

بررسی پارامترهای مؤثر بر حداکثر عمق و طول حفره آبشستگی پائین دست سرریز کنگره‌ای مثلثی بدون کف‌بند

علی باباخانی^{۱*}، مجتبی مرسل^۲

۱. استادیار و عضو هیئت علمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، دانشگاه زنجان

* Babakhani@znu.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

چکیده

در این پژوهش آبشستگی پائین دست سرریز کنگره بدون کف‌بند مطالعه شده است تا تخمین مناسبی برای ابعاد کف‌بند احتمالی بدست آید. در همین راستا علاوه بر مقادیر بیشینه عمق آبشستگی، مقادیر طول و عرض حفره آبشستگی ناشی از آزمایش‌های مختلف مطالعه و بررسی شده است. در این پژوهش آزمایش‌های آبشستگی با سرریزهای کنگره‌ای با ۵ زاویه مختلف دیوار جانبی ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۷/۵ درجه و سرریز خطی (مدل شاهد) در ۷ حالت نسبت هدآب به ارتفاع سرریز ۰/۱ تا ۰/۷ انجام گرفته است. تأثیر هد آب روی سرریز، عدد فرود جریان و زاویه کنگره سرریز بر میزان ابعاد آبشستگی مطالعه و بررسی شده است. بر مبنای نتایجی که از آزمایش‌ها بدست آمده می‌توان دریافت که به ازای مقادیر مختلف پارامترهای هد آب روی سرریز و زوایای دیوار جانبی سازوکار آبشستگی حول سرریز متفاوت بوده و بر میزان عمق آبشستگی و سایر ابعاد حفره تأثیر به سزایی دارد. بطوری که با افزایش ۷ برابری هد آب روی سرریز بطور متوسط عمق آبشستگی ۱۲ برابر و طول حفره آبشستگی ۱۰ برابر افزایش داشته و افزایش ۶ برابری زاویه دیوار جانبی نیز منجر به کاهش ۷۰ درصدی عمق آبشستگی می‌شود. همچنین مشاهده شد که مقادیر طول حفره نهایی آبشستگی ناشی از آزمایش‌های مختلف، با نسبتی از عمق آبشستگی تغییر می‌کنند.

واژگان کلیدی: آبشستگی پائین دست، ابعاد حفره، سرریز کنگره‌ای مثلثی، بدون کف‌بند.

۱. مقدمه

مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است که مهمترین این

مطالعات عبارتند از:

جنتلینی (۱۹۴۱) جزو نخستین پژوهشگرانی بود که نتایج دبی عبوری از روی این سرریزها را با سرریز خطی مورد مقایسه قرار داد [۱]. پس از آن توسط هی و تیلور (۱۹۷۰) پژوهش‌های گسترده‌ای روی الگوی جریان و رفتار

استفاده از سرریزهای کنگره‌ای به دلیل کاهش قابل توجه هزینه‌ها و مشکلات اجرایی در مقایسه با سایر سرریزها مورد توجه طراحان اینگونه سازه‌ها است این امر به علت افزایش طول مؤثر سرریز در عرض محدودی از کانال خروجی سرریز صورت می‌گیرد. در زمینه سرریزهای کنگره‌ای

جریان عبوری از روی سرریز پرداخته است و پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد هیدرولیکی و افزایش ضریب آبگذری این سرریزها ارائه شده است. از آنجایی که این سرریزها در معرض جریانهای سیلابی است و در یک عرض محدود دبی بیشتری را عبور می‌دهند، بنابراین آبستستگی پائین‌دست این سازه یکی از چالش‌های اساسی برای تامین پایداری این سرریزها است. به همین منظور در این پژوهش آبستستگی پائین‌دست سرریز کنگره بدون کف‌بند مورد مطالعه قرار گرفته است. بطوری که تخمین مناسب ابعاد حفره آبستستگی همچون عمق، طول و عرض حفره می‌تواند اطلاعات مفیدی برای طراحی اولیه و پیش‌بینی‌های لازم جهت محافظت محدوده استقرار سرریز از قبیل طراحی محدوده و ابعاد سازه‌های محافظتی چون کف‌بند و... در اختیار مهندسین و طراحان سرریزها قرار دهد.

