

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت قرارگیری سرریز فیوزگیت بر مشخصات هیدرولیکی جریان

سمیه خلیلی<sup>۱</sup>، رامین فضل‌اولی<sup>۲\*</sup>، علیرضا عمادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳

چکیده

در تحقیق حاضر، به بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت قرارگیری سرریز فیوزگیت نوع WLH (عریض با بار کم) و NLH (باریک با بار کم) بر مشخصات هیدرولیکی جریان پرداخته شد. برای این منظور فیوزگیت‌های WLH و NLH به ترتیب با ارتفاع ۱۶/۷ و ۲۵ سانتی‌متر با پنج ارتفاع متفاوت چاهک ساخته شد و بعد از قرار گرفتن در دو موقعیت میانه و انتهای کانال، مورد آزمایش قرار گرفت در هر یک از آزمایش‌ها، مقادیر دبی‌های مختلف و عمق‌های بالادست متناظر آن‌ها ثبت و مقادیر ضریب دبی مربوطه محاسبه شد. نتایج نشان داد در یک نوع خاص از فیوزگیت، ضریب دبی تابعی از نسبت  $h/H$  (نسبت ارتفاع آب روی سرریز به ارتفاع فیوزگیت) است و با افزایش ارتفاع آب بالای سرریز فیوزگیت، مقدار ضریب دبی به صورت توانی کاهش می‌یابد. ضریب دبی سرریز فیوزگیت در حالتی که در انتهای کانال قرار بگیرد (به علت کاهش اثر محدود کننده دیواره‌ی کانال)، نسبت به حالتی که در میانه کانال قرار بگیرد، بیش تر است و اختلاف مقدار ضریب دبی در این دو حالت، در فیوزگیت WLH بیش تر است. با استفاده از ۸۰ درصد از داده‌ها روابط مناسب برای تخمین ضریب دبی ارائه شد و روابط با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده‌ی داده‌ها صحت‌سنجی شد. پارامترهای آماری، نشان از دقت بالایی روابط در تخمین ضریب دبی دارند.

واژه‌های کلیدی: روابط بدون بعد، صحت‌سنجی، ضریب دبی، فیوزگیت، کانال آزمایشگاهی

مقدمه

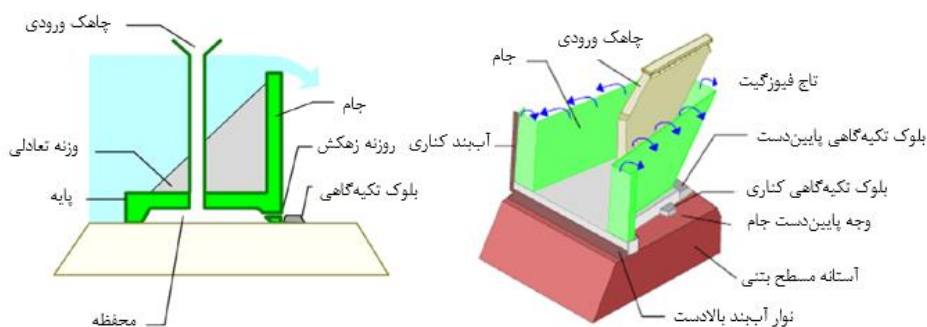
و کاهش مقطعی حجم مخزن می‌باشد (Lemperiere and Vigny., 2007). هر فیوزگیت شامل ۳ جزء اصلی است که عبارتند از: جام (از فلز یا بتن مسلح)، پایه و چاهک ورودی<sup>۵</sup> که به محفظه‌ای که در پایه می‌باشد، متصل است (Chevalier et al., 1996). شکل (۱) نمای سه‌بعدی و برش شماتیک از یک واحد فیوزگیت را نشان می‌دهد. فیوزگیت‌ها، توسط سازنده‌ها به سه مدل استاندارد درجه باریک با بار کم<sup>۶</sup> (NLH)، درجه عریض با بار کم<sup>۷</sup> (WLH) و درجه عریض با بار زیاد<sup>۸</sup> (WHH) تولید می‌شوند. علایم W و N به ترتیب نشان‌دهنده‌ی عریض و باریک بودن بر اساس معیار نسبت عرض فیوزگیت به ارتفاع آن و علایم LH و HH به ترتیب نشان‌دهنده‌ی هد کم و هد 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. نمایش شماتیک سرریز فیوزگیت و پارامترهای مربوط به آن در شکل (۲) ارائه شده‌است.

فیوزگیت‌ها در سال ۱۹۸۹ به وسیله فرانسویس لمپریه<sup>۴</sup>، 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). 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). از جمله معایب سرریز فیوزگیت هزینه جایگزینی

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
\* - نویسنده مسئول: (Email: raminfazl@yahoo.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.2.11.7  
4- François Lempérière

5- Inlet well  
6- Narrow, Low Head  
7- Wide, Low Head  
8- Wide, High Head

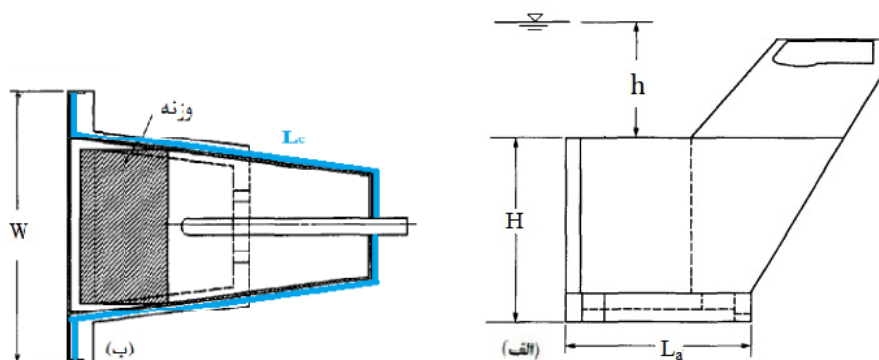


شکل ۱- نمای سه بعدی و برش شماتیک از یک واحد فیوزگیت (کریمیان علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۰)

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

$L_a=1.0H$	$L_c=3.76H$	$W=1.0H$	NLH
$L_a=1.0H$	$L_c=4.09H$	$W=1.5H$	WLH
$L_a=1.2H$	$L_c=5.22H$	$W=1.8H$	WHH

W عرض، H ارتفاع،  $L_c$  طول موثر تاج و  $L_a$  طول کف فیوزگیت می‌باشد.



