

Research Paper

Investigation of Stage-Discharge Curve Before and After Fusegate Turning

Somayeh Khalili¹,Ramin Fazloulou^{2*},Alireza Emadi³

¹ PhD Student in Water structures, Water Engineering Department, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. So.khalili@yahoo.com.

² Associate Professor, Water Engineering Department, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. raminfazl@yahoo.com, r.fazloulou@sanru.ac.ir (Corresponding author).

³ Associate Professor, Water Engineering Department, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Emadia355@yahoo.com, a.emadi@sanru.ac.ir.



10.22125/iwe.2023.405527.1731

Received:

July 5, 2023

Accepted:

October 12, 2023

Available online:

June 24, 2024**Keywords:****After overturning,
Discharge, Fusegate,
Laboratory Flume,
Stage-Discharge curve.**

Abstract

In this study, the stage-discharge curve of the standard WLH (Wide Low Head) fusegate was investigated in a laboratory flume before and after overturning. For this purpose, scale models of standard WLH fusegates were made in 16.7 cm height, two cycles, with five different inlet wells heights and located in the middle and end of the laboratory flume and they were tested before and after overturning. The values of different discharges and their corresponding upstream depths were recorded. The results showed that the trend of changes in stage-discharge curve before and after the overturning of the fusegate has no significant relationship with the height of the well. In general, in higher well height, water enters the well lately and the fusegate overturns later and in a higher discharge. After overturning of the fusegate, the upstream water depth decreases. The results showed that by locating the studied structure in the middle of the flume, after overturning one fusegate unit, the water depth in the flume decreased about 30%, and by overturning both fusegate units, the water depth in the flume decreased about 50%. In the case where the fusegate is installed at the end of the flume, the process of changing the stage-discharge curve before and after overturning is similar to the case of installing it in the middle of the flume, but the water depth in the flume at a certain discharge is on average about 7 to 11% less than the position of the structure in the middle of the flume. In general, fusegates have a good performance for the passage of flood discharges. In the case that the fusegate is made of iron and hinged, the cost of replacing the fusegate, which is one of the disadvantages of fusegates, is reduced, also the amount of depth reduction after overturning is reduced (about 15%). Finally, relationships for estimating the discharge coefficient of the fusegate in before overturning state were presented, and the statistical parameters show that these relationships have good accuracy in estimating the values of discharge coefficient.

* Corresponding Author: Ramin Fazloulou

Address: Water Engineering Department, Sari
Agricultural Sciences and Natural Resources University,
Sari, Iran,

Email: r.fazloulou@sanru.ac.ir

Tel: 09112549150

Introduction

Regulating the water level in canals and reservoirs, also flood control, is one of the most important factors in the management and operation of irrigation networks. If the fusegate is used, in addition to raising the water level up to the desired height, because of having a longer effective length, it causes less water level changes for different flow rates and also in times of flood, by overturning some units, the fusegate will pass the flood flow in this study standard WLH fusegate was investigated.

Materials and Methods

Laboratory flume that was used in this study, has 12 meters long and has a rectangular cross section with 0.5 meters width and 0.7 meters height. The scale model of the WLH fusegate according to the width of the flume, was made in two cycles (each cycle is 25 cm wide) with a cup height of 16.7 cm and in one centimetre thickness. Wells with five heights of 16, 17.25, 18.5, 19.75, and 21 cm (please note that these wells are placed on the chamber) were made of PVC. Iron weights were used in the bottom part of the units to maintain balance and prevent the units from overturning quickly. Fusegates located in the middle and end of the laboratory flume and they were tested before and after overturning. The values of different discharges and their corresponding upstream depths were recorded. The flow range tested in this research was from 8.5 to 62 liters per second.

Results

The stage-discharge curves of the WLH fusegate with five different well heights before and after overturning show that trend of changes in stage-discharge curve before and after the overturning of the fusegate has no significant. After overturning one fusegate unit, the water depth in the flume decreased about 30%, and by overturning both fusegate units, the water depth in the flume decreased about 50%. In the case where the fusegate is installed at the end of the flume, the process of changing the stage-discharge curve before and after overturning is similar to the case of installing it in the middle of the flume, but the water depth in the flume at a certain discharge is on average about 7 to 11% less than the position of the structure in the middle of the flume. After overturning a fusegate unit that is hinged and remains bent, it can be seen that the water level in the canal decreases by about 15% on average. In the case that both fusegate units are overturned and bent and remain in their place, the amount of water height reduction in the channel is almost the same (except for low flows). The difference between the two stage-discharge curves is between the overturning state of one unit or two hinged fusegate units at low flow rates and at high flow rates, approximately at $y/H=1.3$ (the ratio of the water depth in the channel to the height of the fusegate) and the difference dimension. There is no significant difference between them. In before overturning state, Using 80% of data and correlation coefficient R^2 , appropriate relationships were proposed for estimating the discharge coefficient and this relationships were validated using the remaining 20% of the data and Evaluation criteria RMSE. The results of the present research are in relatively good agreement with the results of other researchers.

Discussion and Conclusion

The results showed that the trend of changes in stage-discharge curve before and after the overturning of the fusegate has no significant relationship with the height of the well. In general, in higher well height, water enters the well lately and the fusegate overturns later and in a higher discharge. After overturning of the fusegate, the upstream water depth decreases. The results showed that by locating the studied structure in the middle of the flume, after overturning one fusegate unit, the water depth in the flume decreased about 30%, and by overturning both fusegate units, the water depth in the flume decreased about 50%. In the case where the fusegate is installed at the end of the flume, the process of changing the stage-discharge curve before and after overturning is similar to the case of installing it in the middle of the flume, but the water depth in the flume at a certain discharge is on average about 7 to 11% less than the position of the structure in the middle of the flume. In general, fusegates have a good performance for the passage of flood discharges. In the case that the fusegate is made of iron and hinged, the cost of replacing the fusegate, which is one of the disadvantages of fusegates, is reduced, but the amount of depth reduction after overturning is reduced (about 15%). Finally, relationships for estimating the discharge coefficient of the fusegate in state of before overturning were presented, and the statistical parameters show that these relationships have good accuracy in estimating the values of discharge coefficient.

Six important references

- 1) Afshar, A. and Takbiri, Z. 2009. Optimal Design and Operation of fuse-Gates Considering Water Loss Due to Gates Tilting. *Environmental and Water Resources*, ASCE, United State, 3053-3060.
- 2) Afshar, A. and Takbiri, Z. 2012. Fusegates Selection and Operation: Simulation-Optimization Approach. *Journaul of Hydro informatics*, 464-477.
- 3) ASCE. 2000. Hydraulic modeling: Concepts and practice. Manual 97, Ameracan Society of Civil Engineering, Reston, Va, United States.
- 4) Beretta, M., Menduni, G., Riboni, V. and Rosso, R. 2000. Controlling Polders by FusegateTM Technology for River Flood Risk Management. *Hydroplus International*, paris. 11 pp.
- 5) De Simone, C., Jafari, N., Dasi, B. and Abdolahi, M. 2012. Study on Fusegate as a Phenomenon Gates Sarough Water Reservoir Dam in West Azarbaijan- Iran. *The First International conference on Dams & Hydropower*. 10 pp.
- 6) Falvey, H.T. and Treille, P. 1995. Hydraulics and Design of Fusegates. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 121(7), 512-518.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

بررسی منحنی دبی- اشل قبل و بعد از واژگونی سرریز فیوزگیت

سمیه خلیلی^۱، رامین فضل‌اولی^{۲*}، علیرضا عمادی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

