

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی اثر شکل چاهک بر عملکرد سرریز فیوزگیت

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰

چکیده

در این تحقیق، به بررسی آزمایشگاهی اثر شکل چاهک (دماغه‌ی مستطیلی، دماغه گرد و دماغه تیز) بر عملکرد هیدرولیکی سرریز فیوزگیت استاندارد مدل WLH (دریچه عریض با بار کم) و NLH (دریچه باریک با بار کم) پرداخته شد. سرریزهای مذکور به ترتیب با دو ارتفاع ۱۶/۷ و ۲۵ سانتی‌متر با پنج ارتفاع متفاوت چاهک ساخته شدند و بعد از قرار گرفتن در کانال، مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی به طول ۱۲، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۷ متر انجام شد. در مجموع تعداد ۳۳۱ داده ثبت شد و با استفاده از آن، مقادیر ضریب دبی برای سرریز فیوزگیت محاسبه شد. با استفاده از ۸۰٪ از داده‌ها روابط مناسب برای تخمین ضریب دبی ارائه شد و سپس این روابط با استفاده از ۲۰٪ باقی‌مانده‌ی داده‌ها و معیار ارزیابی RMSE صحت سنجی شد. نتایج نشان داد که ارتفاع و شکل چاهک تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ضریب دبی سرریز فیوزگیت ندارد ولی در ارتفاع چاهک یکسان، آب در برخورد با چاهک دماغه مستطیلی بیشتر بالا آمده و زودتر وارد چاهک می‌شود ولی در برخورد با چاهک دماغه تیز، شکافته شده و در امتداد پایین دست به طرفین هدایت شده و دیرتر وارد چاهک می‌شود. در نتیجه در یک ارتفاع ثابت چاهک، دبی واژگونی فیوزگیت با چاهک مستطیلی از بقیه کمتر است و چاهک دماغه گرد در مرتبه بعد قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: شکل چاهک، صحت‌سنجی، ضریب دبی، فیوزگیت، مطالعه آزمایشگاهی

مقدمه

(Khatsuria., 2000) و عملکرد آن شبیه سرریز کنگره‌ای هوادهی شده می‌باشد (John Hite and Mifkovic, 2000). 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) 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<sup>۵</sup> در فرانسه به اجرا درآمد که توانست ظرفیت ذخیره مخزن را حدود ۱۵ درصد افزایش دهد (Lampriere, 1992). از جمله معایب سرریز فیوزگیت هزینه جایگزینی و کاهش مقطعی حجم مخزن می‌باشد (Lempriere and Vigny, 2007). هر فیوزگیت شامل ۳ جزء اصلی است که عبارتند از: جام (از فلز یا بتن مسلح)، پایه و چاهک ورودی<sup>۶</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.

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

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

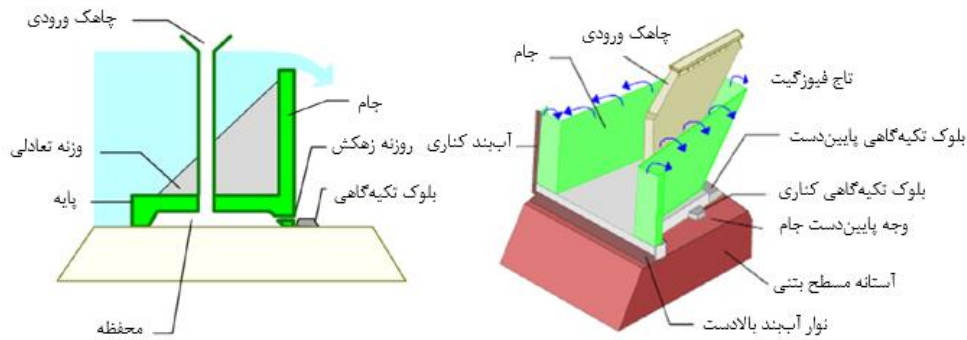
و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

\*- نویسنده مسئول: (Email: raminfazl@yahoo.com)