۲. امکانات آزمایشگاهی

آزمایشهای مورد نظر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان در یک کانال مستطیلی از جنس فلز با دیواره‌های پلکسی به طول ۶ متر، عرض و ارتفاع ۰/۳ متر و شیب کف یک درصد انجام شد. بالادست سرریز به طول ۳/۵ متر دارای بستر درشت‌دانه تثبیت‌شده و پایین‌دست آن به طول ۲/۵ متر دارای دانه‌بندی یکنواخت با قطر متوسط ۱/۷ میلی‌متر است. جنس سرریزها از ورق pvc با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و تحت دو سیکل آزمایش شده است. آزمایش‌های آبستستگی برای سرریزهای کنگره‌ای با ۵ زاویه مختلف ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰، ۴۵، ۶۷/۵ درجه و خطی (مدل شاهد) به ازای ۷ نسبت هدآب به ارتفاع سرریز ۰/۱ تا ۰/۷ انجام گرفت. در این آزمایش‌ها محدوده عدد فرود از ۰/۳ تا ۰/۴۶ و نسبت طول به عرض سرریز از ۱ تا ۳/۸ در نظر گرفته شد. در شکل (۱) سرریزهای استفاده شده در آزمایش‌ها در پلان نشان داده شده‌است. برای ثبت نتایج عمق و سایر ابعاد حفره آبستستگی از یک متر لیزری با دقت یک میلی‌متر استفاده شد. در شکل (۲) تصویری از حفره آبستستگی ارائه شده- است. که در این شکل L_{se} ، d_{se} به ترتیب بیشینه عمق و

هیدرولیکی حول این سازه‌ها انجام شد [2]. وارملتون و تیسانگ (2000)، مطالعاتی را روی هوادهی سرریزهای کنگره‌ای انجام دادند. آنان آزمایش‌های خود را روی سرریزهای مستقیم، مستطیلی و مثلثی انجام دادند و چهار حالت را برای برخورد جریان با حوضچه پائین‌دست تعریف کردند [3]. در ادامه ملو و همکاران (2002) یک روش پیشنهادی برای بهبود جهت‌گیری خطوط جریان ورودی به سرریز ارائه دادند. نتایج ایشان نشان داد که این امر موجب افزایش کارایی و ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای واقع در کانال با دیواره‌های همگرا می‌شود [4]. قدسیان (2009)، پژوهشی را به منظور ارزیابی تأثیر طول و شکل تاج روی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای مثلثی شکل در پلان به انجام رساند [5]. کورکستون و تولیس (2010 و 2011 و 2) با انجام آزمایش در طی سال‌های مختلف به بررسی حالت مختلف قرارگیری سرریز داخل مخزن و کانال پرداختند. همچنین مطالعاتی در کانال‌های همگرا به سرریز کنگره‌ای و زاویه و جهت‌گیری خطوط جریان عبوری از روی سرریز انجام دادند [6, 7, 8]. جعفری ندوشن (۱۳۸۹) پارامترهای تأثیرگذار بر ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای را به روش CFD بررسی کردند [9]. شقایان و تقی‌شریف (2015) و عباسپور و همکاران (2017) به ترتیب به مطالعه عددی و آزمایشگاهی میزان ظرفیت دبی عبوری از روی سرریز کنگره‌ای مثلثی با زوایا و ارتفاع‌های مختلف پرداختند [10, 11]. محمدزاده و همکاران (2017) به مطالعه آزمایشگاهی میزان انرژی ریزشی در پائین‌دست سرریزهای کنگره‌ای پرداختند [12]. طبق مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه سرریزهای کنگره‌ای، تحقیقات اندکی در زمینه آبستستگی پائین‌دست این سرریز انجام شده [13]. اسمعیلی‌ورکی و همکاران (۱۳۹۶) میزان آبستستگی موضعی در پائین‌دست سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی و دوزنقه‌ای را مورد آزمایش قرار دادند [18].

مروری بر پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات در زمینه سرریزهای کنگره‌ای به بررسی تأثیر شرایط جریان و شکل هندسی سرریز بر رفتار هیدرولیکی

۳. معرفی پارامترهای مؤثر بر ابعاد حفره آبستگي حول سرریز

پدیده‌ی آبستگي حول سرریزها تابع چهار عامل اصلی، پارامترهای وضعیت هندسی رودخانه، پارامترهای ذرات بستر و شرایط سیال، پارامترهای شکل هندسی سرریز کنگره‌ای و پارامترهای هیدرولیکی جریان می‌باشند، که در تحقیق حاضر با توجه به ثابت بودن خصوصیات سیال و مصالح بستر (از نوع غیرچسبنده، یکنواخت و کروی شکل) از بررسی پارامترهای رسوب و سیال صرف‌نظر شده است. همچنین بدلیل ثابت بودن عرض و شیب کانال، ضخامت و ارتفاع سرریز، از بررسی برخی پارامترهای هندسی جریان و سرریز، چشم‌پوشی شده است با استفاده از آنالیز ابعادی پارامترهای باقیمانده، شکل کلی پارامترهای مؤثر بر ابعاد حفره آبستگي را می‌توان به صورت رابطه نوشت:

$$P, V, \sqrt{gD}, W \quad (1)$$

در رابطه ۱ ϕ معرف عمق و طول حفره آبستگي است. همچنین W عرض مجرای V سرعت جریان، D عمق جریان بالادست سرریز، معرف عدد فرود جریان بالادست

سرریز، H هد آب روی سرریز، L طول تاج سرریز، P ارتفاع سرریز و α زاویه دیوارهای جانبی سرریز می‌باشد در شکل ۳ این پارامترها نشان داده شده است. در این رابطه باید توجه داشت که دو پارامتر α و W بیانگر یک مفهوم یکسان از خصوصیت کنگره

سرریز می‌باشد بطوریکه با توجه به ثابت بودن عرض کانال، به ازای طول تاج معین سرریز، امکان ایجاد یک زاویه مختص آن طول وجود دارد، بنابراین یکی از این دو پارامتر در رابطه لحاظ می‌شود. در جدول ۱ محدوده ابعاد مدل سرریزهای مورد استفاده در آزمایش‌ها ارائه شده است.