در پژوهش حاضر، منحنی دبی- اشل سرریز فیوزگیت استاندارد نوع WLH (عریض با بار کم) در حالت قبل و بعد از واژگونی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور فیوزگیت WLH با ارتفاع ۱۶/۷ سانتی‌متر به صورت دو سیکلی با پنج ارتفاع متفاوت چاهک ساخته شد و بعد از قرار گرفتن در دو موقعیت میانه و انتهای کانال و در حالت قبل و بعد از واژگونی، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات منحنی دبی- اشل قبل و بعد از واژگونی فیوزگیت ارتباط قابل ملاحظه‌ای با ارتفاع چاهک ندارد. با استقرار سازه مورد مطالعه در میانه‌ی کانال، بعد از واژگونی یک واحد فیوزگیت مقدار عمق آب در کانال حدود ۳۰ درصد کاهش^۴ و با واژگونی هر دو واحد فیوزگیت، عمق آب در کانال حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. در حالتی که فیوزگیت در انتهای کانال نصب شده باشد، روند تغییرات منحنی دبی-اشل قبل و بعد از واژگونی مشابه حالت نصب در میانه کانال است منتها عمق آب در کانال در دبی معین، به‌طور متوسط حدود ۷ تا ۱۱ درصد کمتر از حالت قرارگیری سازه در میانه‌ی کانال می‌باشد. در حالتی که فیوزگیت از جنس آهن و لولا شده باشد، هزینه جایگزینی فیوزگیت که از معایب فیوزگیت‌ها است کاهش می‌یابد. هم‌چنین مقدار کاهش عمق بعد از واژگونی کم می‌شود (حدود ۱۵ درصد). در نهایت روابطی برای تعیین ضریب دبی فیوزگیت در حالت قبل واژگونی ارائه شد که پارامترهای آماری نشان می‌دهند که این روابط از دقت خوبی در تخمین مقادیر ضریب دبی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: بعد از واژگونی، دبی، فیوزگیت، کانال آزمایشگاهی، منحنی دبی-اشل.

^۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. so.khalili@yahoo.com

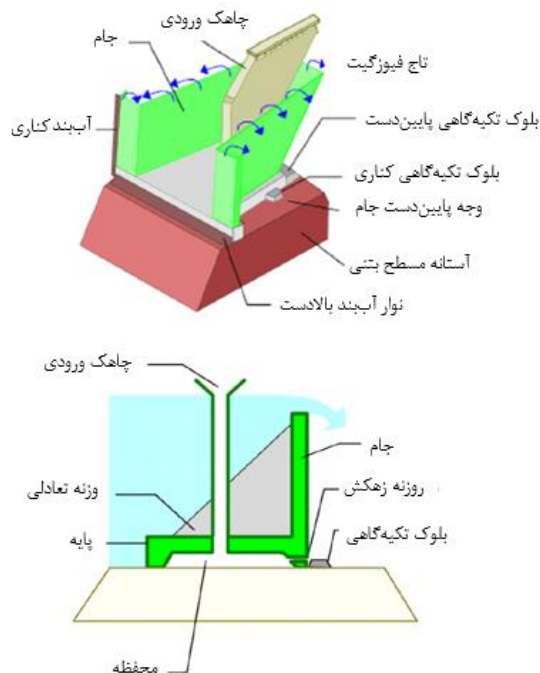
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(* نویسنده مسئول: raminfazl@yahoo.com, r.fazloula@sanru.ac.ir)

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. emadia355@yahoo.com, a.emadi@sanru.ac.ir

مقدمه

تنظیم سطح آب در کانال‌ها و مخازن و همچنین کنترل سیل، از مهم‌ترین فاکتورها در مدیریت و بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری می‌باشد. اگر از سرریز فیوزگیت استفاده شود، علاوه بر این که سطح آب را تا ارتفاع مورد نظر بالا می‌آورد به علت دارا بودن طول مؤثر بیشتر به ازای دبی‌های مختلف تغییرات سطح آب کم‌تری ایجاد می‌کند و همچنین در مواقع سیلابی با واژگون شدن برخی واحدها، فیوزگیت دبی سیلابی را از خود عبور می‌دهد. سرریز فیوزگیت ترکیبی از سرریز کنگره‌ای و فیوزپلاگ می‌باشد. سرریز فیوزگیت نسبت به سرریز کنگره‌ای برای سیل‌های بزرگ‌تری عمل می‌کند (Khatsuria., 2000) و عملکرد آن شبیه سرریز کنگره‌ای هوادهی شده می‌باشد (John Hite and Mifkovic., 2000). فیوزگیت‌ها در سال ۱۹۸۹ به وسیله فرانسویس لمپریه^۱، به‌عنوان یک سیستم ساده و ایمن برای افزایش ذخیره مخزن، افزایش ظرفیت تخلیه سرریز و در نتیجه افزایش ایمنی سد اختراع شدند (Falvey and Treille., 1995) و در بیش‌تر از ۴۰ سد در ۱۴ کشور مختلف در بین ۵ قاره اجرا شده‌است (Kocahan, 2003). سرریز فیوزگیت برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ روی سد ذخیره‌ای لوساس^۲ در فرانسه به اجرا در آمد که توانست ظرفیت ذخیره مخزن را حدود ۱۵ درصد افزایش دهد (Lamperiere, 1992). از جمله معایب سرریز فیوزگیت هزینه جایگزینی و کاهش مقطعی حجم مخزن می‌باشد (Lemperiere and Vigny., 2007). هر فیوزگیت شامل ۳ جزء اصلی است که عبارتند از: جام (از فلز یا بتن مسلح)، پایه و چاهک ورودی^۳ که به محفظه‌ای که در پایه می‌باشد، متصل است (Chevalier et al., 1996). شکل (۱) نمای سه‌بعدی و برش شماتیک از یک واحد فیوزگیت را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمای سه بعدی و برش شماتیک از یک واحد فیوزگیت (کریمیان علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۰)

فیوزگیت‌ها، توسط سازنده‌ها به سه مدل استاندارد دریچه باریک با بار کم^۴ (NLH)، دریچه عریض با بار کم^۵ (WLH) و دریچه عریض با بار زیاد^۶ (WHH) تولید می‌شوند. علایم W و N به ترتیب نشان‌دهنده‌ی عریض و ارتفاع آن و علایم LH و HH به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ارتفاع کم و ارتفاع زیاد بر اساس معیار محدوده سرریز شدن جریان می‌باشد. معیارهای طراحی برای این سه مدل استاندارد فیوزگیت مطابق با روابط موجود در جدول (۱) می‌باشد.

⁴ Narrow, Low Head

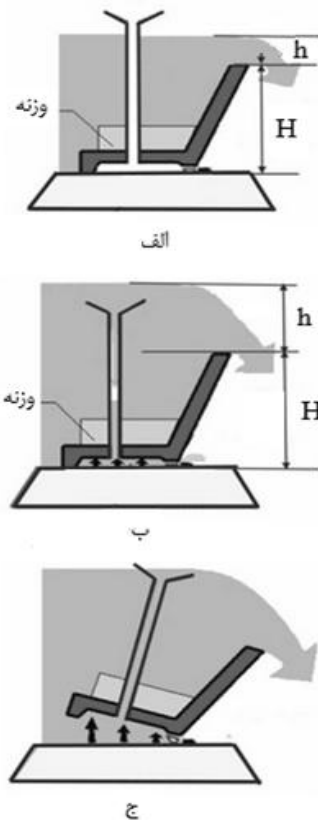
⁵ Wide, Low Head

⁶ Wide, High Head

¹ François Lempérière

² Lussas

³ Inlet well



شکل (۲): مراحل عملکرد فیوزگیت: الف- عملکرد مشابه سرریز، ب- پر شدن تدریجی چاهک و ج- واژگونی فیوزگیت

برتتا و همکاران به بررسی عملکرد فیوزگیت نصب شده در صفحه‌های کناری رودخانه‌ها پرداختند و نتیجه گرفتند که استفاده از فیوزگیت در زمینه کنترل سیل رودخانه‌ای مناسب می‌باشد (Beretta et al., 2000). فشار و تکبیری به طراحی بهینه فیوزگیت‌ها با توجه به اتلاف آب در اثر سرازیر شدن آن‌ها پرداختند و نتیجه گرفتند که روندیابی سیلاب اثر مهمی روی طراحی بهینه فیوزگیت‌ها دارد (Afshar and Takbiri., 2009). فشار و تکبیری روش شبیه‌ساز- بهینه‌ساز را با استفاده از الگوریتم ژنتیک ترکیبی (GA) برای گزینش عملی نصب و عملکرد فیوزگیت‌ها توسعه دادند (Afshar and Takbiri., 2012). کریمیان علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۰)، به مقایسه عملکرد فیوزگیت‌ها و دریچه‌های قطاعی از نظر فنی پرداختند و با بررسی هیدروگراف‌های ورودی و خروجی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از فیوزگیت‌ها