4- François Lemprière

5- Lussas

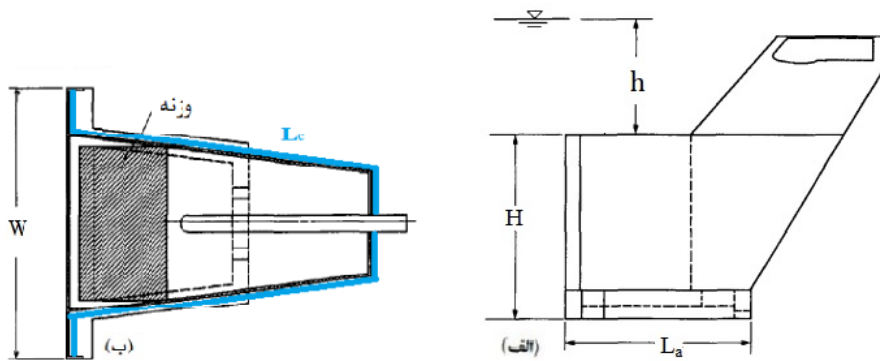
6- Inlet well



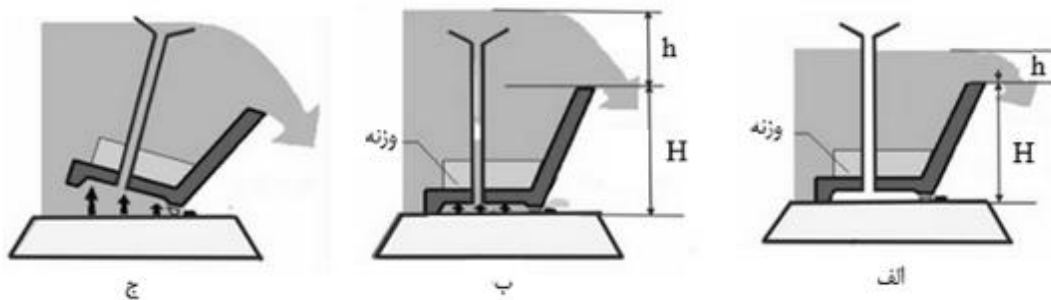
شکل ۱- نمای سه بعدی و برش شماتیک از یک واحد فیوزگیت (کریمیان علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۰)

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

مدل فیوزگیت	عرض فیوزگیت (W)	طول تاج فیوزگیت (Lc)	طول کف فیوزگیت (La)
NLH	$1/0 H$	$3/76 H$	$1/0 H$
WLH	$1/5 H$	$4/09 H$	$1/0 H$
WHH	$1/8 H$	$5/22 H$	$1/2 H$



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



شکل ۳- مراحل عملکرد فیوزگیت: الف- عملکرد مشابه سرریز، ب- پر شدن تدریجی چاهک و ج- واژگونی فیوزگیت

فیوزگیت‌ها، توسط سازنده‌ها به سه مدل استاندارد دریچه باریک با بار کم<sup>۱</sup> (NLH)، دریچه عریض با بار کم<sup>۱</sup> (WLH) و دریچه

1- Narrow, Low Head

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 قطعی از نظر فنی پرداختند و با بررسی هیدروگراف‌های ورودی و خروجی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از فیوزگیت‌ها نسبت به دریچه‌های قطعی 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 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 به‌طوری 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). صامت و اشرفی به مطالعه فیوزگیت‌های سد ساروق پرداختند و 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)

عریض با بار زیاد  $(WHH)^2$  تولید می‌شوند. علایم  $W$  و  $N$  به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی عریض و باریک بودن بر اساس معیار نسبت عرض فیوزگیت به ارتفاع آن و علایم  $LH$  و  $HH$  به‌ترتیب 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. سرریز فیوزگیت و پارامترهای مربوط به آن در شکل ۲ نشان داده شده‌است ( $H$ : ارتفاع فیوزگیت و  $h$ : ارتفاع آب روی سرریز).

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 بالابر<sup>۱</sup> 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. به‌همین 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.

فالوی و تریله (Falvey and Treille, 1995)، 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. ایشان ضرایب تجربی تخلیه برای انواع فیوزگیت‌ها را در قالب جداولی ارائه دادند. برتا 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

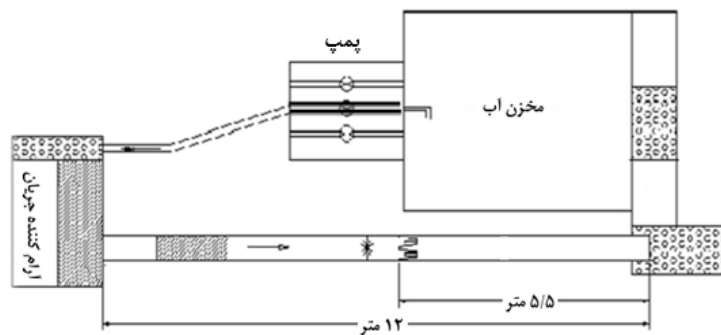
- 1- Wide, Low Head
- 2- Wide, High Head
- 3- Uplift Force

جریان از جمله ضریب دبی سرریز فیوزگیت، مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

در شکل‌های ۴ و ۵ نمای شماتیک و تصویر مجموعه‌ی آزمایشگاهی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که تحقیق حاضر در آن انجام شده، نشان داده شده است. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق 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 کاهش موج‌های سطحی از صفحه‌های یونولیت شناور استفاده شده است.