عرض کل ۳۰ سانتی متر و P ارتفاع آن ۲۰ سانتی متر، می‌باشد.

جدول ۱. محدوده ابعاد مدل فیزیکی مورد استفاده در آزمایش‌ها

زاویه کنگره α	15	22.5	30	45	67.5	Linear
طول L (cm)	29	19.6	15	10.6	8.12	30
طول L_{total} (cm)	116	78.4	60	42.4	32.48	30

Table. 1. The limitations of physical model dimensions

طول حفره آبستگي و $H_{s(max)}$ بیشینه ارتفاع پشته رسوبي است.

شکل ۱. سرریز کنگره‌ای: الف) ۱۵ درجه، ب) ۲۲/۵ درجه، ج) ۳۰ درجه، د) ۴۵ درجه، ه) ۴۷/۵ درجه و و) سرریز

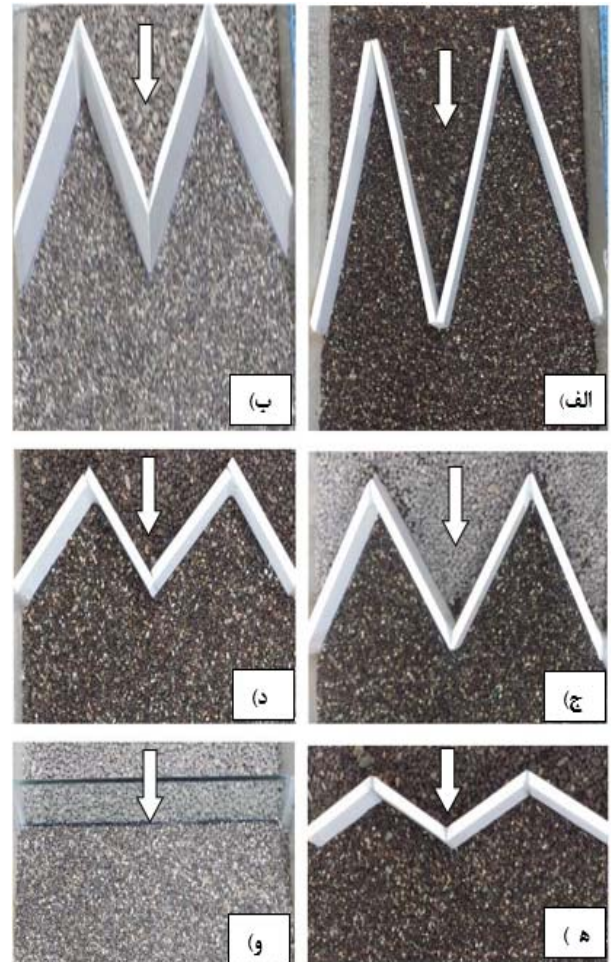


Fig. 1. A view of experimental model

شکل ۲. تصویری از حفره و نقطه حداکثر عمق آبستگي

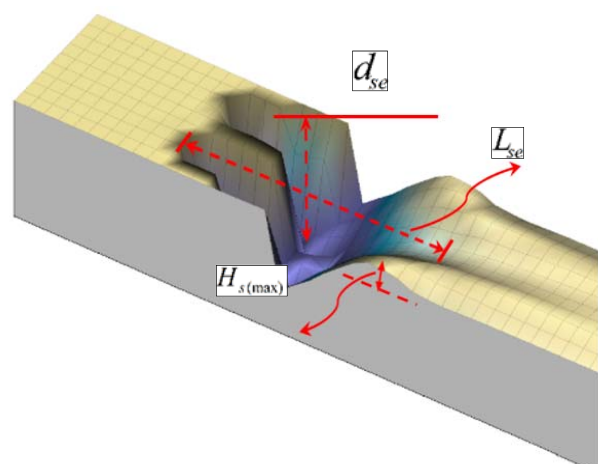


Fig. 2. The Schematic of scour hole and maximum scour depth

	0.2	1.02	5.1	13	110
	0.3	1.71	9.2	22	225
	0.4	2.50	13.2	30	360
	0.5	3.37	17.3	44	405
67.5°	0.1	0.29	2.2	3	60
	0.2	0.85	4.9	10	100
	0.3	1.47	9.8	20	210
	0.4	2.17	12.3	26	330
	0.5	2.92	18.6	35	375
Linear	0.1	0.28	1.2	2	60
	0.2	0.81	2.7	4	80
	0.3	1.40	5.8	10.5	135
	0.4	2.08	9.2	20	240
	0.5	2.78	13.2	26	290

