s}{C_0})$ در برابر پارامتر $(\frac{h_d}{H_e})$ و مقایسه با تحقیق تولیس [۹]

Fig. 15. Variation of relative discharge coefficient $(\frac{C_s}{C_0})$ against dimensionless parameter $(\frac{h_d}{H_e})$ and comparison with Tullis [9]

به دست آمد. منحنی برازش داده شده به مجموع نقاط آزمایشی در معادله (۶) ارائه شده است. ضریب تبیین معادله ی مذکور ۰/۸۰۵ محاسبه گردید.

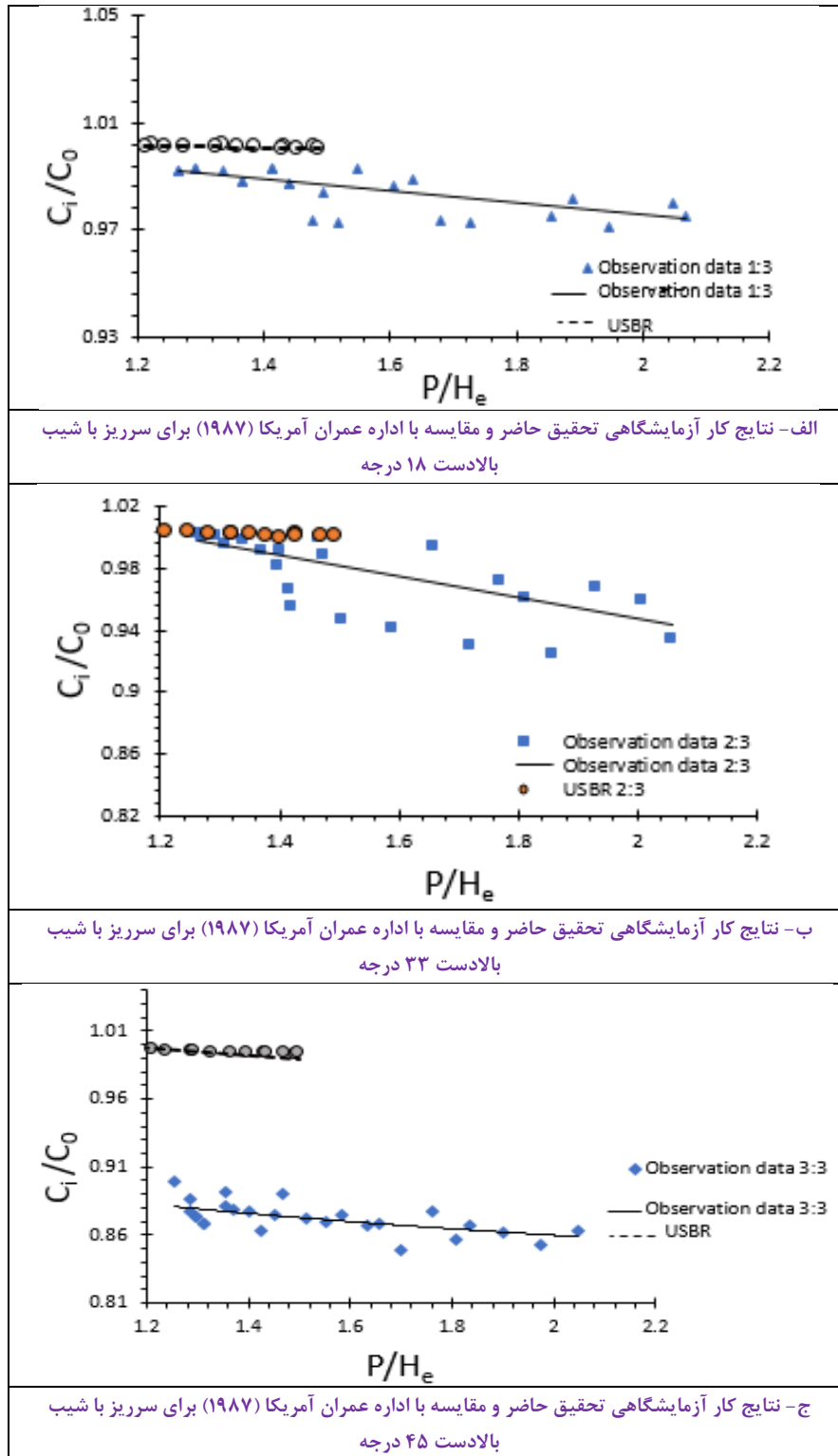
$$\frac{C_s}{C_0} = 0.885 / \left(1 + \left(1.054 \left[\frac{h_d}{H_e} \right]^{15.7} \right) \right) \quad (۶)$$