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 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 و عملکرد بهتر و ایمن‌تری جهت عبور دبی‌های سیلابی دارد. بنابراین در این پژوهش به بررسی رفتار هیدرولیکی فیوزگیت‌ها و پارامترهای مؤثر بر عملکرد آن‌ها پرداخته شده است. همچنین مرور منابع پیشین نشان داد که در تحقیقات قبلی، اثر شکل چاهک بر مشخصات هیدرولیکی فیوزگیت بررسی نشده‌است لذا در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی (آزمایشگاهی)، تأثیر شکل چاهک بر مشخصات هیدرولیکی



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



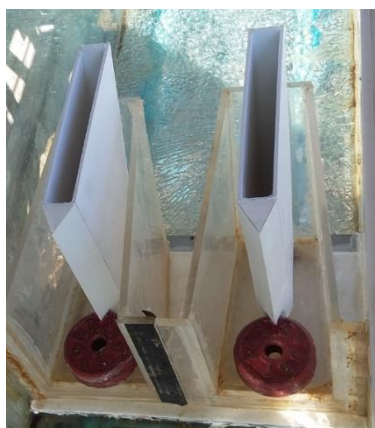
شکل ۵- تصویر کلی سیستم گردش آب در کانال مورد استفاده در آزمایش‌ها

سنج اولتراسونیک (با دقت ۰/۱ میلی‌متر) ثبت شد. مدل فیزیکی فیوزگیت WLH و NLH از جنس ورق پلکسی گلاس و با توجه به عرض کانال به صورت دوسیگلی (هر سیگل به عرض ۲۵ سانتی‌متر)

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

متفاوت چاهک را نشان می‌دهد. برای فیوزگیت WLH چاهک‌ها به ارتفاع ۱۶، ۱۷/۲۵، ۱۸/۵، ۱۹/۷۵ و ۲۱ سانتی‌متر و برای فیوزگیت NLH چاهک‌ها به ارتفاع ۲۳/۷، ۲۴/۷، ۲۵/۷، ۲۶/۷ و ۲۷/۷ سانتی‌متر و از جنس پی وی سی ساخته شدند (توجه شود این چاهک‌ها روی محفظه قرار می‌گیرند در نتیجه تراز ورودی همه‌ی این چاهک‌ها از تراز تاج سرریز فیوزگیت بالاتر است). همچنین همان‌گونه که در شکل‌های شماره ۶ تا ۸ ملاحظه می‌شود برای برقراری تعادل واحدها از وزنه آهنی در کف جام استفاده شد.

به ترتیب با ارتفاع جام ۱۶/۷ و ۲۵ سانتی‌متر با ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شد که معیار طراحی آن بر اساس جدول (۱) می‌باشد. ورق پلکسی گلاس به‌وسیله‌ی لیزر برش داده شد و بعد از فارسی‌بر نمودن قطعات پلکسی گلاس با ماده شیمیایی کلروفورم که حلال آن است به یکدیگر متصل و سپس با چسب آکواریوم آب‌بندی شد. قسمت بالادست تعدادی از چاهک‌ها (بخش دماغه آن‌ها) به‌صورت ساده و مستطیلی شکل ساخته شد. دماغه‌ی تعدادی از چاهک‌های دیگر نوک‌تیز یا مثلثی شکل و دماغه‌ی تعدادی نیز به‌صورت نیمه‌دایره‌ای شکل یا جلو گرد ساخته شد. شکل‌های ۵ تا ۷ فیوزگیت با شکل‌های



شکل ۷- چاهک دماغه تیز



شکل ۶- چاهک دماغه گرد



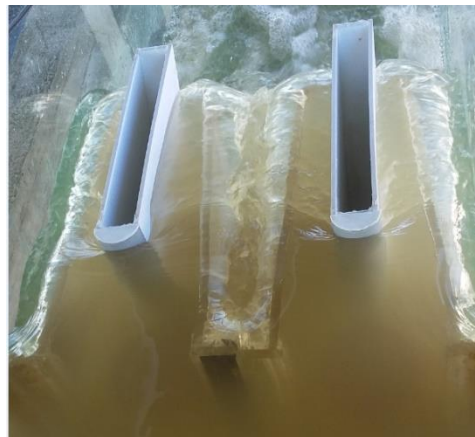
شکل ۸- چاهک دماغه مستطیلی

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. دبی‌های مورد آزمایش در این تحقیق در محدوده ۸ تا ۴۵ لیتر بر ثانیه بوده است. شکل‌های ۹ تا ۱۴ جریان آب عبوری از فیوزگیت WLH و NLH با شکل‌های متفاوت چاهک را نشان می‌دهند.

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا مدل فیوزگیت با لولا روی پاشنه قلاویز شد و پاشنه با چسب سیلیکون در میانه‌ی کانال نصب شد سپس جریان آب در کانال از دبی 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



شکل ۱۰- جریان عبوری از فیوزگیت NLH با چاهک دماغه تیز



شکل ۹- جریان عبوری از فیوزگیت NLH با چاهک دماغه گرد



شکل ۱۲- جریان عبوری از فیوزگیت WLH با چاهک ساده یا دماغه مستطیلی



شکل ۱۱- جریان عبوری از فیوزگیت NLH با چاهک دماغه مستطیلی



شکل ۱۴- جریان عبوری از فیوزگیت WLH با چاهک دماغه گرد



شکل ۱۳- جریان عبوری از فیوزگیت WLH با چاهک دماغه تیز

تاج فیوزگیت و  $h$  اختلاف تراز تاج و تراز آب در مخزن می‌باشد. با توجه به تعریف دبی نظری سرریز فیوزگیت، 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

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

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

که در این رابطه  $Q$  دبی،  $g$  شتاب ثقل،  $C_d$  ضریب دبی،  $L_c$  طول

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  $(R^2)$  برای واسنجی و از معیار ارزیابی RMSE برای صحت‌سنجی استفاده می‌شود. جذر میانگین مربعات خطا طبق رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد که در آن 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.