Table 2. Summary of experimental results

لازم بذکر است نتایج آبشستگی ارائه شده در جدول ۲ مربوط به انتهای آزمایش‌ها می‌باشد بطوریکه مقادیر نهایی حداکثر عمق و طول حفره آبشستگی، پس از به تعادل رسیدن حفره و توقف پدیده‌ی آبشستگی برداشت می‌شد، با توجه به اینکه به طور مطلق نمی‌توان انتهای به‌عنوان زمان به تعادل رسیدن حفره بدست آورد و هر اندازه از زمان شروع آبشستگی گذشته باشد، باز هم فرآیند فرسایش در حفره، هر چند اندک و نامحسوس، ادامه می‌یابد لذا در این آزمایش‌ها با توجه به توصیه‌های سایر محققین و بر اساس مشاهدات و تجربیات آزمایشگاهی زمان تعادل حفره تعیین شد.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد زمان تعادل در آزمایش‌های مختلف شدت وابسته به شرایط آزمایش‌ها می‌باشد. بطوریکه با افزایش پارامتر P ، به واسطه افزایش شدت جریان و ابعاد حفره آبشستگی مدت زمان به تعادل رسیدن حفره به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. علاوه بر تاثیر پارامتر P ، افزایش زاویه دیوارهای جانبی سرریز نیز منجر به کاهش زمان تعادل آبشستگی می‌گردد. با این حال تاثیر پارامتر P بر زمان تعادل به مراتب بیشتر از تاثیر زاویه دیوارهای جانبی می‌باشد.

در رابطه با ابعاد حفره آبشستگی، از آنجائیکه میزان حداکثر عمق آبشستگی وابسته به الگوی جریان عبوری و مکانیزم آبشستگی می‌باشد، با بررسی مشاهدات کیفی این آزمایش‌ها رویت شد که الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی حول

شکل ۳. شماتیک سرریز کنگره‌ای

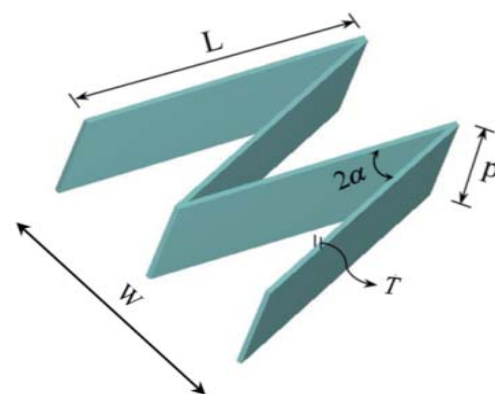


Fig. 3. The Schemati of labyrinth weir

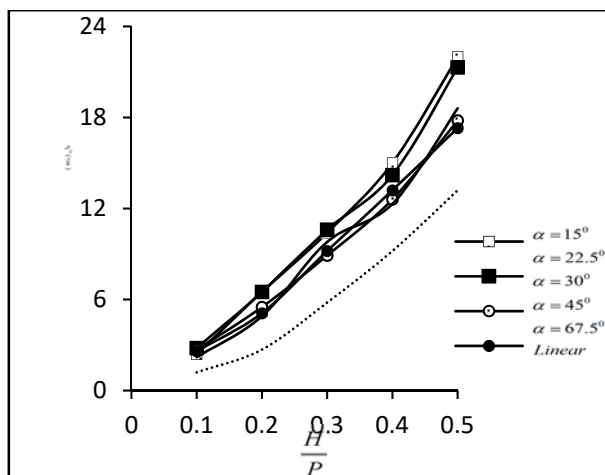
۴. تأثیر پارامترهای مختلف بر ابعاد حفره آبشستگی

در این بخش تحلیل مکانیزم آبشستگی پائین‌دست سرریز به ازای مقادیر مختلف بارهیدرولیکی، زاویه سرریز و عدد فرود جریان ارائه خواهد شد. در همین راستا پارامترهای مؤثر بر حداکثر عمق آبشستگی و طول حفره آبشستگی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول ۲ نتایج آزمایشگاهی مقادیر حداکثر عمق، طول حفره آبشستگی و زمان تعادل هر آزمایش به ازای شرایط مختلف آزمایشگاهی ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج بدست آمده در آزمایش‌ها

α	$\overline{P}$	$Q(\text{Lit/s})$	$d_{se}(\text{cm})$	$L_{se}(\text{cm})$	$t_e(\text{min})$
15°	0.1	0.63	2.4	5	80
	0.2	1.97	6.5	26	150
	0.3	3.10	10.4	38	280
	0.4	4.48	15	52	420
	0.5	5.82	22	60	465
22.5°	0.1	0.47	2.8	4	70
	0.2	1.48	6.5	16	135
	0.3	2.33	10.6	26	245
	0.4	3.34	14.2	40	390
	0.5	4.45	21.3	51	450
30°	0.1	0.40	2.7	4.5	70
	0.2	1.24	5.5	17	120
	0.3	2.00	8.9	29	225
	0.4	2.87	12.6	35	375
	0.5	3.80	17.8	47	430
45°	0.1	0.34	2.6	3.5	65