جدول (۱): معیارهای طراحی برای سه مدل استاندارد فیوزگیت (Falvey and Treille., 1995)

مدل فیوزگیت	عرض فیوزگیت (W)	طول تاج فیوزگیت (Lc)	طول کف فیوزگیت (La)
NLH	1.0H	3.76H	1.0H
WLH	1.5H	4.09H	1.0H
WHH	1.8H	5.22H	1.2H

H= ارتفاع فیوزگیت

برای دبی‌های بیش‌تر از دبی طراحی، آب از طریق چاهک به محفظه‌ای که در پایه فیوزگیت قرار دارد، می‌ریزد. در صورتی که جریان ورودی به چاهک از جریان خروجی از سوراخ‌های زهکش تجاوز کند، تراز آب در داخل چاهک افزایش پیدا می‌کند و نتیجه آن افزایش فشار در محفظه پایین است که نیروی بالابر^۱ را به فیوزگیت اعمال می‌کند. نیروی بالابر دریچه را ناپایدار کرده و در یک تراز از پیش تعیین شده آب در چاهک، فیوزگیت حول لبه پایین‌دست خود چرخش می‌کند. در واقع، این فرایند زمانی اتفاق می‌افتد که مجموع گشتاورهای محرک از مجموع گشتاورهای مقاوم بیش‌تر شود. به همین دلیل، تاج چاهک در هر فیوزگیت در ارتفاع مختلفی تنظیم می‌شود تا واحدهای فیوزگیت با هم سرازیر نشوند (Falvey and Treille., 1995). مراحل عملکرد فیوزگیت در شکل (۲) نشان داده شده است (H: ارتفاع سرریز و h: ارتفاع آب روی سرریز).

¹ Uplift Force

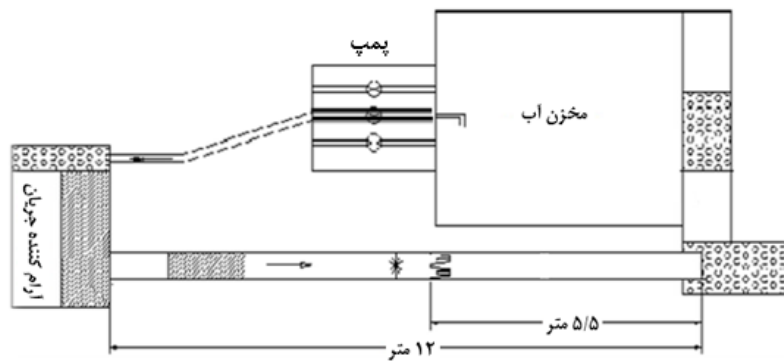
نتیجه گرفتند که با نصب فیوزگیت‌ها ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن حدود ده میلیون مترمکعب افزایش یافت و بررسی هیدروگراف سیلاب با شش دوره بازگشت متفاوت (از دو تا ۱۰۰۰ سال) نشان داد که ظرفیت سد با تجهیز به فیوزگیت افزایش یافته است (Samet & Ashrafi, 2022). در کانال‌ها و مخازن برای تنظیم سطح آب بالادست از سرریزها استفاده می‌شود. اگر از سرریز فیوزگیت استفاده شود علاوه بر این که سطح آب را تا ارتفاع مورد نظر بالا می‌آورد به علت دارا بودن طول مؤثر بیشتر به ازای دبی‌های مختلف، تغییرات سطح آب کم-تری ایجاد می‌کند که در این صورت نیاز به عمق آزاد کم‌تری می‌باشد. همچنین در مواقع سیلابی با واژگون شدن برخی واحدها، فیوزگیت دبی سیلابی را از خود عبور داده و از آب‌گرفتگی زمین‌های بالادست جلوگیری می‌کند و عملکرد بهتر و ایمن‌تری جهت عبور دبی‌های سیلابی دارد. با توجه به مرور منابع انجام شده و توضیحاتی که داده شد استخراج منحنی‌های دبی-اشل در سرریز فیوزگیت قبل و بعد از واژگونی این سازه می‌تواند اطلاعات مفیدی را به منظور مدیریت و محاسبات تراز سطح آب در این سازه در اختیار محققان و مدیران قرار دهد بنابراین پژوهش حاضر با هدف تعیین منحنی‌های دبی-اشل در سرریز فیوزگیت در حالت قبل و بعد از واژگونی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نمای شماتیک مدار گردش جریان و تصویر فلوم آزمایشگاهی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که پژوهش حاضر در آن انجام شده، نمایش داده شده است. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر به طول ۱۲ متر دارای سطح مقطع مستطیلی به عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۷ متر می‌باشد. اسکلت آن فلزی با دیواره‌ها و کف شیشه‌ای است. در ابتدای کانال، مخزنی مکعبی شکل قرار دارد تا آشفتگی آب پمپاژ شده را گرفته و جریان آرامی را وارد کانال کند. در ابتدای ورودی کانال برای

نسبت به دریچه‌های قطاعی بهینه و اقتصادی‌تر است. دسیمونه و همکاران به مطالعه فیوزگیت‌ها به‌عنوان سیستم کنترل سرریز، برای سد مخزنی ساروق در آذربایجان غربی پرداختند. از آنجا که با بررسی آب‌های سطحی، زمان کافی بین شروع سیل و حداکثر آن، برای عملکرد ناقص دریچه‌های مکانیکی سنتی وجود نداشت، فیوزگیت‌ها توانستند با ایجاد مانعی نفوذناپذیر، سطح مخزن دائمی را به بالاتر از تراز تاج سرریز برسانند (De Simone et al., 2012). تکبیری و افشار دو ساختار چند هدفه را برای بهینه‌سازی مدل فیوزگیت‌ها به‌منظور برآورد توابع خسارت ریاضی و تهیه اطلاعات با ارزش بر روی احتمال شکست، هزینه کل و حجم آب افزایش یافته مخزن، توسعه دادند (Takbiri and Afshar., 2012). سولانکی و همکاران سیستم فیوزگیت روی سد داتاروادی در گوجارات را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که فیوزگیت سطح مخزن، ظرفیت ذخیره و آبیاری سالانه را افزایش داده‌است و همچنین در هنگام سیل سنگین با واژگونی فیوزگیت‌ها یکی پس از دیگری، از بالا آمدن ناگهانی آب در خروجی جلوگیری به عمل آمد (Solanki et al., 2014). غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳)، به بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزایش شیب کانال بر روند ضریب دبی در ۳ مدل فیوزگیت WLH، خطی و خطی با نیمرخ مایل پرداختند و نتیجه گرفتند با افزایش شیب کانال، ضریب دبی افزایش می‌یابد. غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۴)، به بررسی آزمایشگاهی اثر افزایش ارتفاع چاهک و جرم وزنه بر ضریب دبی سرریز فیوزگیت مدل WLH در کانال‌های کوچک پرداختند و نتیجه گرفتند که پارامترهای بدون بعد h/H (ارتفاع آب روی سرریز به ارتفاع فیوزگیت) و عدد وبر، روی ضریب دبی مؤثرند به‌طوری‌که با افزایش نسبت h/H و We ، ضریب دبی کاهش می‌یابد. شاه‌کرمی به بررسی فیوزگیت نوع WHH به‌عنوان سازه کنترل هیدرولیکی در رودخانه‌ها پرداخت و نتیجه گرفت که مدل مذکور برای این امر مناسب می‌باشد (Shahkarami., 2020). صامت و اشرفی به مطالعه فیوزگیت‌های سد ساروق پرداختند و

کاهش موج‌های سطحی، صفحه‌های یونولیت قرار داده شده‌است.