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

### نتایج و بحث

با استفاده از تعریف دبی تئوری و اندازه‌گیری دبی واقعی، ضریب دبی آزمایشگاهی سرریز فیوزگیت WLH و NLH با پنج ارتفاع و سه شکل متفاوت چاهک محاسبه شد. تغییرات ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $h/H$  برای مدل‌های مورد آزمایش در شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ رسم شد. همان‌طور که در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ ملاحظه می‌گردد، در هر دو مدل فیوزگیت برای یک شکل خاص چاهک، ارتفاع چاهک تاثیر قابل ملاحظه‌ای در روند تغییرات ضریب دبی ندارد ولی به‌طور کلی هرچه ارتفاع چاهک فیوزگیت بیشتر باشد، دبی و ارتفاع آب بیشتری لازم است تا آب وارد چاهک فیوزگیت شود و آن را ناپایدار کند. همچنین در شکل ۱۷ و ۱۸ ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات ضریب دبی، ارتباط معناداری با شکل چاهک ندارد.

به‌طور کلی ملاحظه می‌شود که در هر دو مدل فیوزگیت با افزایش پارامتر  $h/H$ ، مقدار ضریب دبی به‌صورت توانی کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و تریله (۱۹۹۵) و غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) هم‌خوانی دارد. 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.

کل مقادیر ضریب دبی مربوط به فیوزگیت WLH و NLH در برابر پارامتر  $h/H$  در شکل ۱۹ رسم شده 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 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.

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 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 ( $\rho$ )  $[ML^{-3}]$ ، 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 لیه‌تیز است و با معادله (۲) برای محاسبه‌ی دبی عبوری از سرریز فیوزگیت هماهنگی دارد.

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

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

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

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

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

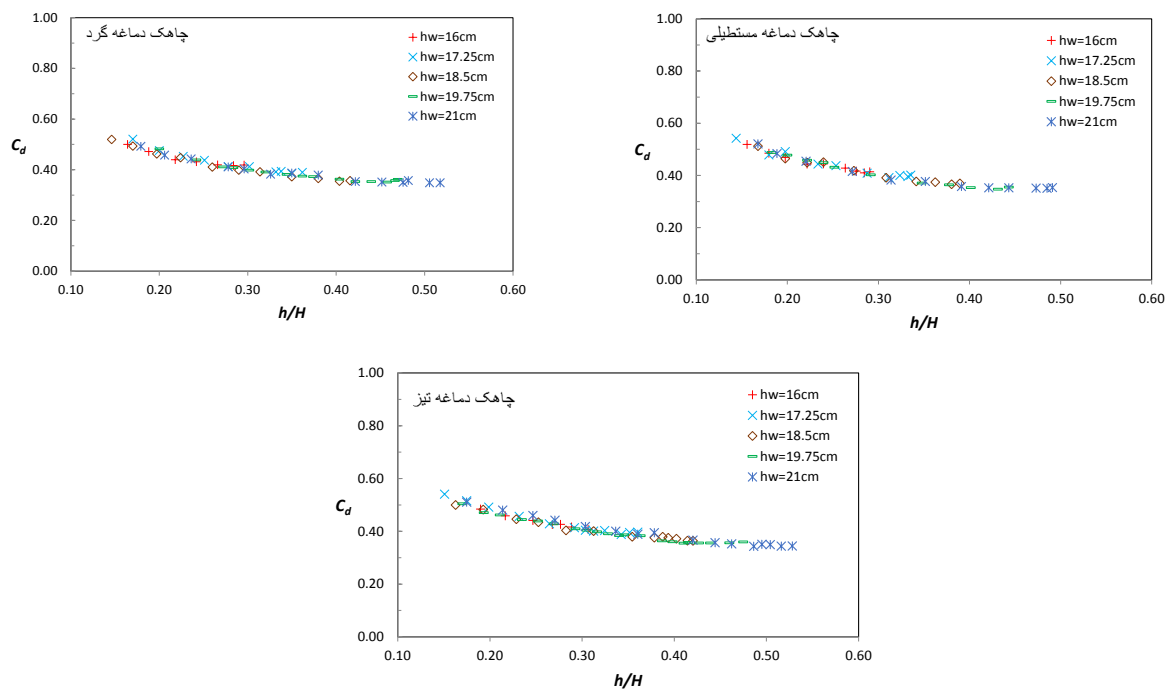
که در این رابطه  $R_e$  و  $We$  به ترتیب عدد بدون بعد رینولدز و عدد بدون بعد وبر هستند. چنانچه عمق جریان روی سرریز از ۲/۵ سانتی-متر کمتر نشود، از تأثیر نیروی کشش سطحی می‌توان چشم‌پوشی کرد (ASCE, 2000 and Henderson, 1966). از آنجایی که در بیشتر مواقع تیغه‌ی آب روی سرریز ضخامت کافی داشته (عدد وبر بالا) و جریان عبوری از کانال، آشفته است (عدد رینولدز حدوداً بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰)، 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.