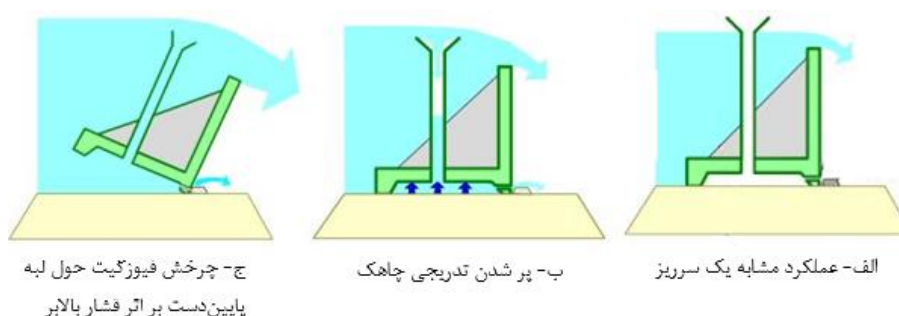
شکل ۲- نمایش شماتیک سرریز فیوزگیت (الف) نیم‌رخ طولی، (ب) نمای از بالا (Falvey and Treille., 1995)

فالوی و تریله (۱۹۹۵)، به بررسی عوامل مؤثر بر ضریب دبی و طراحی هیدرولیکی فیوزگیت‌ها پرداختند. آن‌ها ضریب دبی را تابعی از طول تاج فیوزگیت و نسبت  $h/H$  دانستند و ضریب دبی را برای هر سه مدل فیوزگیت تعیین کردند. همچنین نشان دادند که با افزایش ارتفاع آب بالای سرریز فیوزگیت، مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد و رابطه‌ای توانی برای ضریب دبی ارائه کردند که به شکل زیر است:

$$C_d = C_1 \left( \left( \frac{h}{H} \right) - C_2 \right)^{C_3} \quad (1)$$

در این رابطه  $H$  ارتفاع فیوزگیت،  $h$  اختلاف ارتفاع تاج سرریز و تراز آب در مخزن و ضرایب  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  برای مقادیر  $h/H$  بیشتر از  $0/1$  ثابت هستند. ضریب  $C_2$  مربوط به کشش سطحی است. این ضرایب برای انواع مختلف فیوزگیت‌ها در جدول (۲) ارائه شده‌است.

برای دبی‌های بزرگ‌تر 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 بالابرد<sup>۱</sup> را به فیوزگیت اعمال می‌کند. نیروی بالابرد در نتیجه را ناپایدار کرده و در یک تراز از پیش تعیین شده آب در چاه، فیوزگیت حول لبه پایین دست خود چرخش می‌کند. در واقع، این فرایند زمانی اتفاق می‌افتد که مجموع گشتاورهای محرک از مجموع گشتاورهای مقاوم بیش تر 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 (۳) نشان داده شده‌است.



شکل ۳- مراحل عملکرد فیوزگیت (کریمیان علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۲- ضرایب تجربی تخلیه برای فیوزگیت‌ها (Falvey and Treille., 1995)

$R^{2*}$	$C_3$	$C_2$	$C_1$	نوع فیوزگیت
۱	$۰/۲۹۲ \pm ۰/۰۰۶$	$۰/۰۰۱۰$	$۰/۳۲۰ \pm ۰/۰۰۴$	WLH (NHL)
$۰/۹۸$	$۰/۳۰۶ \pm ۰/۰۱۳$	$۰/۰۰۱۰$	$۰/۳۰۶ \pm ۰/۰۰۹$	WLH (TVA)
$۰/۹۴$	$۰/۳۱۹ \pm ۰/۰۱۸$	$۰/۰۰۰۵$	$۰/۲۵۴ \pm ۰/۰۱۲$	NLH
$۰/۹۹$	$۰/۲۵۸ \pm ۰/۰۰۵$	$۰/۰۳۷۵$	$۰/۳۱۵ \pm ۰/۰۰۹$	WHH

\* $R$  ضریب همبستگی است.

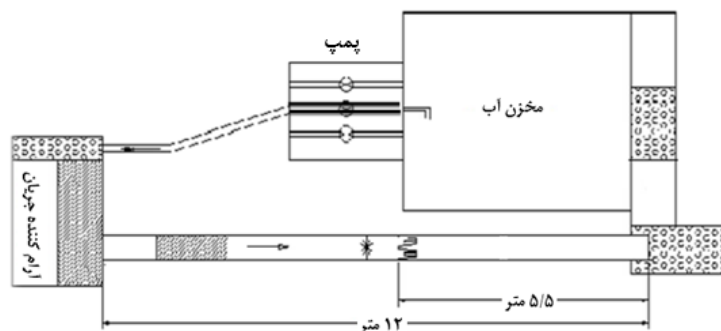
افزایش یافته مخزن، توسعه دادند (Takbiri and Afshar, 2012). سولانکی و همکاران سیستم فیوزگیت روی سد داتاروادی در گوجارات را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که فیوزگیت سطح مخزن، ظرفیت ذخیره و آبیاری سالانه را افزایش داده‌است و هم‌چنین در هنگام سیل سنگین با واژگونی فیوزگیت‌ها یکی پس از دیگری، 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 ویر، روی ضریب دبی مؤثرند به طوری که با افزایش نسبت  $h/H$  و  $We$ ، ضریب دبی کاهش می‌یابد. شاه‌کرمی به بررسی فیوزگیت نوع WHH به عنوان سازه کنترل هیدرولیکی در رودخانه‌ها پرداخت و نتیجه گرفت برای این امر مناسب می‌باشد (Shahkarami., 2020). در کانال‌ها گاهی برای آبیگری نیاز به تنظیم سطح آب بالادست می‌باشد که از سرریزها بدین منظور 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 بیش تر به ازای دبی‌های مختلف تغییرات