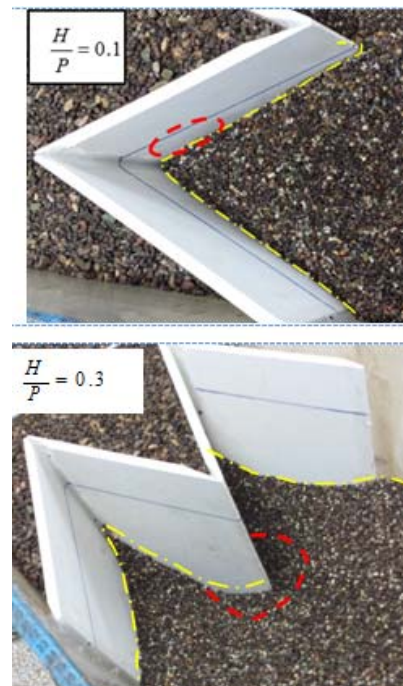
شکل ۵. تغییرات حداکثر عمق آبستگي به ازای P Fig.5. Variation of scour depth under different P

طبق شکل (۵)، به ازای افزایش پارامتر $\frac{H}{P}$ ، عمق نسبی آبستگي نهایی همواره افزایش می‌یابد. بطوریکه با افزایش ۷ برابری هد آب روی سرریز، بطور متوسط عمق آبستگي ۱۲ برابر و طول حفره آبستگي ۱۰ برابر افزایش داشته و افزایش ۶ برابری زاویه سرریز نیز منجر به کاهش ۷۰ درصدی عمق آبستگي می‌شود. این موضوع باتوجه به اینکه افزایش هد آب روی سرریز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش دبی عبوری و قدرت فرساینده دارد قابل پیش‌بینی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیشترین عمق آبستگي مربوط به سرریز ۱۵ درجه می‌باشد بطوریکه عمدتاً با کاهش زاویه، طول تاج سرریز افزایش می‌یابد و منجر به افزایش دبی عبوری و در نتیجه افزایش میزان آبستگي خواهد شد. اما نکته قابل تأمل اینجاست که یکسری تناقضاتی در این روند به ازای تغییر زاویه وجود دارد. به عنوان مثال بیشترین عمق آبستگي به ازای $\frac{H}{P} = 0.1, 0.2, 0.3$ حول سرریز ۲۲٫۵ درجه رخ می‌-

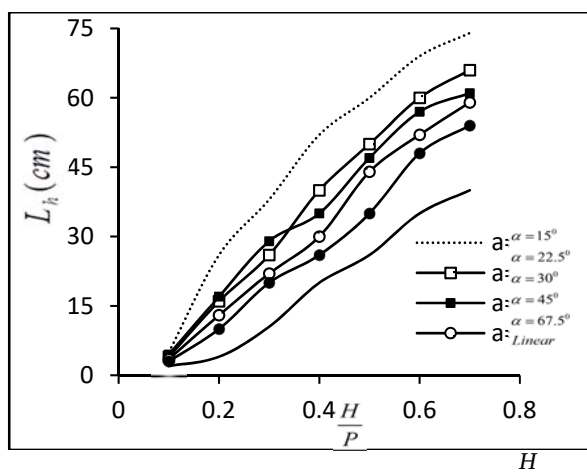
دهد که با وجود داشتن دبی عبوری کمتر نسبت به دبی سرریز ۱۵ درجه، متناقض بنظر می‌رسد، ولی بدلیل مکانیزم آبستگي و شدت گردابه‌های شکل گرفته دارای حفره با شیب تندتری نسبت به سرریز ۱۵ درجه می‌باشد لذا با وجود داشتن حفره با حجم کمتر، نقطه عمق آبستگي نهایی آن عمیق‌تر می‌باشد. همچنین شکل (۵) نشان می‌دهد که نرخ افزایش حداکثر عمق آبستگي نهایی با افزایش $\frac{H}{P}$ (در P های بالا) شدیدتر بوده

سرریزهای کنگره‌ای به ازای هر P و زاویه خاص، مختص و منحصر به آن آزمایش خاص بوده و بندرت فرآیند آبستگي مشابهی در دو آزمایش مختلف رخ می‌دهد. لذا محل تشکیل حفره و حداکثر عمق آبستگي در آزمایش‌های مختلف یکسان نمی‌باشد حتی در برخی آزمایش‌ها بویژه در آزمایش‌های با مقادیر کم هد آب روی سرریز، به علت شرایط خاص جریان ریزشی حفره‌ها در مجاورت دیواره‌های سرریز شکل گرفته لذا بیش از یک حفره در هر سیکل سرریز ایجاد می‌شد. برای نمونه همانطوریکه در شکل (۴) نشان داده شده‌است به ازای $\frac{H}{P} = 0.1$ حداکثر عمق آبستگي در مجاورت جداره‌ها در گوشه دیواره و به ازای $\frac{H}{P} = 0.1$ ، حفره آبستگي و محل