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

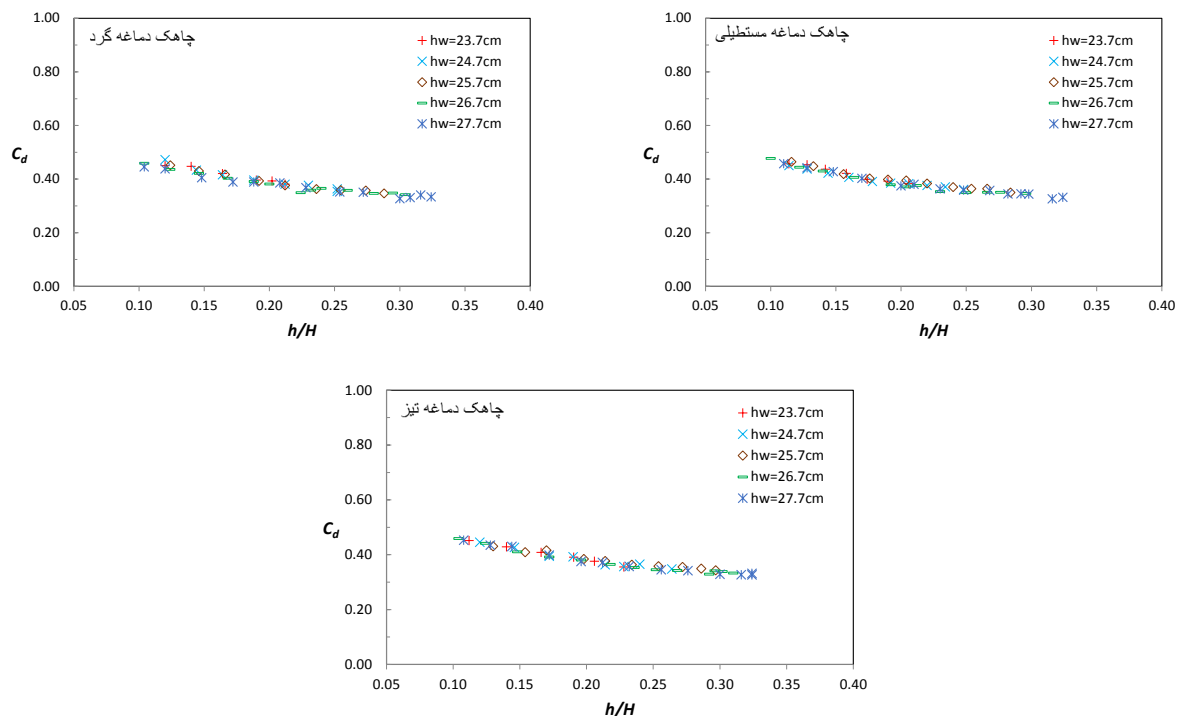
با توجه به این نکته که پارامترهای بی‌بعد را می‌توان در هم ضرب و یا بر هم تقسیم نمود، با تقسیم پارامترهای بی‌بعد رابطه (۹) بر یکدیگر رابطه ۱۰ حاصل می‌شود:

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

در تحقیق حاضر  $P$  یا ارتفاع پاشنه ثابت است پس پارامتر  $P/H$  ثابت است. همچنین پارامترهای  $W/H$  و  $L_c/H$  طبق جدول طراحی

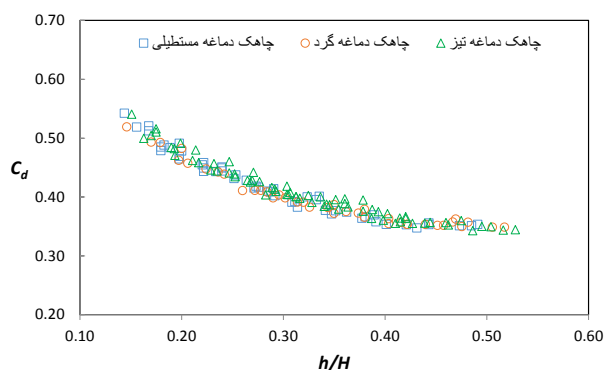


شکل ۱۵- تغییرات ضریب دبی فیوز گیت WLH با پنج ارتفاع متفاوت چاهک در برابر پارامتر  $h/H$