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). افشار 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). افشار 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 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

## مواد و روش‌ها

نمای شماتیک مجموعه‌ی آزمایشگاهی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است و تصویر آن به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. این مجموعه‌ی آزمایشگاهی متعلق به گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری می‌باشد. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر دارای سطح مقطع مستطیلی می‌باشد و اسکلت آن فلزی است. دیواره‌ها و کف کانال از جنس شیشه شفاف با ضخامت یک سانتی‌متر می‌باشد. کانال دارای طول ۱۲ متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر می‌باشد. 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 کاهش موج‌های سطحی صفحه‌های یونولیت قرار داده شده است.

سطح آب کم‌تری 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. بنابراین در این پژوهش به بررسی رفتار هیدرولیکی فیوزگیت‌ها و پارامترهای مؤثر بر عملکرد آن‌ها پرداخته می‌شود. ظاهراً در تحقیقات پیشین، اثر موقعیت نصب فیوزگیت در کانال (این‌که در میانه کانال نصب شود یا در انتها قرار گیرد و اثر محدود کننده‌ی دیواره‌ی کانال کاهش یابد) بررسی نشده است. لذا در این تحقیق با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی، تأثیر این عامل بر مشخصات هیدرولیکی جریان از جمله ضریب دبی سرریز فیوزگیت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۴- نمای شماتیک سیستم گردش آب در کانال مورد استفاده در آزمایش‌ها



شکل ۵- تصویر کلی سیستم گردش آب در کانال مورد استفاده در آزمایش‌ها

مدل فیزیکی فیوزگیت‌ها از جنس ورق پلکسی گلاس با ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شد. ورق پلکسی گلاس به‌وسیله‌ی لیزر برش داده شد و بعد از فارسی‌بر شدن قطعات پلکسی گلاس با ماده شیمیایی کلروفورم که حلال آن است به یکدیگر متصل شدند و با چسب آکواریوم آب‌بندی شدند. سعی شد سطح تاج صاف و صیقلی باشد تا بتوان از اثر زبری روی ضریب دبی صرف‌نظر کرد. مدل‌های

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. در انتهای کانال مخزن و سرریز مثلی قرار دارد که دبی خروجی از کانال را می‌توان به وسیله‌ی این سرریز مثلی نیز اندازه‌گیری کرد. اندازه‌گیری عمق آب به‌وسیله‌ی دستگاه ارتفاع سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر انجام شد.

ضخامت ۰/۵ سانتی متر ساخته شد. برای مدل فیوزگیت WLH چاهک‌ها به ارتفاع ۱۶، ۱۷/۲۵، ۱۸/۵، ۱۹/۷۵ و ۲۱ سانتی متر و برای مدل فیوزگیت NLH چاهک‌ها به ارتفاع ۲۳/۷، ۲۴/۷، ۲۵/۷ و ۲۶/۷ سانتی متر ساخته شدند به طور نمونه در شکل (۶) مدل فیوزگیت و در شکل (۷) تعدادی از چاهک‌های ساخته شده با ارتفاع‌های متفاوت نشان داده شده است.

فیوزگیت WLH و NLH با توجه به عرض کانال به صورت دوسیگلی (هر سیکل به عرض ۲۵ سانتی متر) و به ترتیب دارای ارتفاع جام ۱۶/۷ و ۲۵ سانتی متر ساخته شدند که معیار طراحی آن بر اساس جدول (۱) می‌باشد. برای تعادل این مدل‌ها وزنه‌هایی آهنی به جرم دو کیلوگرم بر روی کف محفظه قرار داده شد که معیار انتخاب این وزنه‌ها سعی و خطا بوده است. به طوری که جرم وزنه‌ها را تغییر داده تا سازه به درستی عمل کند. چاهک‌ها از جنس ورق پی وی سی با



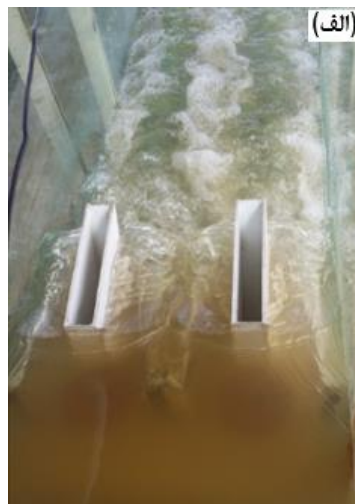
شکل ۶- مدل فیوزگیت



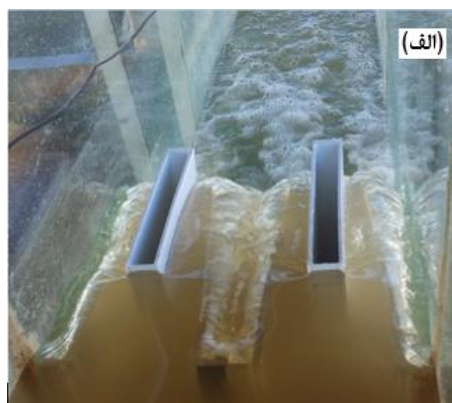
شکل ۷- تعدادی از چاهک‌های ساخته شده با ارتفاع‌های متفاوت