شکل (۳): نمای شماتیک مدار گردش آب در کانال مورد استفاده در آزمایش‌ها



شکل (۴): تصویر کلی از کانال مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها

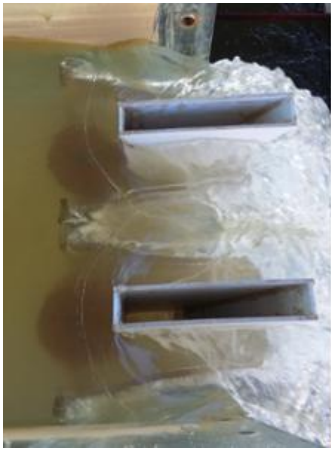
فارسی‌بر نمودن لبه قطعات، اجزای هر سازه با ماده شیمیایی کلروفورم که حلال پلکسی گلاس است به یکدیگر متصل شدند و با چسب آکوارיום آب‌بندی شد. چاهک‌ها با پنج ارتفاع ۱۶، ۱۷/۲۵، ۱۸/۵، ۱۹/۷۵ و ۲۱ سانتی‌متر (توجه شود این چاهک‌ها روی محفظه قرار می‌گیرند در نتیجه تراز ورودی همه‌ی این چاهک‌ها از تراز تاج سرریز فیوزگیت بالاتر است) از جنس پی وی سی ساخته شدند. برای برقراری تعادل و عدم واژگونی سریع واحدها، در قسمت کف آنها از وزنه آهنی استفاده شد. در واقع پس از نصب فیوزگیت در کانال، تاج فیوزگیت نسبت به کف کانال در تراز ۱۸/۷ سانتی‌متر (مجموع ارتفاع جام،

اندازه‌گیری دبی جریان به وسیله‌ی فلومتر انجام شد که بر اساس تنظیمات انجام شده دبی را بر حسب لیتر بر ثانیه و با دقت یک صدم لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌کند. عمق بالادست نیز به وسیله‌ی ارتفاع سنج اولتراسونیک (با دقت ۰/۱ میلی‌متر) ثبت شد. مدل فیزیکی فیوزگیت WLH از جنس ورق پلکسی گلاس و با توجه به عرض کانال به صورت دوسیگلی (هر سیکل به عرض ۲۵ سانتی‌متر) با ارتفاع جام ۱۶/۷ سانتی‌متر و با ورق پلکسی گلاس به ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شد که معیار طراحی آن بر اساس جدول (۱) می‌باشد. برای این منظور ورق پلکسی گلاس به‌وسیله‌ی لیزر برش داده شد و بعد از

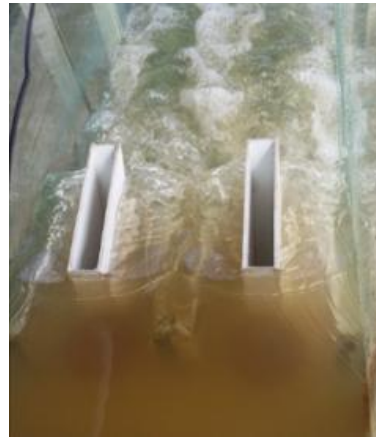
چاهک آن کم‌تر است، زودتر واژگون می‌شود و واحد فیوزگیت دیگر در جای خود باقی می‌ماند تا دبی آنقدر زیاد شود تا به چاهک با ارتفاع بلندتر ریخته و باعث واژگونی فیوزگیت شود. لذا داده‌برداری برای حالتی که یکی از واحدهای فیوزگیت واژگون باشد و دیگری در حال کار باشد و همچنین در حالتی که هر دو واحد فیوزگیت واژگون باشند نیز انجام شد. از آنجایی که یکی از معایب کاربرد فیوزگیت‌ها هزینه جایگزینی و کاهش سریع حجم ذخیره مخزن می‌باشد، در حالتی که فیوزگیت لولا شده باشد و بعد از واژگونی خم شود و سر جایش باقی بماند نیز داده‌برداری انجام شد. در ادامه فیوزگیت در انتهای کانال نصب شد و داده‌برداری‌ها قبل و بعد از واژگونی برای آن انجام شد. شکل‌های (۵) تا (۹) جریان عبوری از فیوزگیت WLH را در حالت قبل و بعد از واژگونی نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که محدوده دبی مورد آزمایش در پژوهش حاضر از ۸/۵ تا ۶۲ لیتر بر ثانیه بوده‌است.

ارتفاع پاشنه و چسب و فوم آب‌بندی) و ورودی هر یک از چاهک‌ها در موقعیت خود در جام فیوزگیت، به ترتیب در تراز ۲۱/۲، ۲۲/۴۵، ۲۳/۷، ۲۴/۹۵ و ۲۶/۲ (مجموع ارتفاع چاهک، ارتفاع محفظه، ارتفاع پاشنه و چسب و فوم آب-بندی) قرار می‌گیرد.

ابتدا مدل فیوزگیت با لولا روی پاشنه قلاویز شد و پاشنه با چسب سیلیکون در میانه‌ی کانال نصب شد. پس از برقراری جریان آب در کانال، دبی از کم به زیاد مرحله به مرحله افزایش یافت و در هر مرحله بعد از این که از ثابت شدن دبی اطمینان حاصل شد، دبی و ارتفاع آب بالادست فیوزگیت قرائت شد. آزمایش‌ها از کم‌ترین دبی ممکن (که حدود ۲/۵ سانتی‌متر ارتفاع تیغه‌ی آب روی سرریز ایجاد کند تا اثر کشش سطحی حذف شود) آغاز شده و مرحله به مرحله افزایش یافت و عمق متناظر با آن برداشت شد تا زمانی که آب داخل چاهک فیوزگیت بالا آمده و آن را در آستانه واژگونی قرار دهد. بعد از واژگونی نیز داده‌برداری ادامه یافت. از آنجایی که ارتفاع چاهک دو فیوزگیت متفاوت می‌باشد، واحد فیوزگیتی که ارتفاع



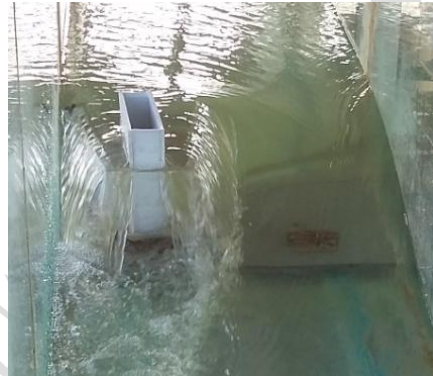
شکل (۶): جریان عبوری از فیوزگیت در انتهای کانال



شکل (۵): جریان عبوری از فیوزگیت در میانه کانال



شکل (۸): جریان عبوری از فیوزگیت بعد از واژگونی
یک واحد فیوزگیت (لولا شده)



شکل (۷): جریان عبوری از فیوزگیت بعد از واژگونی یک
واحد فیوزگیت



شکل (۹): جریان عبوری از فیوزگیت بعد از واژگونی هر دو واحد (لولا شده)

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L_c h^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

که در این رابطه Q دبی، g شتاب ثقل، C_d ضریب دبی، L_c طول تاج فیوزگیت و h اختلاف تراز تاج و تراز آب در مخزن می‌باشد. با توجه به تعریف دبی نظری

معادلات حاکم و آنالیز ابعادی

مشخصات دبی عبوری از فیوزگیت با استفاده از ضریب دبی C_d ، طبق رابطه زیر بیان می‌شود (Rouse, 1960):

که در این رابطه Re و We به ترتیب عدد بدون بعد رینولدز و عدد بدون بعد وبر هستند. چنانچه عمق جریان روی سرریز از $2/5$ سانتی متر کمتر نشود، از تأثیر نیروی کشش سطحی می توان چشم پوشی کرد (ASCE., 2000 and Henderson., 1966). از آنجایی که در بیشتر مواقع تیغی آب روی سرریز ضخامت کافی داشته (عدد وبر بالا) و جریان عبوری از سازه آشفته (عدد رینولدز بین ۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰) است، در پژوهش حاضر بررسی دو متغیر لزجت و کشش سطحی مورد نظر نمی باشد. بنابراین با صرف نظر کردن از اثر لزجت و کشش سطحی رابطه‌ی (۸) به فرم تابعی زیر کاهش می یابد.