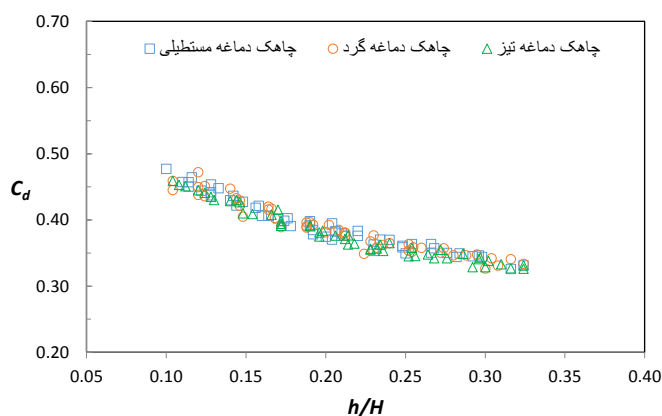


شکل ۱۶- تغییرات ضریب دبی فیوز گیت NLH با پنج ارتفاع متفاوت چاهک در برابر پارامتر  $h/H$

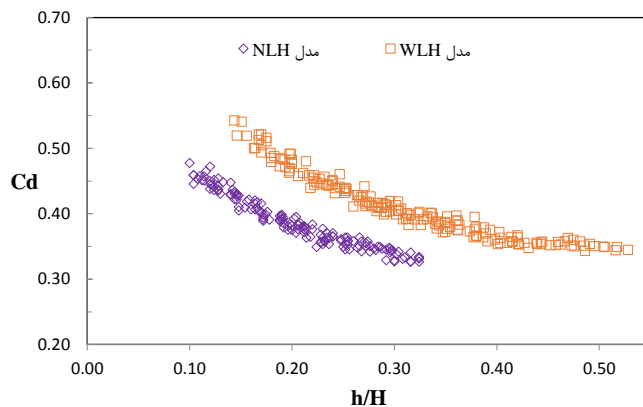




شکل ۱۷- تغییرات ضریب دبی فیوزگیت WLH با سه شکل متفاوت چاهک در برابر پارامتر  $h/H$



شکل ۱۸- تغییرات ضریب دبی فیوزگیت NLH با سه شکل متفاوت چاهک در برابر پارامتر  $h/H$



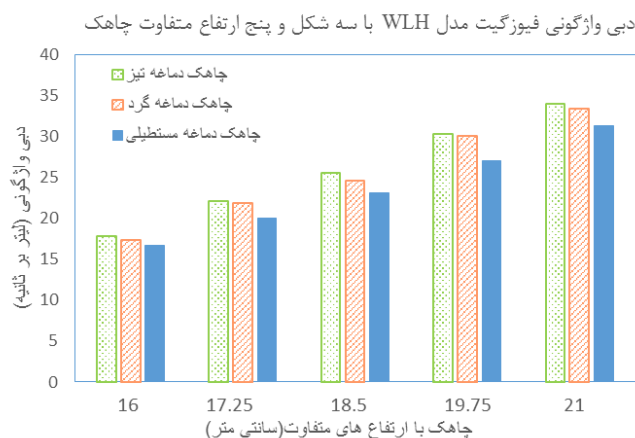
شکل ۱۹- مقایسه‌ی تغییرات ضریب دبی فیوزگیت NLH و WLH در برابر پارامتر  $h/H$

همان‌طور که گفته شد آزمایش‌ها برای هر فیوزگیت با ارتفاع خاص چاهک تا زمانی ادامه پیدا کرد که آب داخل چاهک شده و تا ارتفاعی بالا بیاید که فیوزگیت ناپایدار شود. دبی و عمق متناظر با ناپایداری ثبت شد. شکل ۲۰ و ۲۱ دبی ناپایداری مربوط به مدل‌های فیوزگیت با سه شکل و پنج ارتفاع چاهک متفاوت را نشان می‌دهد.

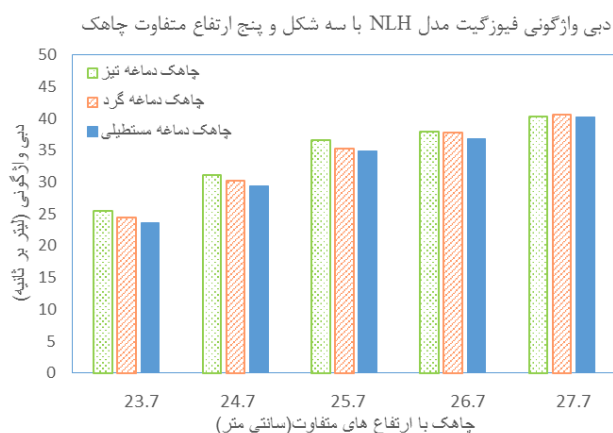
همان‌طور که گفته شد آزمایش‌ها برای هر فیوزگیت با ارتفاع خاص چاهک تا زمانی ادامه پیدا کرد که آب داخل چاهک شده و تا ارتفاعی بالا بیاید که فیوزگیت ناپایدار شود. دبی و عمق متناظر با ناپایداری ثبت شد. شکل ۲۰ و ۲۱ دبی ناپایداری مربوط به مدل‌های فیوزگیت با سه شکل و پنج ارتفاع چاهک متفاوت را نشان می‌دهد.