تا تاثیر موقعیت نصب فیوزگیت بر مشخصات هیدرولیکی آن بررسی شود. در انتهای کانال اثر محدود کننده‌ی دیواره‌ی کانال کمتر شده است. در میانه‌ی کانال تیغه‌های عبوری جریان از کنارها با دیواره‌ی کانال برخورد می‌کنند که خود چون مانعی در برابر جریان عمل می‌کند و باعث می‌شود عمق بالادست سرریز بیشتر شود. شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب جریان آب عبوری از فیوزگیت‌های مدل WLH و NLH را در موقعیت قرار گرفته در میانه و انتهای کانال نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که محدوده دبی مورد آزمایش در تحقیق حاضر از ۸/۵ تا ۴۱ لیتر بر ثانیه بوده است.

ابتدا مدل فیوزگیت با لولا روی پاشنه قلاویز شد و پاشنه با چسب سیلیکون در میانه‌ی کانال نصب شد. جریان آب در کانال برقرار شد. 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 دبی کم 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 اتمام این مراحل، مدل بعدی در کانال نصب شد و تمام مراحل قبل برای هر مدل انجام شد. در ادامه مدل‌های فیوزگیت در انتهای کانال نصب شد و آزمایش‌ها و داده‌برداری برای آن انجام شد



شکل ۸- جریان عبوری از فیوز گیت WLH در موقعیت نصب شده در (الف) میانه و (ب) انتهای کانال



شکل ۹- جریان عبوری از فیوز گیت NLH در موقعیت نصب شده در (الف) میانه و (ب) انتهای کانال

مستقل ارتفاع آب روی سازه ( $h$ )، ارتفاع فیوز گیت ( $H$ )، طول تاج سرریز فیوز گیت ( $L_c$ )، ارتفاع پاشنه ( $p$ ) و عرض فیوز گیت ( $w$ ) دارای بعد  $[L]$ ، سرعت آب در کانال ( $V$ )  $[LT^{-1}]$ ، جرم مخصوص آب ( $\rho$ )  $[M/L^3]$ ، لزجت دینامیکی آب ( $\mu$ )  $[ML^{-1}T^{-1}]$ ، کشش سطحی ( $\sigma$ )  $[MT^{-2}]$  و شتاب ثقل ( $g$ )  $[MT^{-2}]$  با سه کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) می‌باشد که با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان به معادله (۸) دست یافت که همان معادله سرریز لبه تیز است و با معادله (۲) برای محاسبه‌ی دبی عبوری از سرریز فیوز گیت هماهنگی دارد.

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

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

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

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

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

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

که در این رابطه  $Q$  دبی،  $g$  شتاب ثقل،  $C_d$  ضریب دبی،  $L_c$  طول تاج فیوز گیت و  $h$  اختلاف تراز آب و تراز آب در مخزن می‌باشد. با توجه به تعریف دبی نظری سرریز فیوز گیت، مقدار ضریب دبی با تعریف  $C_d = Q_a / Q_t$  قابل محاسبه است که در آن  $C_d$  ضریب دبی،  $Q_a$  دبی واقعی و  $Q_t$  دبی تئوری می‌باشد. ضریب دبی، اثر کلیه عوامل مهم مانند فشردگی جریان عبوری از سرریز، در نظر نگرفتن بار آبی سرعت نزدیک شونده، افت‌های اصطکاکی موجود و همچنین یکنواخت فرض کردن توزیع سرعت را تصحیح می‌کند. ضریب دبی را می‌توان به صورت تابعی از عواملی که بر آن موثرند به صورت زیر نوشت:

$$C_d = f_1(\mu, \rho, \sigma, V, g, W, L_c, H, p, h) \quad (3)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضریب دبی تابعی از ده متغیر

در تحقیق حاضر P یا ارتفاع پاشنه ثابت است پس پارامتر P/H ثابت است. هم‌چنین پارامترهای W/H و L<sub>c</sub>/H طبق جدول طراحی فیوزگیت‌ها برای هر نوع فیوزگیت اعداد ثابتی هستند بنابراین می‌توان برای یک نوع خاص فیوزگیت، آن‌ها را از رابطه (۱۰) حذف نمود که در این صورت رابطه (۱۱) حاصل می‌شود که نشان می‌دهد در یک نوع خاص از فیوزگیت ضریب دبی به پارامتر h/H وابسته است.

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

در تحقیق حاضر از ضریب همبستگی (R<sup>2</sup>) برای واسنجی و از معیار ارزیابی RMSE برای صحت‌سنجی استفاده می‌شود. جذر میانگین مربعات خطا طبق رابطه‌ی (۱۲) محاسبه می‌گردد که در آن رابطه C<sub>d,es</sub> و C<sub>d,ob</sub> به ترتیب ضریب دبی مشاهداتی و ضریب دبی برآورد شده توسط رابطه برازشی پیشنهادی، و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (C_{d,ob} - C_{d,es})^2} \quad (12)$$