$$C_d = f\left(\frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}\right) \quad (9)$$

با توجه به این نکته که پارامترهای بی بعد را می توان در هم ضرب و یا بر هم تقسیم نمود، با تقسیم پارامترهای بی بعد رابطه (۵) بر یکدیگر به رابطه زیر می رسیم:

$$C_d = f\left(\frac{h}{H}, \frac{W}{H}, \frac{L_c}{H}, \frac{P}{H}\right) \quad (10)$$

با توجه به اینکه در پژوهش حاضر P یا ارتفاع پاشنه ثابت در نظر گرفته شده است پس پارامتر P/H ثابت بوده است. همچنین پارامترهای W/H و L_c/H طبق جدول طراحی فیوزگیت ها برای هر نوع فیوزگیت اعداد ثابتی هستند بنابراین می توان برای یک نوع خاص فیوزگیت، آن ها را از رابطه (۱۰) حذف نمود که در این صورت رابطه (۱۱) حاصل می شود که نشان می دهد در یک نوع خاص از فیوزگیت، ضریب دبی به طور مستقیم به پارامتر h/H وابسته است.

$$C_d = f\left(\frac{h}{H}\right) \quad (11)$$

نتایج و بحث

منحنی های دبی- اشل سرریز فیوزگیت WLH با پنج ارتفاع متفاوت چاهک در حالت قبل و بعد از واژگونی در شکل های (۱۰) تا (۱۳) ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود، ارتفاع چاهک تأثیر قابل ملاحظه ای در روند تغییرات منحنی دبی- اشل ندارد ولی به طور کلی

سرریز فیوزگیت، مقدار ضریب دبی با تعریف $C_d = Q_a/Q_t$ به صورت زیر قابل محاسبه است که در آن C_d ضریب دبی، Q_a دبی واقعی و Q_t دبی تئوری می باشد.

$$C_d = \frac{Q_a}{\frac{2}{3}\sqrt{2g}L_c h^{3/2}} \quad (2)$$

ضریب دبی، اثر کلیه عوامل مهم مانند فشردگی جریان عبوری از سرریز، در نظر نگرفتن بار آبی سرعت رسش (سرعت جریان نزدیک شونده به سازه)، افت های اصطکاکی موجود و همچنین یکنواخت فرض کردن توزیع سرعت را تصحیح می کند. ضریب دبی را می توان به صورت تابعی از عواملی که بر آن موثرند به صورت زیر نوشت:

$$C_d = f(\mu, \rho, \sigma, V, g, W, L_c, H, p, h) \quad (3)$$

همان طور که ملاحظه می شود ضریب دبی تابعی از ده متغیر مستقل ارتفاع آب روی سازه (h)، ارتفاع فیوزگیت (H)، طول تاج سرریز فیوزگیت (L_c)، ارتفاع پاشنه (p) و عرض فیوزگیت (W) دارای بعد $[L]$ ، سرعت آب در کانال (V) $[LT^{-1}]$ ، جرم مخصوص آب (ρ) $[ML^{-3}]$ ، لزجت دینامیکی آب (μ) $[ML^{-1}T^{-1}]$ ، کشش سطحی (σ) $[MT^{-2}]$ و شتاب ثقل (g) $[MT^{-2}]$ با سه کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) می باشد که با استفاده از آنالیز ابعادی می توان به معادله (۸) دست یافت که همان معادله سرریز لبه تیز است و با معادله (۲) برای محاسبه ی دبی عبوری از سرریز فیوزگیت هماهنگی دارد.

$$f_2(R_e, We, F_r, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) = 0 \quad (4)$$

$$F_r = f_3(R_e, We, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) \quad (5)$$

$$V = f_4(R_e, We, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) * \sqrt{g} * h^{1/2} \quad (6)$$

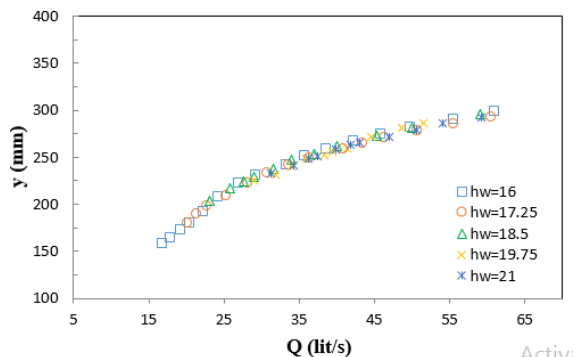
$$Q = f_5(R_e, We, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) * \sqrt{g} * L_c * h^{3/2} = \quad (7)$$

$$C_d * \sqrt{g} * L_c * h^{3/2} = \frac{Q}{\sqrt{g} * L_c * h^{3/2}} = f_6(R_e, We, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) \quad (8)$$



شکل (۱۳) نیز مشاهده می‌شود که در دبی‌های کم تغییرات عمق آب به ازای افزایش دبی بیشتر است و از دبی مشخصی به بعد تغییرات عمق به ازای تغییرات دبی کم‌تر می‌شود. علت این امر آن است که در حالتی که یک واحد فیوزگیت واژگون و منهدم شود و تک واحد بماند، تا قبل از اینکه ارتفاع آب در کانال بیشتر از تراز تاج فیوزگیت نشود، آب از جای خالی واحد واژگون شده عبور می‌کند و از روی واحد باقی مانده سرریز نمی‌کند. زمانی که دبی افزایش می‌یابد و ارتفاع آب در کانال از تاج واحد فیوزگیت باقی مانده بیشتر می‌شود، آب علاوه بر عبور از جای خالی واحد واژگون شده، از روی واحد باقی مانده نیز سرریز می‌کند. در واقع از این عمق به بعد، طول مؤثر افزایش می‌یابد و در نتیجه تغییرات عمق به ازای تغییرات دبی، کم‌تر می‌شود.

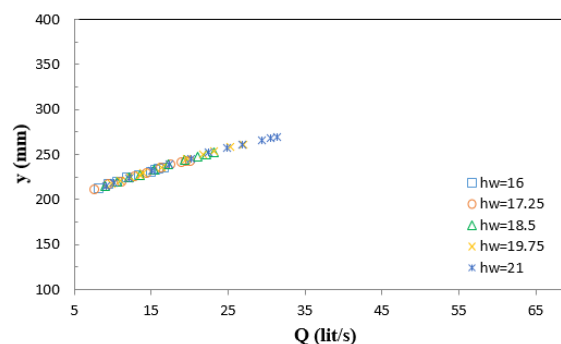
هرچه ارتفاع چاهک فیوزگیت بیشتر باشد، دبی و ارتفاع آب بیشتری لازم است تا آب وارد چاهک فیوزگیت شود و آن را ناپایدار کند. بعد از واژگونی فیوزگیت، ارتفاع آب در کانال کاهش یافته که بیان‌گر این است که به ازای عمق آب معین در کانال، بعد از واژگونی فیوزگیت، دبی بیشتری عبور می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود در دبی‌های کم، تغییرات عمق آب به ازای افزایش دبی بیشتر است علت این امر آن است که در حالتی که فیوزگیت لولا باشد و بعد از واژگونی خم شود و در جای خود بماند، در دبی‌های کم جریان عبوری از فیوزگیت واژگون شده سرریز نمی‌کند و از فاصله‌ی بین دیواره‌های فیوزگیت و از داخل سوراخ چاهک عبور می‌کند. در دبی‌های بیشتر علاوه بر عبور آب از فاصله بین دیواره‌های فیوزگیت و سوراخ چاهک، از روی فیوزگیت واژگون شده سرریز می‌کند. در نتیجه بعد از سرریز کردن، تغییرات سطح آب به ازای تغییرات دبی کم‌تر می‌شود. در