هدایت می‌شود. هم‌چنین در حین برخورد جریان عبوری به چاهک مستطیلی، آب بیش‌تر بالا می‌آید و در نتیجه نسبت به دو چاهک با شکل دیگر، آب زودتر وارد چاهک می‌شود و فیوزگیت را ناپایدار می‌کند. به‌طور کلی با افزایش ارتفاع چاهک دبی لازم برای ناپایدار کردن فیوزگیت افزایش می‌یابد.

چاهک بیش‌تر بالا آمده و زودتر وارد چاهک می‌شود. همان‌گونه که در شکل‌های ۹ تا ۱۴ مشاهده می‌شود، جریان عبوری از فیوزگیت، با برخورد به چاهک دماغه تیز نسبت به چاهک دماغه گرد بیش‌تر شکافته می‌شود و در فاصله‌ی بیش‌تری نسبت به دو چاهک با شکل دیگر به پایین دست هدایت می‌شود و سطح آب کمتر بالا می‌آید ولی در برخورد با چاهک مستطیلی، جریان سطحی تقریباً به طرفین



شکل ۲۰- دبی ناپایداری فیوزگیت مدل WLH با سه شکل و پنج ارتفاع مختلف چاهک



شکل ۲۱- دبی ناپایداری فیوزگیت مدل NLH با سه شکل و پنج ارتفاع مختلف چاهک

WLH و NLH به همراه پارامترهای ارزیابی آن‌ها ارائه شده است. نزدیک به یک بودن ضریب همبستگی نشان‌دهنده انتخاب مناسب-ترین 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 ۲۲ مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و برآورد شده ارائه شده‌است که نشان می‌دهد ضریب دبی‌های برآورد شده و مشاهداتی بسیار به هم نزدیک هستند.

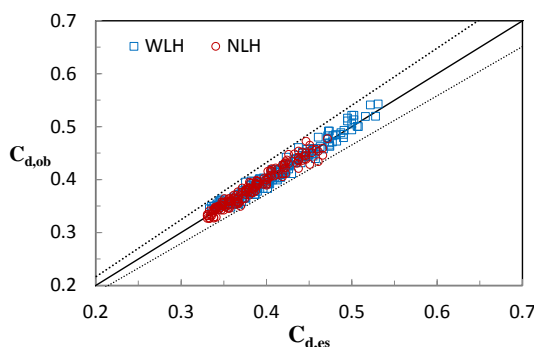
با توجه به تحلیل ابعادی انجام شده، ضریب دبی یک نوع خاص از فیوزگیت، تابعی از متغیر  $h/H$  است که بر حسب آن روابطی برای تخمین ضریب دبی با استفاده از ۸۰ درصد از داده‌ها ارائه گردید و با ۲۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها صحت‌سنجی شد که شکل کلی رابطه پیشنهادی برای تعیین ضریب دبی به صورت زیر است.

$$C_d = a \left( \frac{h}{H} \right)^b \quad (۱۳)$$

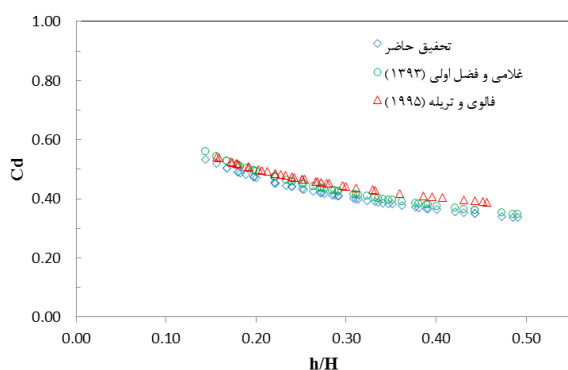
در جدول ۲ مقادیر ضرایب ثابت a و b برای سرریز فیوزگیت

جدول ۲- مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۱۳) به همراه پارامترهای ارزیابی آن‌ها

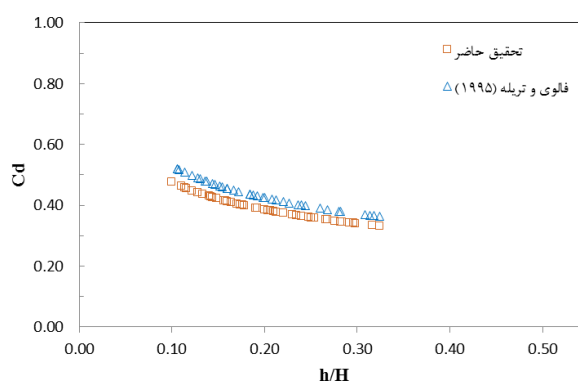
مدل فیوزگیت	b	a	R <sup>۲</sup> (واسنجی)	RMSE (صحت‌سنجی)
WLH	-۰/۳۵۸	۰/۲۶۵۲	۰/۹۶۷	۰/۰۰۹۱
NLH	-۰/۳۰۲	۰/۲۳۵۳	۰/۹۵۳	۰/۰۰۸۴