حداکثر عمق آبستگي به سمت دماغه سرریز کشیده شده‌است. شکل ۴. محل حداکثر عمق آبستگي ناشی از آزمایش‌های مختلف

Fig. 4. Location of maximum depth of scour under different P

با توجه به تقارن تقریبی در شکل و پروفیل حفره‌های آبستگي در دو سیکل سرریز، به ارائه نتایج آبستگي در یکی از سیکل‌های سرریز بسنده شده‌است. در شکل (۵) روند تغییرات حداکثر عمق نسبی آبستگي به ازای P های مختلف ارائه شده‌است.

شکل ۷. تغییرات طول حفره در P های متفاوت

 Fig. 7. Variation of scour length under different $\frac{H}{P}$

همانطوریکه قابل پیش‌بینی بود نتایج نشان می‌دهد با افزایش $\frac{H}{P}$ همواره طول حفره نهایی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. این روند برای کلیه سرریزها صدق می‌کند. افزایش مقدار P ، منجر به افزایش دبی جریان و مومنتوم جت برخوردی به بستر می‌شود. این موضوع تقویت قدرت گردابه‌ها و تشدید نرخ انتقال ذرات به پائین‌دست را در پی خواهد داشت، بنابراین حفره آبستگي به علت تقویت تنش‌های برشی وارده بر بستر بطور قابل ملاحظه‌ای توسعه یافته و ابعاد حفره و پشته رسوبی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با کاهش زاویه سرریز نیز عمده‌تأثیر طول حفره آبستگي افزایش می‌یابد. که دلیل آن مشابه با تأثیر P ، افزایش تنش‌های بستر و شدت گردابه‌ها با افزایش دبی جریان در سرریزهای با زاویه کمتر است، بطوریکه با کاهش زاویه طول تاج سرریز و کنگره افزایش می‌یابد و در کل منجر به افزایش دبی عبوری و نهایتاً افزایش میزان طول حفره آبستگي خواهد شد. بیشترین طول حفره آبستگي مربوط به سرریز ۱۵ درجه و کمترین طول حفره مربوط به سرریز شاهد (خطی) می‌باشد. در جدول ۲ مقادیر طول نهایی حفره آبستگي در کلیه سرریزها به ازای مقادیر مختلف بار هیدرولیکی ارائه شده است. با دقت در نتایج جدول ۲ دیده می‌شود که طول حفره آبستگي سرریز ۲۲/۵ درجه به ازای $\frac{H}{P} = 0.2, 0.3$ کمتر از طول حفره آبستگي سرریز ۳۰ درجه می‌باشد با توجه به دبی جریان بیشتر سرریز ۲۲/۵ نسبت به سرریز ۳۰ درجه متناقض بنظر می‌رسد، ولی بدلیل

و افزایش قابل ملاحظه‌ای به خود می‌گیرد که حائز اهمیت می‌باشد. از دیگر عوامل مؤثر بر میزان و محل وقوع حداکثر عمق آبستگي تداخل جریان‌های ریزشی است، که محل این تداخل بشدت وابسته به زاویه سرریز و $\frac{H}{P}$ می‌باشد. بطوریکه با افزایش زاویه، جریان‌های ریزشی از طرفین سرریز با شدت کمتر با یکدیگر برخورد کرده و در زوایای کمتر، بدلیل نزدیکیتر بودن دیواره‌های جانبی، تداخل دارای محدوده و شدت بیشتری می‌باشد که در شکل ۶ نمونه‌ای از تأثیر زاویه سرریز بر محدوده تداخل جریانهای ریزشی نشان داده شده است.