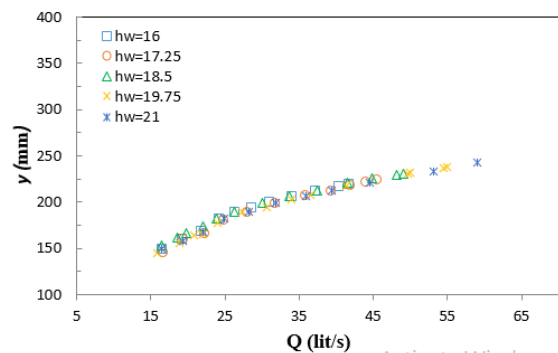
شکل (۱۱): منحنی دبی-اشل بعد واژگونی هر دو واحد

فیوزگیت

(هر دو واحد خم یا لولا شده)



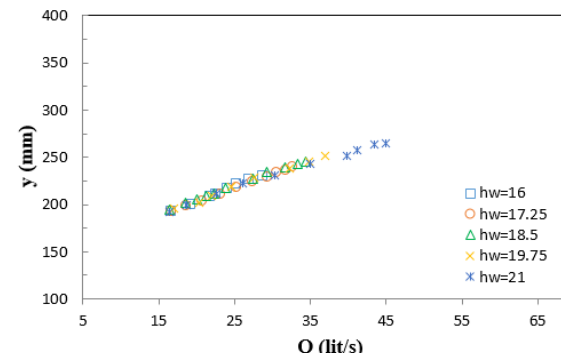
شکل (۱۰): منحنی دبی-اشل سرریز فیوزگیت (هر دو واحد قبل واژگونی)



شکل (۱۳): منحنی دبی-اشل بعد واژگونی و انتقال یک واحد

فیوزگیت به پایین دست (تک واحد در موقعیت خود به صورت

ایستاده باقی مانده)



شکل (۱۲): منحنی دبی-اشل بعد واژگونی یک واحد فیوزگیت

(یک واحد ایستاده و یک واحد واژگون به صورت خم شده در

موقعیت نصب)

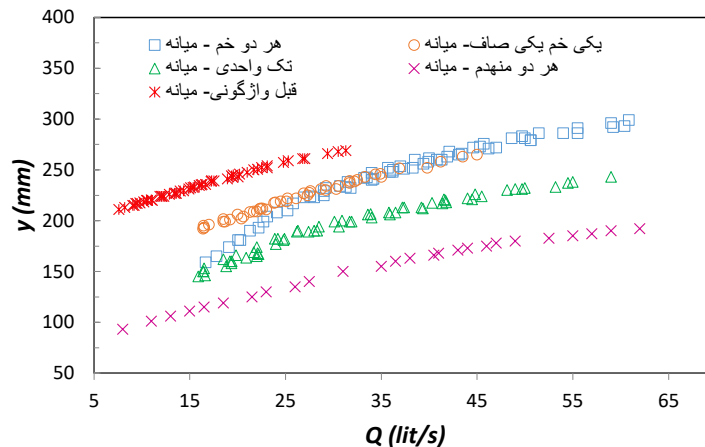
دبی-اشل در شکل (۱۴) ملاحظه می‌گردد که در یک دبی ثابت ارتفاع آب بالادست در حالتی که هر دو واحد فیوزگیت واژگون شده‌باشد، بیش‌تر از حالتی است که یک واحد فیوزگیت واژگون شود. با واژگونی یک واحد فیوزگیت و منهدم شدن آن (تک واحدی) عمق آب در کانال به‌طور متوسط حدود ۳۱ درصد کاهش یافته است و با واژگونی هر دو واحد فیوزگیت که فقط پاشنه در کانال بماند (هر دو منهدم شود)، عمق آب در کانال نسبت به حالتی که هر دو واحد فیوزگیت در حال کار باشند، حدود ۵۰ درصد کاهش نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هزینه جایگزینی و کاهش سریع حجم مخزن از معایب کاربرد فیوزگیت‌ها می‌باشد، حال اگر فیوزگیت‌ها از جنس فلز باشند و

منحنی دبی-اشل سرریز فیوزگیت قبل و بعد از واژگونی (بدون تفکیک داده‌های مربوط به چاهک با ارتفاع‌های متفاوت) در شکل (۱۴) رسم شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در یک دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست فیوزگیت قبل از واژگونی بیش‌تر از بعد از واژگونی می‌باشد و در یک عمق ثابت، دبی یا ظرفیت تخلیه بعد از واژگونی فیوزگیت بیش‌تر از قبل از واژگونی می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد ارتفاع چاهک واحدهای فیوزگیت متفاوت می‌باشد تا با هم واژگون نشوند. واحد فیوزگیتی که ارتفاع چاهک آن کم‌تر است، زودتر واژگون می‌شود و واحد فیوزگیت دیگر در جای خود باقی می‌ماند تا دبی آنقدر زیاد شود تا به چاهک با ارتفاع بلندتر ریخته و باعث واژگونی فیوزگیت شود. از مقایسه‌ی منحنی‌های

واحد واژگون شده لولا باشد و خم شود و سر جای خود باقی بماند، حدود ۱۶ درصد بیش تر کم می شود. در حالتی که هر دو واحد فیوزگیت واژگون و خم شوند و سر جایشان بمانند نیز میزان کاهش ارتفاع آب در کانال تقریباً به همین اندازه می باشد (به غیر از دبی های کم). تفاوت دو منحنی دبی-اشل بین حالت واژگونی یک واحد یا دو واحد فیوزگیت لولا شده در دبی های پایین است و در دبی های بالا، تقریباً در $y/H=1.3$ (نسبت عمق آب در کانال به ارتفاع فیوزگیت) به بعد تفاوت قابل ملاحظه ای میان آنها وجود ندارد.

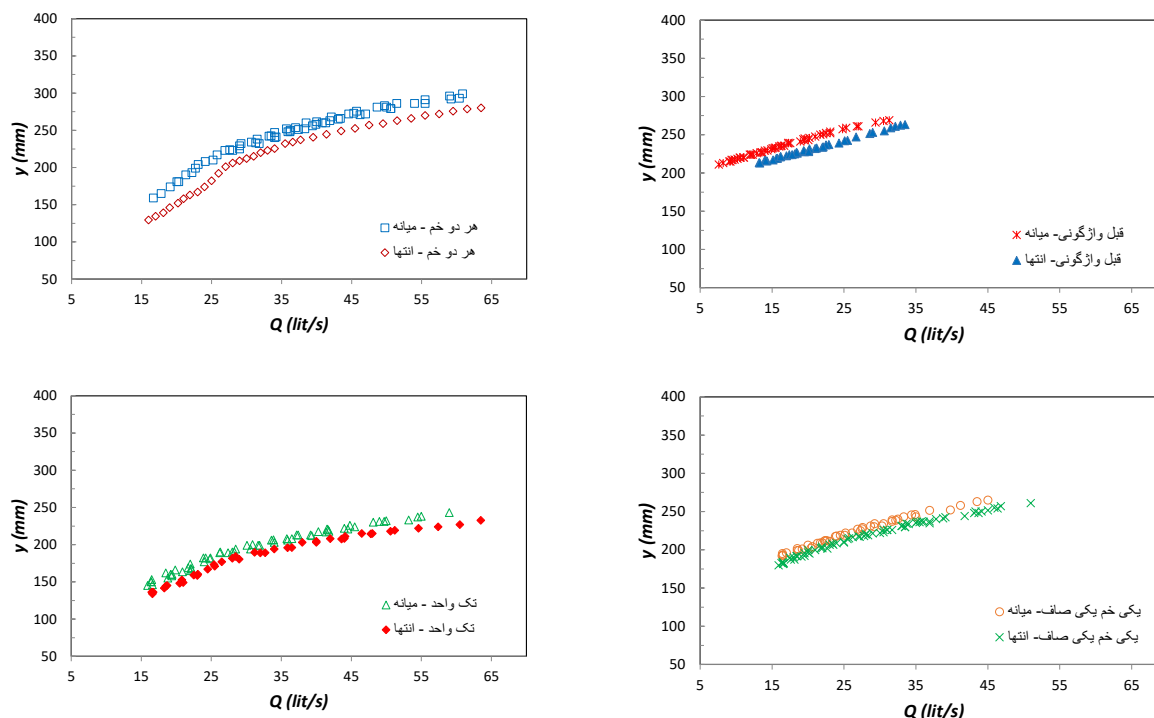
فیوزگیت لولا شده باشد و بعد از واژگونی خم شود و سر جایش باقی بماند، از هزینه کم می شود ولی برای سیل-های کمتر مناسب می باشد چون در این حالت کاهش ارتفاع آب در کانال بعد از واژگونی کم می باشد. با مشاهده نمودار دبی-اشل بعد از واژگونی یک واحد فیوزگیت که لولا شده و به صورت خم شده سر جایش باقی بماند، مشاهده می شود که ارتفاع آب در کانال به طور متوسط حدود ۱۵ درصد کاهش می یابد. در یک دبی ثابت، عمق آب در کانال بعد از واژگونی یک واحد فیوزگیت در حالتی که واحد واژگون شده منهدم شود نسبت به حالتی که