شکل ۲۲- مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و برآورد شده



فیوزگیت مدل WLH



فیوزگیت مدل NLH

شکل ۲۳- مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات پیشین

مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمامی حالات ضریب دبی با افزایش  $h/H$  به صورت توانی کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده با مطالعات فالوی و تریله (۱۹۸۹) و غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) همخوانی دارد. نتایج نشان داد که شکل چاهک تأثیر معناداری بر ضریب دبی سرریز فیوزگیت ندارد ولی آب در برخورد با چاهک دماغه مستطیلی بیشتر بالا آمده و زودتر وارد چاهک می‌شود ولی در برخورد با چاهک دماغه تیز شکافته می‌شود و به سمت پایین دست و به طرفین می‌رود و دیرتر وارد چاهک می‌شود. در نتیجه در یک ارتفاع ثابت چاهک، دبی واژگونی سرریز با چاهک مستطیلی از بقیه کمتر است و چاهک دماغه گرد در مرتبه بعد قرار دارد. به عبارتی دیگر در یک ارتفاع یکسان چاهک، برای چاهک دماغه تیز دبی بیش تری لازم است تا آب وارد چاهک شود و فیوزگیت را ناپایدار کند و

### مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین

در تحقیق غلامی و فضل‌اولی (۱۳۹۳) و فالوی و تریله (Falvey and Treille, 1995) برای ضریب دبی فیوزگیت‌ها روابطی ارائه شده است که با قراردادن داده‌های این پژوهش در روابط ارائه شده توسط ایشان، نتایج حاصل در شکل ۲۳ رسم شدند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران مطابقت نسبتاً مناسبی دارد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق سرریز فیوزگیت استاندارد مدل WLH و NLH با سه شکل متفاوت چاهک ساخته شد و بعد از قرار گرفتن در کانال

London.

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.

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.

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

Kocahan, H.T. 2003. Hydraulics and Design of Fusegates. USCOE.

Lemperiere, F. 1992. Overspill Fusegates. Water Power & Dams Construction.

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

Rouse, H. 1960. Elementary fluid mechanics. John Wylie & Sons. New York. N. Y.

Samet, K. and Ashrafi, M. 2022. Study of the Sarough Dam Fusegates. Journal of Civil Engineering and Architecture. 16 (9): 469-477.

Shahkarami, N. 2020. Fusegates as hydraulic control structures in rivers. Flow Measurement and Instrumentation, 71 (3): 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): 741-748.

Takbiri, Z. and Afshar, A. 2012. Multi-Objective Optimization of Fusegates System under Hydrologic Uncertainties. Water Resource Management. 26 (23): 2323-2345.

دبی لازم برای ناپایدار کردن فیوزگیت برای چاهک دماغه مستطیلی کم‌تر از بقیه شکل‌ها است. هم‌چنین برای برآورد ضریب دبی روابطی ارائه شد که پارامترهای آماری مربوطه نشان از دقت بالای آن در برآورد ضریب دبی دارد.

## 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.

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.

Afshar, A. and Takbiri, Z. 2012. Fusegates Selection and Operation: Simulation-Optimization Approach. Journal of Hydro informatics, 14 (2): 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 Fusegate TM Technology for River Flood Risk Management. Hydroplus International, Paris.

Chevalier, S., Culshaw, S.T. and Fauquez, S.T. 1996. The Hydroplus Fusegate System - four years on. The Reservoir as an Asset. Thomas Telford.

## Experimental Investigation the Effect of Well Shape on the Performance of Fusegate Weir.

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

Received: July.06, 2023

Accepted: Sep.01, 2023

### Abstract

In the current study, the effect of well shape (rectangular nose, round nose and sharp nose) on the hydraulic performance of standard fusegate model WLH (Wide valve Low Head) and NLH (Narrow Low Head) was investigated. These fusegates were made in 16.7 and 25 cm heights with five different heights of wells, respectively. Experiments were carried out in a laboratory flume of 12 meters in length, 0.5 meters in width and 0.7 meters in height. In total 331 data were recorded and using it, the values of the flow coefficient for the fusegate were calculated. Using 80% of the data, appropriate relationships were presented for estimating the discharge coefficient, and then these relationships were validated using the remaining 20% of the data and the RMSE evaluation criterion. Results showed that the height and shape of the well have no considerable effect on the discharge coefficient of the fusegate. At the same height of the well, the water rises more when it collides with the rectangular nose well and enters the well sooner, but when it collides with the sharp nose well, it splits and is directed to the sides along the downstream and enters the well later. Thus, at a certain height of the well, the overturning discharge of the fusegate with the rectangular well is lower than the others, and the rounded nose well is in the next order.

**Keywords:** Discharge Coefficient, Experimental Study, Fusegate, Validation, Well Shape

---

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)