شکل ۶. نمونه‌ای از تأثیر زاویه بر محدوده تداخل جریانهای ریزشی

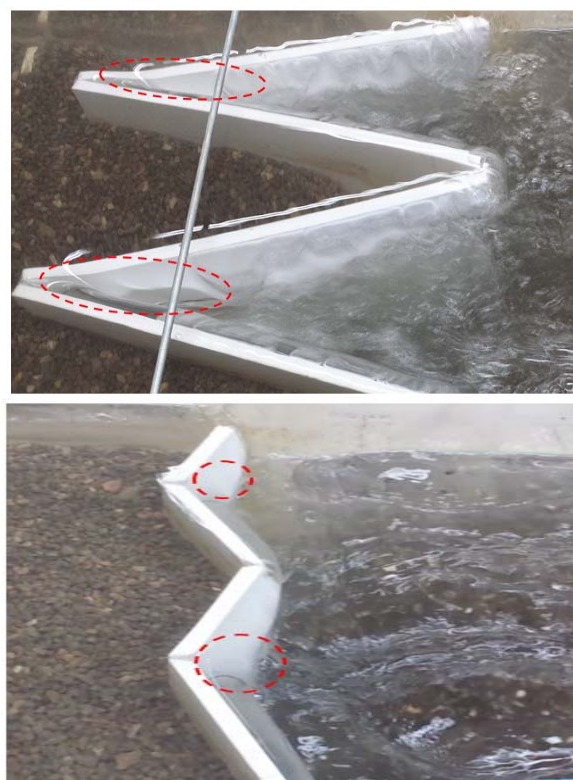


Fig.6. Leffect of weir angle on interference region

لازم بذکر است که به ازای $\frac{H}{P}$ های بالا، تأثیر زاویه سرریز بر شدت تداخل و ناحیه وقوع آن بشدت افزایش می‌یابد.

۵. طول حفره آبستگي

در شکل (۷) غیر از طول نهایی حفره آبستگي در کلیه سرریزها به ازای P مختلف نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود عدد فرود تأثیر معناداری بر پارامترهای آبشستگی دارد و افزایش عدد فرود همواره منجر به توسعه ابعاد حفره آبشستگی می‌شود. با دقت در نتایج می‌توان دریافت که مقادیر طول و عمق نهایی حفره آبشستگی با یک رابطه تقریباً خطی از تغییرات عدد فرود تبعیت می‌کند که البته شیب این رابطه خطی برای سرریز با زاویه های مختلف یکسان نمی‌باشد هر چه زاویه کاهش می‌یابد این شیب تندتر می‌شود که بیانگر این مفهوم است که تأثیر عدد فرود در آبشستگی حول سرریزهای کنگره‌ای بیشتر از سرریز خطی می‌باشد. طبق داده‌های جدول ۲، با افزایش حدود ۶ برابری عدد فرود، عمق آبشستگی ۱۰ تا ۱۳ برابر و طول حفره ۷ تا ۱۲ برابر رشد می‌کند. طبق نتایج جدول، با افزایش عدد فرود، بیشترین رشد عمق آبشستگی مربوط به سرریز با زاویه کنگره ۲۲/۵ درجه و بیشترین رشد طول حفره آبشستگی مربوط به سرریز با زاویه کنگره ۱۵ درجه می‌باشد.

۷. رابطه بین طول و حداکثر عمق آبشستگی

با کمی تأمل در مقادیر ابعاد نهایی حفره آبشستگی مشاهده گردید که مقادیر طول و حجم حفره نهایی آبشستگی ناشی از آزمایش‌های مختلف، با نسبتی از عمق آبشستگی تغییر می‌کنند. شکل (۱۰) تغییرات طول حفره نسبتی آبشستگی نسبت به حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰. تغییرات طول حفره نسبت به حداکثر عمق آبشستگی

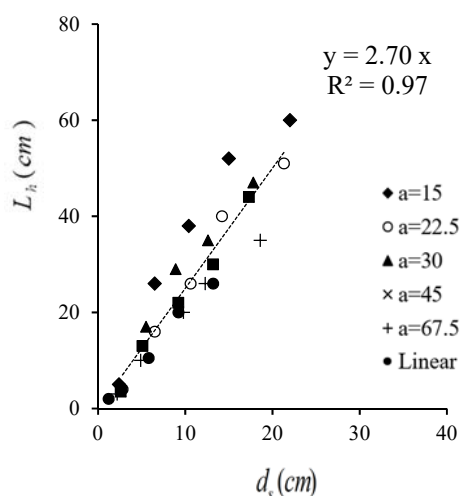


Fig. 10. Relationship between scour length and scour

زاویه برخورد تندتر جت آب عبوری از سرریز ۲۲/۵ درجه، بستر آن دارای حفره‌ای با شیب تندتر می‌باشد بطوریکه با وجود میزان حجم آبشستگی بیشتر، عمده آبشستگی و توسعه حفره در راستای عمقی اتفاق افتاده و حفره در راستای طولی توسعه کمتری داشته است. بنابراین طول حفره آبشستگی آن کمتر می‌باشد.

۶. تأثیر عدد فرود بالادست سرریز بر عمق و سایر ابعاد حفره آبشستگی

بسیاری از تحقیقات در زمینه آبشستگی نشان می‌دهد که عدد فرود از پارامترهای تأثیر گذار بر پدیده آبشستگی می‌باشد. به همین منظور در این قسمت سعی شده تا تأثیر عدد فرود بر عمق و ابعاد حفره آبشستگی مورد مطالعه و تحقیق قرار گیرد. در شکل های (۸ و ۹) تغییرات عمق نهایی و طول حفره آبشستگی سرریز با زوایای مختلف به ازای تغییرات عدد فرود نشان داده شده است.