۴- مقایسه با مطالعات صورت گرفته در گذشته

شکل ۱۵ نمودار ضریب دبی بی بعد را در مقابل پارامتر بدون

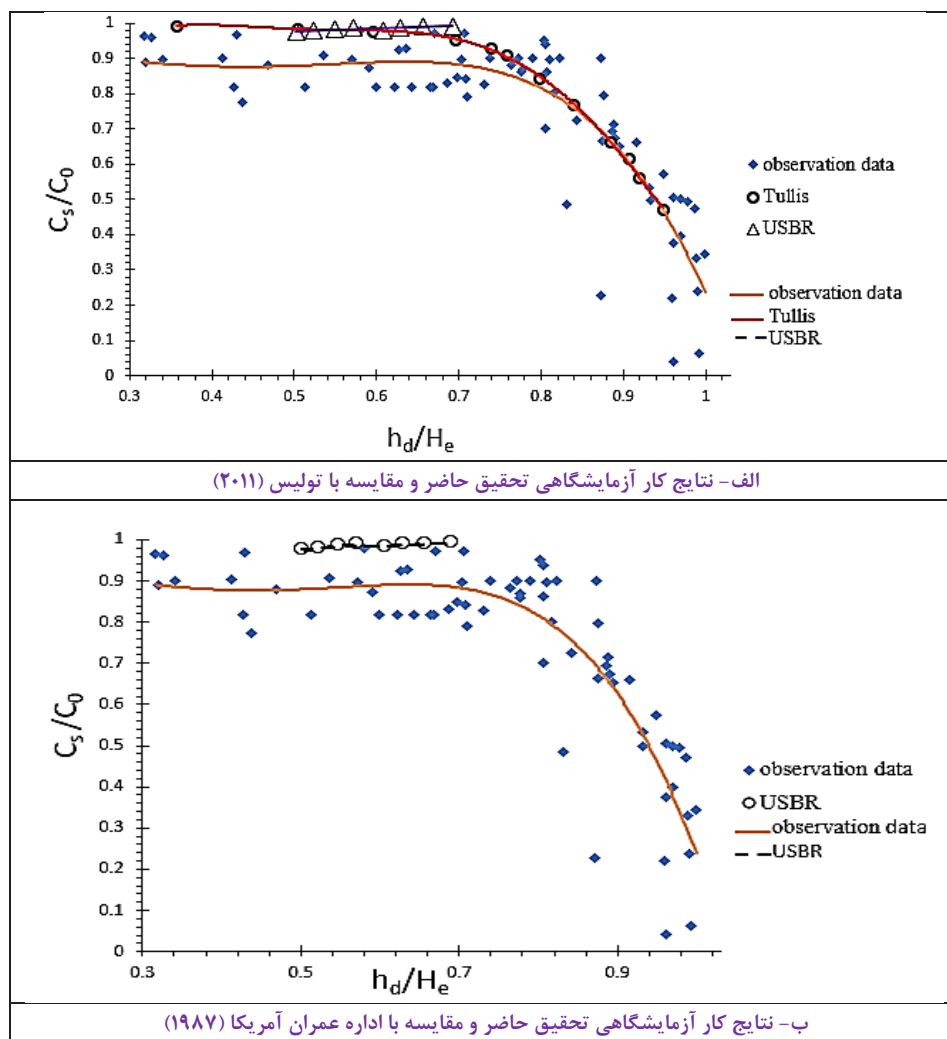
مستغرق می رسد.