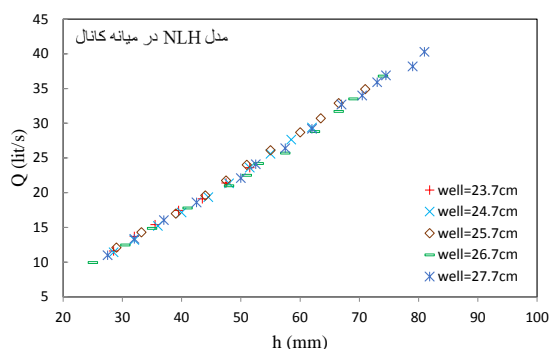
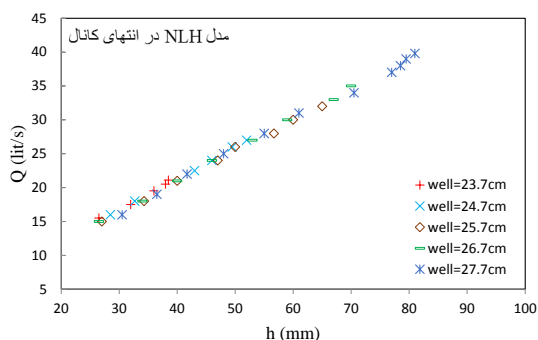
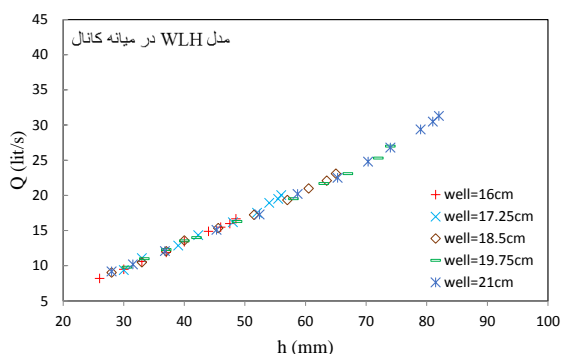
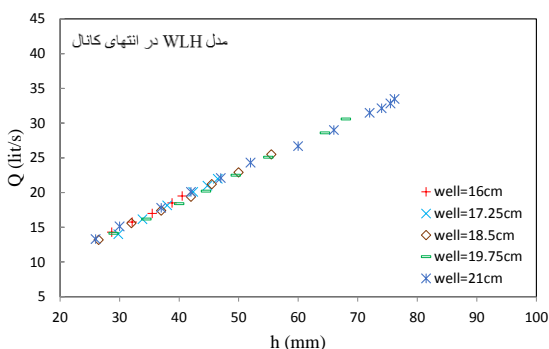
$$C_d = \frac{Q}{\sqrt{g} * L_c * h^{\frac{3}{2}}} = f_6(R_e, We, \frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}) \quad (8)$$

که در این رابطه R<sub>e</sub> و W<sub>e</sub> به ترتیب عدد بدون بعد رینولدز و عدد بدون بعد وبر هستند. چنانچه عمق جریان روی سرریز از ۲/۵ سانتی-متر کمتر نشود، از تأثیر نیروی کشش سطحی می‌توان چشم‌پوشی کرد (ASCE., 2000 and Henderson., 1966). از آنجایی که در بیشتر مواقع تیغه‌ی آب روی سرریز ضخامت کافی داشته (عدد وبر بالا) و جریان عبوری از کانال، آشفته است (عدد رینولدز بین ۵۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰)، در تحقیق حاضر بررسی دو متغیر لزجت و کشش سطحی مورد نظر نمی‌باشد. بنابراین با صرف‌نظر کردن از اثر لزجت و کشش سطحی رابطه‌ی (۸) به فرم تابعی زیر کاهش می‌یابد.

$$C_d = f_7\left(\frac{h}{H}, \frac{h}{P}, \frac{h}{W}, \frac{h}{L_c}\right) \quad (9)$$

با توجه به این نکته که پارامترهای بی‌بعد را می‌توان در هم ضرب و یا بر هم تقسیم نمود، با تقسیم پارامترهای بی‌بعد رابطه (۹) بر یکدیگر به رابطه زیر می‌رسیم:

$$C_d = f_8\left(\frac{h}{H}, \frac{W}{H}, \frac{L_c}{H}, \frac{P}{H}\right) \quad (10)$$



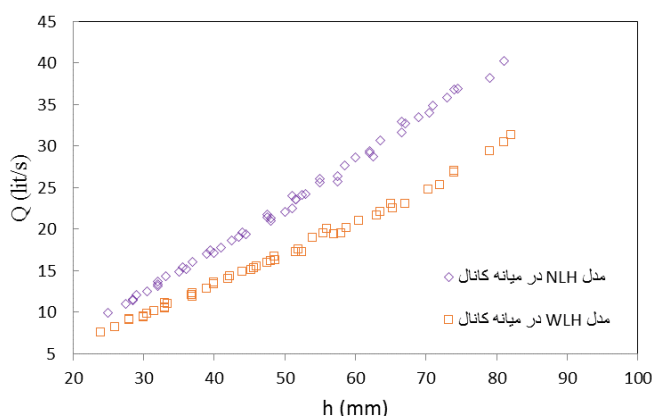
شکل ۹- مقادیر دبی در برابر ارتفاع آب روی سرریز فیوزگیت

آن، برای مقایسه‌ی بهتر مقادیر ارتفاع تیغه‌ی آب روی سرریز مربوط به هر مدل فیوزگیت محاسبه شد و در برابر مقادیر دبی رسم شد که

## نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها و ثبت مقادیر دبی و ارتفاع آب متناظر با

مقادیر دبی در برابر ارتفاع تیغهی آب روی سرریز برای هر دو مدل فیوزگیت در موقعیت میانه‌ی کانال (بدون تفکیک داده‌های مربوط به چاهک با ارتفاع‌های متفاوت) در شکل (۱۰) رسم شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در یک دبی ثابت، ارتفاع تیغهی آب روی سرریز فیوزگیت مدل NLH کم‌تر از مدل WLH می‌باشد. دلیل این امر بیش‌تر بودن طول تاج موثر در فیوزگیت NLH می‌باشد که هم‌چنین سبب می‌شود که در یک  $h$  ثابت، دبی یا ظرفیت تخلیه فیوزگیت NLH بیش‌تر از مدل WLH باشد.