شکل (۱۴): مقایسه ی منحنی های دبی-اشل سرریز فیوزگیت در حالات مختلف قبل و بعد از واژگونی

ریزشی شدن جریان، به طور متوسط عمق آب در کانال حدود ۷ تا ۱۱ درصد کاهش می یابد در نتیجه آب در دبی بالاتری نسبت به حالتی که در میانه کانال قرار داشت، وارد چاهک می شود. برای مثال وقتی یک واحد فیوزگیت واژگون شود و تک واحد بماند، در بیشترین دبی آزمایشها (حدود ۶۲ لیتر بر ثانیه) ارتفاع آب در کانال به اندازه ای نمی رسد که وارد چاهک با ارتفاع ۱۹/۷۵ سانتی-متری شود در حالی که در میانه ی کانال، در دبی حدود ۵۵ لیتر بر ثانیه آب وارد چاهک شده و در آن بالا آمده و تک واحد فیوزگیت را ناپایدار کرد.

شکل ۱۵ منحنی های دبی اشل قبل و بعد از واژگونی فیوزگیت WLH در موقعیت نصب شده در میانه و انتهای کانال را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود روند تغییرات مشابه با حالتی است که فیوزگیت در میانه ی کانال نصب باشد. در حالتی که یک واحد فیوزگیت واژگون شود، به طور متوسط عمق آب در کانال حدود ۲۹ درصد کاهش می یابد و در صورتی که فیوزگیت لولا باشد و خم شده بماند در صورت واژگونی یک یا هر دو واحد فیوزگیت (به غیر از دبی های پایین) به طور متوسط عمق آب در کانال حدود ۱۴ درصد کاهش می یابد. به طور کلی وقتی فیوزگیت در انتهای کانال قرار می گیرد به علت

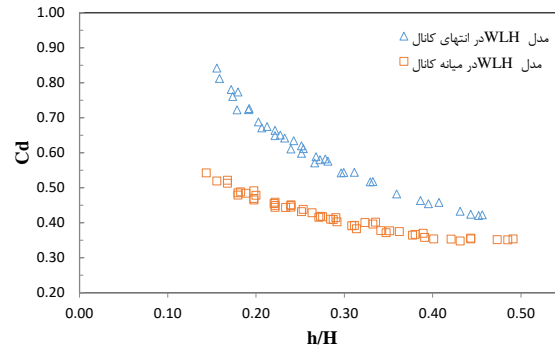


شکل (۱۵): مقایسه‌ی منحنی‌های های قبل و بعد از واژگونی سرریز فیوزگیت در دو موقعیت میانه و انتهای کانال

محاسبه ضریب دبی فیوزگیت (قبل از واژگونی)

با استفاده از تعریف دبی تئوری و اندازه‌گیری دبی واقعی، ضریب دبی آزمایشگاهی محاسبه شد و تغییرات آن در برابر پارامتر بدون بعد h/H رسم شد که در شکل (۱۶) قابل مشاهده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضریب دبی سرریز فیوزگیت در هر دو موقعیت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، با افزایش h/H به صورت توانی کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و تریله (۱۹۹۵) و غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) هم‌خوانی دارد و علت این امر آن است که با افزایش ارتفاع تیغه‌ی آب روی سرریز، جت آب عبوری از طول موازی با جریان با هم تداخل پیدا کرده و استغراق موضعی ایجاد می‌شود

که این امر باعث افزایش ارتفاع آب و کاهش ضریب دبی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در یک h/H ثابت، مقدار ضریب دبی مدل فیوزگیت در حالتی که در انتهای کانال قرار بگیرد، بیش‌تر از حالتی است که مدل در میانه کانال قرار گیرد. علت این امر این است که وقتی فیوزگیت در انتهای کانال قرار بگیرد، جریان ریزشی می‌شود و اثر تداخل جت خروجی از سرریز در اثر فشردگی دیواره‌های کانال، کم‌تر می‌شود و عمق آب کاهش می‌یابد. اختلاف مقدار ضریب دبی در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، با افزایش مقدار h/H کم‌تر می‌شود و رفته رفته به هم نزدیک می‌شوند و به مقدار ثابتی نزدیک می‌شوند



شکل (۱۶): تغییرات ضریب دبی فیوزگیت WLH (قبل واژگونی) در برابر پارامتر h/H

در این رابطه $C_{d,es}$ و $C_{d,ob}$ به ترتیب ضریب دبی مشاهداتی و ضریب دبی برآورد شده توسط رابطه برازشی پیشنهادی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. در جدول ۲ مقادیر ضرایب ثابت a و b برای سرریز فیوزگیت WLH در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال به همراه پارامترهای ارزیابی آن‌ها ارائه شده است. نزدیک به یک بودن ضریب همبستگی نشان‌دهنده انتخاب مناسب‌ترین مقادیر برای ضرایب a و b می‌باشد و نزدیک بودن مقادیر RMSE به صفر، نشان می‌دهد که روابط ارائه شده از دقت خوبی برای برآورد ضریب دبی برخوردار است. در شکل (۱۷) مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و برآورد شده ارائه شده است که نشان می‌دهد ضریب دبی‌های برآورد شده و مشاهداتی بسیار به هم نزدیک هستند.

با توجه به تحلیل ابعادی انجام شده، ضریب دبی فیوزگیت، تابعی از متغیر h/H است که بر حسب آن روابطی برای تخمین ضریب دبی با استفاده از ۸۰ درصد از داده‌ها ارائه شد که شکل کلی آن به صورت زیر است:

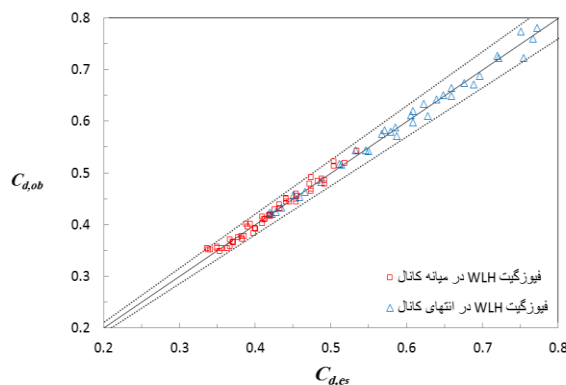
$$C_d = a \left(\frac{h}{H} \right)^b \quad (12)$$

از ضریب همبستگی (R^2) برای واسنجی استفاده شد. سپس این روابط با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده‌ی داده‌ها و معیار ارزیابی RMSE صحت سنجی شد. جذر میانگین مربعات خطا طبق رابطه‌ی (۱۳) محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (C_{d,ob} - C_{d,es})^2} \quad (13)$$

جدول (۲) مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۸) به همراه پارامترهای ارزیابی آن‌ها