در شکل ۱۴ تغییرات ضریب دبی بی بعد شده $(\frac{C_s}{C_0})$ در برابر پارامتر بی بعد $(\frac{h_d}{H_e})$ برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست آورده شده است. مشاهده می شود که با افزایش نسبت $(\frac{h_d}{H_e})$ ضریب دبی بی بعد شده، ابتدا سیر ثابتی داشته و سپس سیر نزولی دارد. در محدوده $(\frac{h_d}{H_e}) = ۰/۳ - ۰/۷۵$ ، ضریب دبی بی بعد شده در حدود ۰/۸۸ می باشد. به عبارت دیگر با افزایش نسبت $(\frac{h_d}{H_e})$ ، مقدار پارامتر بی بعد $(\frac{C_s}{C_0})$ کاهش می یابد. همچنین این حد آستانه برای $(\frac{h_d}{H_e})$ حدود ۰/۷۵



شکل ۱۶. تغییرات ضریب دبی بدون بعد (C_1/C_0) در برابر پارامتر (P/H_e) برای سرریز اوجی با شیب وجه بالادست ۱:۳، ۲:۳ و ۳:۳ (۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه) و مقایسه با اداره عمران آمریکا (۱۹۸۷).

Fig. 16. Variation of relative discharge coefficient (C_1/C_0) against dimensionless parameter (P/H_e) in Ogee spillways with vertical and inclined upstream faces including 8, 33, and 45 degrees and comparison with USBR [11]



شکل ۱۷. تغییرات ضریب دبی بی‌بعد در برابر تغییرات $\left(\frac{h_d}{H_e}\right)$ و مقایسه با تحقیقات اداره عمران آمریکا [۱۱] و تولیس [۹]
 Fig. 17. Variation of relative discharge coefficient against $\left(\frac{h_d}{H_e}\right)$ and comparison with USBR [11] and Tullis [9]

نتایج منتشر شده توسط اداره عمران آمریکا [۱۱] ارائه شده است. این مقایسه برای سرریزهای اوجی با شیب وجه بالادست ۱۸، ۳۳ و ۴۵ درجه در حالت جریان آزاد و همچنین برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست در حالت جریان مستغرق به منظور بررسی ضریب دبی بی‌بعد در برابر پارامتر $\left(\frac{P}{H_e}\right)$ انجام شده است.

شکل ۱۷ تغییرات ضریب دبی با پارامتر h_d/H_e در این تحقیق و مقایسه با داده‌های آزمایش تولیس [۹] و اداره عمران آمریکا [۱۱] را نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از شکل‌های فوق‌الذکر نشان می‌دهند که: در شکل ۱۶- ب، برای سرریز اوجی با وجه شیب‌دار

بعد $\left(\frac{h_d}{H_e}\right)$ که توسط تولیس [۹] برای سرریزهای اوجی در حالت‌های مستغرق و دارای کف بند پایین‌دست به دست آمده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، برای سرریزهای دارای کف بند مستغرق شده و یا سرریز بدون کف بند مستغرق شده در محدوده $S = \left(\frac{h_d}{H_e}\right) = 0.3 - 0.75$ ، ابتدا $\left(\frac{C_s}{C_0}\right)$ سیر ثابتی دارد و سپس در محدوده $S = \left(\frac{h_d}{H_e}\right) = 0.75 - 1$ ، ضریب دبی بی‌بعد سیر نزولی دارد. در تحقیق حاضر نیز برای سرریز بدون کف بند مستغرق شده در محدوده $S = \left(\frac{h_d}{H_e}\right) = 0.3 - 0.75$ ، پارامتر بدون بعد $\left(\frac{C_s}{C_0}\right)$ ، ابتدا روند ثابتی داشته و در محدوده $S = \left(\frac{h_d}{H_e}\right) = 0.75 - 1$ مقدار $\left(\frac{C_s}{C_0}\right)$ کاهش می‌یابد.