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر دبی در برابر ارتفاع آب روی سرریز فیوزگیت در میانه کانال

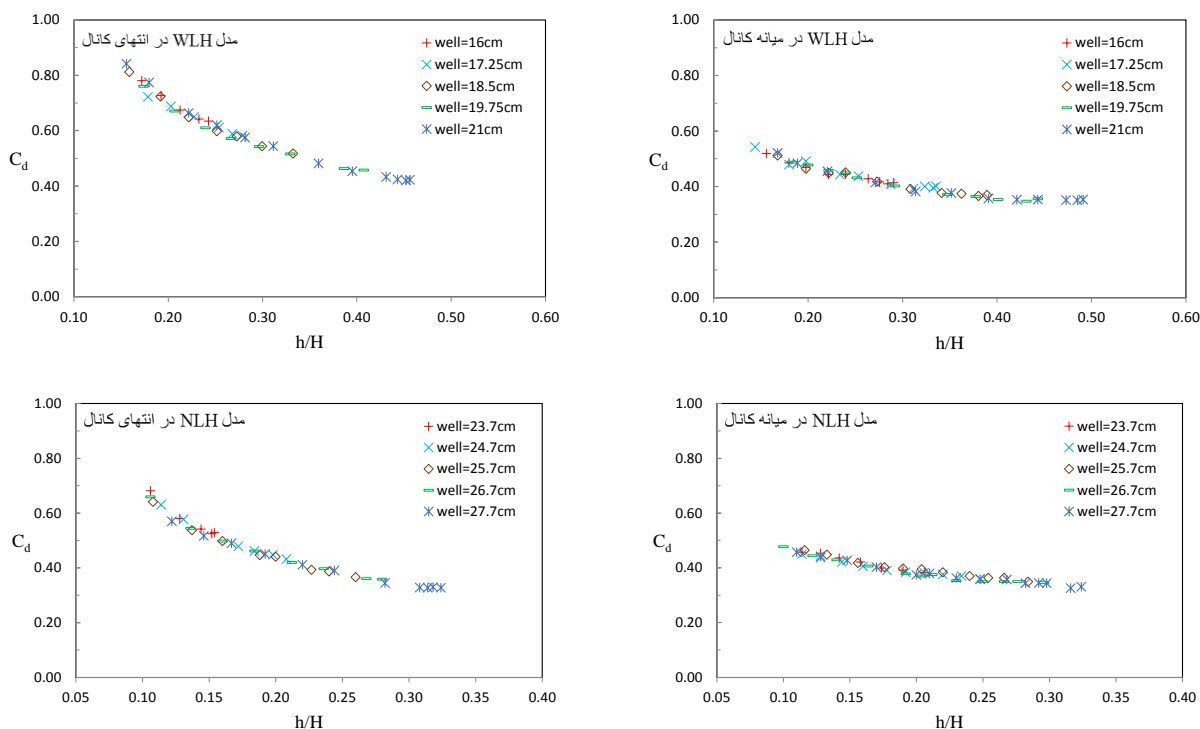
انتهای کانال (بدون تفکیک داده‌های مربوط به چاهک با ارتفاع‌های متفاوت) قابل مشاهده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در یک  $h/H$  ثابت، مقدار ضریب دبی در فیوزگیت مدل WLH بیش‌تر از مدل NLH می‌باشد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و تریله (۱۹۹۵) هم‌خوانی دارد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که ضریب دبی در هر دو 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، 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، در مدل NLH کم‌تر است که علت این امر آن است که به علت طولانی‌تر بودن طول موازی با جریان در این مدل، دیواره‌های کانال مانند وقتی که در میانه کانال قرار داشت، باعث تداخل جت آب ریزشی از سرریز می‌شوند در واقع شرایطش (محدودیت تیغه جریان عبوری از کناره‌ها توسط دیواره کانال) نسبت به قرارگیری در میانه کانال کمتر تغییر کرده‌است.

در شکل (۹) قابل مشاهده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، برای هر دو مدل فیوزگیت و در هر دو حالت قرار گرفتن در میانه و انتهای کانال، ارتفاع چاهک در منحنی دبی در برابر ارتفاع آب روی سرریز تاثیر معناداری ندارد. به‌طور کلی هرچه ارتفاع چاهک فیوزگیت بیش‌تر باشد، دبی و ارتفاع آب بیش‌تری لازم است تا آب وارد چاهک فیوزگیت شود. در هر دو مدل فیوزگیت، در حالت قرارگرفتن در انتهای کانال، به علت کاهش محدودیت جریان ریزشی از کناره‌ها توسط دیواره‌ی کانال، ارتفاع آب کاهش می‌یابد.

با استفاده از تعریف دبی تئوری و اندازه‌گیری دبی واقعی، ضریب دبی آزمایشگاهی محاسبه گردید. و تغییرات آن در برابر پارامتر بدون بعد  $h/H$  برای مدل‌های مورد آزمایش رسم شد که در شکل (۱۱) قابل مشاهده است. از آنجایی که ارتفاع سازه در مدل NLH بیش‌تر از WLH است، محدوده  $h/H$  در مدل NLH به دلیل افزایش مخرج کسر کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود ضریب دبی در هر دو مدل فیوزگیت و در هر دو موقعیت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، با افزایش  $h/H$  به‌صورت توانی کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و تریله (۱۹۹۵) و غلامی و فضل‌ولی (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 استعراق موضعی ایجاد می‌شود که این امر باعث افزایش ارتفاع آب و کاهش ضریب دبی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ارتفاع چاهک تاثیر معناداری بر ضریب دبی جریان ندارد.