موقعیت قرار گیری فیوزگیت	A	B	(واسنجی) R^2	(صحت‌سنجی) RMSE
میانه‌ی کانال	۰/۲۵۷۳	-۰/۳۷۷	۰/۹۷۴	۰/۰۰۷۴
انتهای کانال	۰/۲۶۶۹	-۰/۶۲۵	۰/۹۹۳	۰/۰۱۱۳



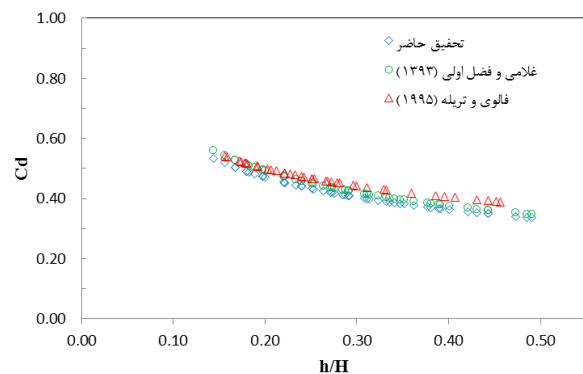
شکل (۱۷): مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و برآورد شده

روابط ارائه شده توسط ایشان، نتایج حاصل در شکل (۱۸) رسم شد و نشان می‌دهد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات دیگر پژوهش‌گران مطابقت نسبتاً مناسبی دارد.

بعد از واژگونی یک واحد فیوزگیت مقدار عمق آب در کانال حدود ۳۰ درصد کاهش یافت و با واژگونی هر دو واحد فیوزگیت عمق آب در کانال حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. در حالتی که فیوزگیت در موقعیت خود لولا شده باشد و بعد واژگونی خم شود و سر جایش باقی بماند، عمق آب در کانال بعد از واژگونی یک واحد فیوزگیت ۱۵ درصد کاهش یافته و بعد از خم شدن هر دو واحد فیوزگیت ابتدا اختلاف ارتفاع قبل و بعد واژگونی زیاد بوده ولی تقریباً در $y/H=1.3$ (نسبت عمق آب در کانال به ارتفاع فیوزگیت) به بعد، تغییرات عمق با دبی تقریباً مشابه حالتی است که یک فیوزگیت واژگون و خم شود. در حالتی که فیوزگیت در انتهای کانال نصب، روند تغییرات منحنی دبی-اشل قبل و بعد واژگونی مشابه حالت نصب در میانه است منتها عمق آب در کانال در دبی معین، به طور متوسط حدود ۷ تا ۱۱ درصد کمتر از حالت نصب در میانه‌ی کانال می‌باشد. به‌طور کلی فیوزگیت‌ها عملکرد خوبی برای عبور دبی‌های سیلابی دارند. در حالتی که فیوزگیت از جنس فلز و لولا شده باشد، هزینه جایگزینی فیوزگیت که از معایب فیوزگیت‌ها است کاهش می‌یابد. هم‌چنین مقدار کاهش عمق بعد از واژگونی کم خواهد شد (حدود ۱۵ درصد). در نهایت روابطی برای تعیین ضریب دبی فیوزگیت در حالت قبل

مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین

در پژوهش غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) و فالوی و ترپله (۱۹۹۵) برای ضریب دبی فیوزگیت‌ها در حالت قبل واژگونی روابطی ارائه شده‌است که با قراردادن داده‌های این پژوهش در



شکل (۱۸): مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات پیشین

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، منحنی‌های دبی-اشل سرریز فیوزگیت استاندارد نوع WLH در حالت‌های قبل و بعد از واژگونی به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات منحنی دبی-اشل قبل و بعد از واژگونی فیوزگیت ارتباط قابل ملاحظه‌ای با ارتفاع چاهک ندارد. به‌طور کلی هر چه ارتفاع چاهک بلندتر باشد، آب دیرتر به چاهک وارد شده و در نتیجه سازه در دبی بیش‌تری واژگون خواهد شد. با واژگونی فیوزگیت، عمق آب بالادست کاهش می‌یابد یعنی در عمق آب معین، دبی بیش‌تری را عبور می‌دهد. در میانه‌ی کانال،



این سازه برخوردار هستند.

واژگونی ارائه شد که پارامترهای آماری نشان دادند که این روابط از دقت خوبی در تخمین مقادیر ضریب دبی برای

منابع

- غلامی، ز. و فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان در ۳ مدل سرریز فیوزگیت (WLH)، خطی و خطی با نیمرخ مایل) با افزایش شیب کانال. مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک. ۹ (۲): ۲۳-۳۶.
- غلامی، ز. و فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر افزایش ارتفاع چاهک و جرم وزنه بر ضریب دبی سرریز فیوزگیت مدل WLH در کانال‌های کوچک. مجله پژوهش آب ایران. ۹ (۴): ۸۹-۹۷.
- کریمیان علی‌آبادی، ح.، ملکی‌پور، ب. و غفاری، م. ۱۳۹۰. طراحی و شبیه‌سازی سیستم فیوزگیت و مقایسه عملکرد آن با دریچه‌های قطاعی به‌منظور افزایش ارتفاع سدها. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. اردیبهشت ماه، دانشگاه سمنان. ۸ص.
- Afshar, A. and Takbiri, Z. 2009. Optimal Design and Operation of fuse-Gates Considering Water Loss Due to Gates Tilting. Environmental and Water Resources, ASCE, United State, 3053-3060.
- Afshar, A. and Takbiri, Z. 2012. Fusegates Selection and Operation: Simulation-Optimization Approach. Journal of Hydro informatics, 464-477.
- ASCE. 2000. Hydraulic modeling: Concepts and practice. Manual 97, American Society of Civil Engineering, Reston, Va, United States.
- Beretta, M., Menduni, G., Riboni, V. and Rosso, R. 2000. Controlling Polders by FusegateTM Technology for River Flood Risk Management. Hydroplus International, paris. 11 pp.
- Chevalier, S., Culshaw, S.T. and Fauquez, S.T. 1996. The Hydroplus Fusegate System - four years on. The Reservoir as an Asset. Thomas Telford. London. 32-40.
- De Simone, C., Jafari, N., Dasi, B. and Abdolahi, M. 2012. Study on Fusegate as a Phenomenon Gates Sarough Water Reservoir Dam in West Azarbaijan- Iran. The First International conference on Dams & Hydropower. 10 pp.
- Falvey, H.T. and Treille, P. 1995. Hydraulics and Design of Fusegates. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(7), 512-518.
- Henderson, F.M. 1966. Open channel flow. Macmillan Publishing Company. New York.
- John Hite Jr. and Mifkovic Ch. 2000. Increasing Reservoir Storage or Spillway Capacity using Fusegate. US Army Corps of Engineers. 7 pp.
- Khaturia R.M. 2000. The Chaning Contexts in the Design of Spillways. An Overview. ISH Journal of Hydraulic Engeneering. 6(2): 26-39.
- Kocahan, H.T. 2003. Hydraulics and Design of Fusegates. USCOE. 11 pp.
- Lemperiere, F. 1992. Overspill Fusegates. Water Power & Dams Construction. 47-48.
- Lemperiere F. and Vigny J.P. 2007. Cost-Effective Ways to Increase Discharge Capacity at Spillway. HRW-Hydro Review Worldwide. 7 pp.
- Samet, K. and Ashrafi, M. 2022. Study of the Sarough Dam Fusegates. Journal of Civil Engineering and Architecture 16. 469-477.
- Rouse, H. 1960. Elementary fluid mechanics. John Wylie & Sons. New York. N. Y.
- Shahkarami, N. 2020. Fusegates as hydraulic control structures in rivers. Flow Measurement and Instrumentation, Volume 71, 101661.
- Solanki, P.N., Shrimali, N.J. and Gandhi, H.M. 2014. A Study of Fusegate System on Dhatarwadi Dam in Amreli, Gujarat. Journal of International Academic Research for Multidisciplinary 2(2), 8 pp.
- Takbiri, Z. and Afshar, A. 2012. Multi-Objective Optimization of Fusegates System under Hydrologic Uncertainties. Water Resource Management. 26(23), 2323-2345.