در شکل ۱۶ مقایسه بین نتایج به دست آمده در این تحقیق با

1 US Bureau of Reclamation

2 Tullis

دارای بیشترین کاهش بر ضریب دبی می باشند. به عبارتی به ازای ثابت $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ ، ضریب دبی با افزایش کفبند از ۳ به ۱۰ سانتی متر، حدود ۱۸ درصد کاهش داشته است. با مستغرق شدن سرریز اوجی با شیب وجه قائم بالادست، ضریب دبی کاهش می یابد. این کاهش برای نسبت های کم $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ ، زیاد بوده؛ ولی به تدریج با افزایش $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ ، کاهش می یابد. به طوری که حداکثر ضریب دبی از حدود ۲/۲۵ در حالت جریان آزاد به ۲/۱۵ در حالت جریان مستغرق می رسد. روند تغییر ضریب دبی بدون بعد با پارامتر $\left(\frac{h_c}{H_c}\right)$ ، در سرریز اوجی با وجه قائم بالادست مستغرق، ابتدا ثابت بوده و سپس با سیر نزولی مواجه است. آستانه استغراق در این سرریز و برای این تحقیق ۰/۷۵ می باشد. با توجه به اینکه وجود کف بند در پایین دست سرریز و یا شیب در وجه بالادست سرریز، ضریب دبی آن را کاهش می دهد، علت استفاده از آنها در سرریز اوجی می تواند به دلیل تثبیت پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش (ایجاد کف بند) و یا افزایش پایداری سد (ایجاد شیب در وجه بالادست سرریز) باشد. روابط به دست آمده از آزمایش ها دارای ضریب تعیین بالاتر از ۰/۷ بوده اند، که نشان دهنده دقت بالای روابط و داده های به دست آمده می باشد. در سرریزهایی با وجه شیب دار در بالادست ارائه یک معادله واحد بین پارامترهای $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ ، $\left(\frac{C_c}{C_0}\right)$ و θ میسر نگردید، زیرا همبستگی ضعیف بین عوامل مذکور مشاهده گردید.

مراجع

- [1] T. Eshtrati, R. Fazloulou, M. Sanei, A. Emadi, Laboratory Study of Hydraulic Performance of Ogee Spillway and Downstream Canal with Axial Arc, Journal of Water and Soil, 9(4) Sept.-Oct (2015) 874-885.
- [2] M. Karimi, Simulation of Flow over Ogee Spillway by VOF Method, Thesis is approved for the Degree of Master of Science, in Hydraulic Structure, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Shahid Bahonar University of Kerman (2013).
- [3] M. Mahmoudian Shooshtari, Principles of flow in open channels. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. First Edition. (2009). Volume II 508 pages.
- [4] W. Boiten, Environmental Research Instruments. Venturi gate, Adjustable gate for discharge measurement and fish

در بالادست ۱:۳ (۱۸ درجه)، با افزایش $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ در محدوده ی $\left(\frac{P}{H_c}\right) = 1/2 - 1/5$ ، ضریب دبی بی بعد $\left(\frac{C_c}{C_0}\right)$ تقریباً روند ثابتی دارد که با تحقیق حاضر همخوانی دارد.

• در شکل ۱۶- ج، برای سرریز اوجی با وجه شیب دار در بالادست ۲:۳ (۳۳ درجه)، با افزایش $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ در محدوده ی $\left(\frac{P}{H_c}\right) = 1/2 - 1/5$ ، ضریب دبی بی بعد $\left(\frac{C_c}{C_0}\right)$ تقریباً روند نزولی دارد که با تحقیق حاضر همخوانی دارد.

• در شکل ۱۶- د، برای سرریز اوجی با وجه شیب دار در بالادست ۳:۳ (۴۵ درجه)، با افزایش $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ در محدوده ی $\left(\frac{P}{H_c}\right) = 1/2 - 1/5$ ، ضریب دبی بی بعد $\left(\frac{C_c}{C_0}\right)$ تقریباً روند نزولی دارد، اما به دلیل اختلاف کم در این روند در سیر نمودار زیاد مشاهده نمی شود. اما با مراجعه به نمودار در شکل ۱۶- الف، این روند مشهود است که با تحقیق حاضر همخوانی دارد.

• در شکل ۱۷- ج، برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم در بالادست در شرایط جریان مستغرق در محدوده $\left(\frac{h_c}{H_c}\right) = 0/5 - 0/7$ ، ضریب دبی بی بعد $\left(\frac{C_c}{C_0}\right)$ ثابت می باشد که با تحقیق حاضر همخوانی دارد.

• در شکل ۱۷- ب، برای سرریز اوجی با شیب وجه قائم در بالادست در جریان مستغرق در محدوده $\left(\frac{h_c}{H_c}\right) = 0/5 - 0/7$ ، ضریب دبی بی بعد ثابت می باشد که با تحقیق حاضر و داده های تولیس [۹] همخوانی دارد.

۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به تأثیر سه عامل شیب وجه بالادست، ارتفاع کفبند و استغراق پایین دست بر ضریب دبی سرریز اوجی پرداخته شده است. برای این کار از مدل های فیزیکی استفاده گردیده است. برخی از نتایج مهم به شرح زیر می باشند:

روند تغییر ضریب دبی با پارامتر $\left(\frac{P}{H_c}\right)$ در همه سرریزها در ابتدا سیر افزایشی داشته و سپس به مقدار تقریباً ثابتی می رسد. ولی این افزایش برای سرریزهای دارای کف بند پایین دست و یا شیب در وجه بالادست مقدار کمتری بوده، که نشان می دهد وجود کف بند پایین دست و یا شیب بالادست و یا استغراق پایین دست باعث کاهش ضریب دبی در برابر این پارامتر می شود. سرریز دارای کف بند با ارتفاع ۳ سانتی متر کمترین کاهش و سرریز دارای کف بند ۱۰ سانتی متر

- dams, Washington, USA, (1987) 365-375.
- [12] Z. Shamsi, A. Parsaie and A.H. Haghiabi, Optimum hydraulic design of cylindrical weirs. ISH Journal of Hydraulic Engineering: 1-5. Doi: 10.1080/09715010.2019.1683474 (2019).
- [13] A. Parsaie and A.H. Haghiabi, Inception Point of Flow Aeration on Quarter-Circular Crested Stepped Spillway. Flow Measurement and Instrumentation .doi.org/10.1016/j.flowmeasinst. 101618 (2019).
- [14] A. Parsaie and A.H. Haghiabi, The Hydraulic Investigation of Circular Crested Stepped Spillway. Flow Measurement and Instrumentation. doi.org/10.1016/j.flowmeasinst. 101624 (2019).
- [15] A. Parsaie, H.M. Azamathulla and A.H. Haghiabi. Prediction of discharge coefficient of cylindrical weir-gate using GMDH-PSO. ISH Journal of Hydraulic Engineering 24 (2):116-123. (2017).
- [16] A.H. Haghiabi, J. Mohammadzade-Habibi and A. Parsaie. Development of an evaluation method for velocity distribution over cylindrical weirs using doublet concept. Flow Measurement and Instrumentation 61:79-83. doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.03.008 (2018).
- [17] S. Dehdar-behbahani and A. Parsaie. Numerical Modeling of Flow Pattern in Spillway Approach Channel. Jordan Journal of Civil Engineering 12 (1):1-9 (2016).
- migration, Elsevier, 13(6) (2002) 203-207.
- [5] M.G. Bos, Discharge measurement structures, third revised edition. International institute for land reclamation and improvement, (1989) 121-151.
- [6] P.N. Kanyabujinja, CFD Modelling of Ogee Spillway Hydraulics and Comparison with Physical Tests, Master of Engineering Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, Western Cape, South Africa, 42 (2015).
- [7] F. Salmasi, Effect of downstream apron elevation and downstream submergence in discharge coefficient of ogee weir. ISH Journal of Hydraulic Engineering. doi.org/10.1080/09715010.2018.1556125 (2018).
- [8] J. Sheikh Kazemi, and M. Saneie, The Effect of Approach Channels on the Discharge of Ogee Spillway in the Axial Arc Condition with Convergent Sidewalls, Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST), 22(2) (2014) 119-123.
- [9] B.P. Tullis, Behavior of Submerged Ogee Crest Weir Discharge Coefficients, Journal of irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 137(10) (2011) 677-681.
- [10] B.P. Tullis, and J. Neilson, Performance of Submerged Ogee-Crest Weir Head-Discharge Relationships, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 134(4) (2008) 486-491.
- [11] US Bureau of Reclamation (USBR), Design of small

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

P. Heidary, F. Salmasi, H. Arvanaghi, Determination of Discharge Coefficient in Ogee Spillways and Investigation the Effects of Submergence, Upstream Slope and Apron Elevation on Its Variations, Amirkabir J. Civil Eng., 53(7) (2021) 2715-2734.
DOI: [10.22060/ceej.2020.17257.6503](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17257.6503)