در شکل (۱۲) مقادیر ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $h/H$  برای هر دو مدل فیوزگیت و در هر دو موقعیت قرارگیری در میانه و





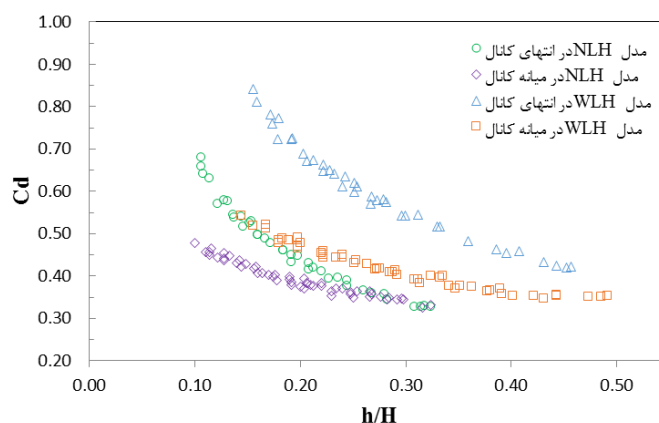
شکل ۱۱- مقادیر ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $h/H$

روند، به نظر می‌رسد که در  $h/H$  حدود  $0.55$  مقادیر ضریب دبی به هم بسیار نزدیک و در ضریب دبی حدود  $0.35$  ثابت خواهند شد. با توجه به تحلیل ابعادی انجام شده، ضریب دبی یک نوع خاص از فیوزگیت، تابعی از متغیر  $h/H$  است که بر حسب آن روابطی برای تخمین ضریب دبی با استفاده از  $80\%$  داده‌ها ارائه گردید و با  $20\%$  درصد باقی‌مانده داده‌ها صحت‌سنجی شد که شکل کلی رابطه پیشنهادی برای تعیین ضریب دبی به صورت زیر است.

$$C_d = a \left( \frac{h}{H} \right)^b \quad (13)$$

در جدول (۳) مقادیر ضرایب ثابت  $a$  و  $b$  برای دو مدل فیوزگیت در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال به همراه پارامترهای ارزیابی آن‌ها ارائه شده است. از ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای واسنجی استفاده شد که نزدیک به یک بودن آن نشان‌دهنده انتخاب مناسب-ترین مقادیر برای ضرایب  $a$  و  $b$  می‌باشد. نزدیک بودن مقادیر RMSE به صفر، نشان می‌دهد که روابط ارائه شده از دقت خوبی برای برآورد ضریب دبی برخوردار است. در شکل (۱۳) 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.

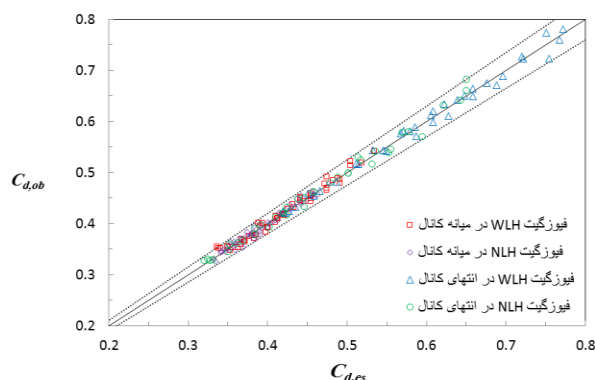
از آنجایی که واحدهای فیوزگیت روی سطح صاف قرار می‌گیرند به علت طولانی تر بودن طول کف فیوزگیت مدل NLH نسبت به WLH، وقتی در انتهای کانال قرار گرفت بخش زیادی از تیغه‌های کناری جریان عبوری از فیوزگیت NLH با دیواره کانال محدود می‌شود و در واقع شرایط محدودیت دیواره کانال در موقعیت انتهای کانال نسبت به میانه، کمتر تغییر کرده است به همین علت اختلاف عمق آب و ضریب دبی این مدل در دو موقعیت میانه و انتها نیز کمتر بوده است. اختلاف مقدار ضریب دبی در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، در هر دو مدل فیوزگیت، با افزایش مقدار  $h/H$  کم‌تر می‌شود و رفته رفته به هم نزدیک می‌شوند و به مقدار ثابتی نزدیک می‌شوند. دلیل این امر آن است که با افزایش دبی و عمق جریان اثر تداخل لایه‌های ریزشی و استغراق موضعی در همان اوایل طول سرریز زیاد و غالب می‌شود و در دبی‌های بیش‌تر مقادیر ضریب دبی در دو حالت میانه و انتهای کانال به هم نزدیک می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۱۲) ملاحظه می‌گردد مقادیر ضریب دبی مدل NLH در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، در  $h/H$  حدود  $0.3$  به بعد با هم برابر می‌شوند و در ضریب دبی حدود  $0.31$  تقریباً ثابت می‌شوند. با توجه به روند تغییرات ضریب دبی در مدل WLH در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال و در صورت ادامه‌ی همین



شکل ۱۲- تغییرات ضریب دبی فیوزگیت NLH و WLH در برابر پارامتر  $h/H$

جدول ۳- مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۱۳) به همراه پارامترهای ارزیابی آنها

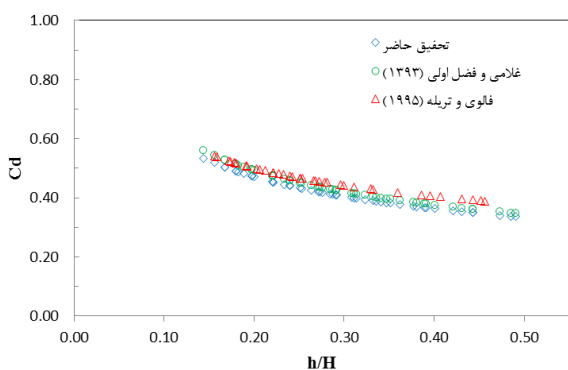
مدل فیوزگیت و موقعیت قرار گیری	b	a	$R^2$ (واسنجی)	RMSE (صحت سنجی)
WLH - میانه‌ی کانال	-۰/۳۷۷	-۰/۲۵۷۳	۰/۹۷۴	۰/۰۰۷۴
WLH - انتهای کانال	-۰/۶۲۵	-۰/۲۶۶۹	۰/۹۹۳	۰/۰۱۱۳
NLH - میانه‌ی کانال	-۰/۳۰۸	-۰/۲۳۴۷	۰/۹۷۰	۰/۰۰۷۵
NLH - انتهای کانال	-۰/۶۳۳	-۰/۱۵۷۲	۰/۹۹۲	۰/۰۱۱۷



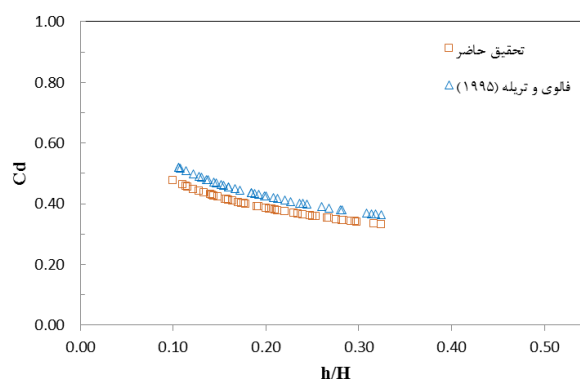
شکل ۱۳- مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و برآورد شده

شده توسط ایشان، نتایج حاصل در شکل (۱۴) رسم شدند. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد، نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران، از تطابق بسیار بالایی برخوردار است.

به منظور مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین، با توجه به این‌که برای ضریب دبی فیوزگیت‌ها در تحقیقات انجام شده توسط غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) و فالوی و تریله (۱۹۹۵) روابطی ارائه شده‌است لذا با قراردادن داده‌های این پژوهش در روابط ارائه



فیوزگیت مدل WLH



فیوزگیت مدل NLH

شکل ۱۴- مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات پیشین

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.

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.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر موقعیت نصب سرریز فیوزگیت WLH و NLH در کانال روی مشخصات جریان مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب دبی در هر دو مدل فیوزگیت با افزایش  $h/H$  به‌صورت توانی کاهش می‌یابد که با نتایج مطالعات فالوی و ترپله (۱۹۹۵) و غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) هم‌خوانی دارد. در  $h/H$  ثابت، مقدار ضریب دبی در فیوزگیت مدل WLH بیش‌تر از مدل NLH می‌باشد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و ترپله (۱۹۹۵) هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی مقادیر ضریب دبی در هر دو مدل فیوزگیت در حالتی که در انتهای کانال قرار بگیرد (در انتهای کانال اثر محدود کننده دیواره‌ی کانال کمتر شده است) بیش‌تر از حالتی است که مدل در میانه کانال قرار گیرد. اختلاف مقادیر ضریب دبی در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال، در مدل NLH کمتر است. اختلاف مقادیر ضریب دبی در دو حالت قرارگیری در میانه و انتهای کانال در هر دو مدل فیوزگیت، با افزایش مقدار  $h/H$  کمتر می‌شود و رفته رفته به هم نزدیک‌تر می‌شوند و به مقدار تقریباً ثابتی میل می‌کنند. در نهایت روابطی برای تعیین ضریب دبی ارائه شد که پارامترهای آماری نشان می‌دهند که این روابط از دقت خوبی در تخمین مقادیر ضریب دبی برخوردار هستند.

## منابع

غلامی، ز. و فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی هیدرولیکی 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

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 Resour Manage.* 26(23): 2323-2345.

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.

Khatsuria R.M. 2000. The Changing Contexts in the Design of Spillways. An Overview. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 6(2): 26-39.

Lemperiere F. and Vigny J.P. 2007. Cost-Effective Ways to Increase Discharge Capacity at Spillway. *HRW-Hydro Review Worldwide*. 7 pp.

Rouse, H. 1960. *Elementary fluid mechanics*. John

## Experimental Investigation of the Effect of Fusegate's Location on Hydraulic Characteristics of Flow

S. khalili<sup>1</sup>, R. Fazloulou<sup>2\*</sup>, A.R Emadi<sup>3</sup>

Received: Nov.25, 2022

Accepted: Feb.02, 2023

### Abstract

In current study, effect of model WLH (Wide low head) and NLH (Narrow low head) fusegate's location on hydraulic characteristics of flow were investigated. scale models of standard WLH and NLH type fusegates were made respectively in 16.7 and 25 cm height with five different inlet wells heights and located in the middle and end of the laboratory flume and it was tested and the values of different flow discharge and corresponding upstream heads were recorded and the discharge coefficients value were calculated. Results showed that in a certain model of fusegate, the discharge coefficient is a function of the ratio  $h/H$  (the ratio of the water height on the fusegate to the height of the fusegate) and with the increase of the water height above the fusegate, the value of the discharge coefficient decreases exponentially. Discharge coefficient of fusegate located in the end of channel is more than located in middle of channel (Due to the reduction of the limiting effect of the channel wall), and difference in the value of the discharge coefficient in WLH fusegate is more. Using 80% of the data, appropriate relationships were proposed for estimating the discharge coefficient. This relationships were validated using the remaining 20% of the data. The statistical parameters show the high accuracy of this relationships in estimating the discharge coefficient.

**Keywords:** Dimensionless Relationships, Discharge Coefficient, Experimental Channel, Fusegate, Validation

1- PhD Student in Water Structures, Department of Water Engineering, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3 Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Engineering College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(\*- Corresponding Author Email: raminfazl@yahoo.com, r.fazloulou@sanru.ac.ir)