شکل ۸. تغییرات عمق نهایی آبشستگی به ازای عدد فرود

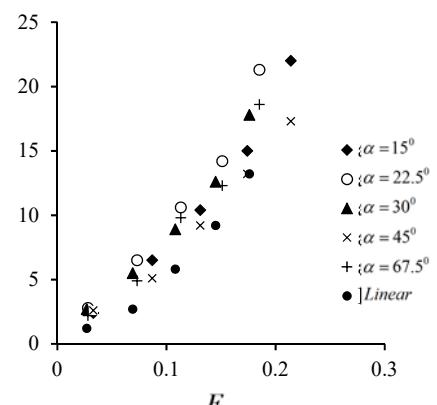


Fig. 8. Variation of scour depth with Froude number

شکل ۹. تغییرات طول حفره آبشستگی به ازای عدد فرود

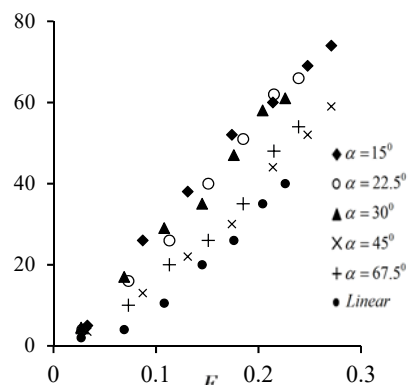


Fig. 9. Variation of scour length with Froude number

- Idrauliche del Regio Politecnico di Milano. 1941, No. 48. (in Italian).
- [2] Hay, N and Taylor, G., "Performance and design of labyrinth weirs". ASCE, J. Hydraul. Eng, 1970, 96(11), 2337-2357.
- [3] Wormleaton, P and Tsang, C., "Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs". American Society of Civil Engineering, Journal of Environmental Engineering, 2000, 127(5): 456-465.
- [4] Melo, J., Ramos, C and Magalhães, A., "Descarregadores com soleira em labirinto de um ciclo em canais convergentes". Determinação da capacidade de vazão. Proc. 6º Congresso da Água, Porto, Portugal. (in Portuguese), 2002.
- [5] Ghodsian, M., "Stage-discharge relationship for a triangular labyrinth spillway". Proc. Inst. Civ. Eng. Water Manage, 2009, 162(3):173-178
- [6] Crookston, B.M and Tullis, B., "Hydraulic performance of labyrinth weirs". Proc. of the Int. Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures (IJREWS'10). Edinburgh, U.K, 2010.
- [7] Crookston, B.M and Tullis, B.P., "Hydraulic characteristics of labyrinth weirs, Labyrinth and Piano Key weirs (PKW)", 2011, 25-32.
- [8] Crookston, B.M., Tullis, B.P., "Discharge Efficiency of Reservoir-Application-Specific Labyrinth Weirs", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 138(6), 564-568.
- [9] Jafari Nadoshan, A, "Investigation of discharge coefficient of trapezoidal labyrinth Spillway with using ANFIS Models and Genetic Algorithms", MSc Thesis, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran, 2010. (in Persian)
- [10] Shaghaghian, M.M., Taghi Sharifi, M., "Numerical Modeling of Sharp-Crested Triangular Plan Form Weirs Using FLUENT", Indian Journal of Science and Technology, 2015, 8(34), 782-789.
- [11] Abbaspuor, B., Hamzeh Haghiabi, A., Maleki, A., Torabi Poodeh, H., "Experimental and numerical evaluation of discharge capacity of sharp-crested triangular plan form weirs." Int. J. Engineering Systems Modelling and Simulation. 2017, Vol.9, No.2.
- [12] Mohammadzadeh-Habili, J., Heidarpour, M., Samiee, S., "Study of Energy Dissipation and Downstream Flow Regime of Labyrinth

طبق شکل (۱۰) می‌توان گفت، تغییرات طول حفره آبشستگی تقریباً با رابطه‌ی خطی از عمق آبشستگی تبعیت می‌کند، این نسبت همان شیب خط برازش ($m=2.7$) بوده و رابطه $L_s = 2.7d_s$ با دقت $R^2 = 0.97$ بیانگر این ارتباط می‌باشد.

۸. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر پارامترهای هد آب روی سرریز، عدد فرود جریان و زاویه دیوارهای جانبی بر ابعاد حفره آبشستگی پائین-دست سرریز کنگره‌ای مثلثی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد به ازای مقادیر مختلف پارامترهای هد آب روی سرریز و زوایای سرریز، مکانیزم آبشستگی حول سرریز متفاوت بوده و بر میزان عمق آبشستگی و سایر ابعاد حفره تأثیر دارد. بطوریکه در کلیه آزمایش‌ها با افزایش هد آب روی سرریز بدلیل افزایش دبی عبوری از سرریز، میزان حداکثر عمق آبشستگی همواره افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین عمق آبشستگی حول سرریز ۱۵ درجه و کمترین عمق برای سرریز شاهد (خطی) رخ می‌دهد. علاوه بر عمق آبشستگی، با افزایش هد آب روی سرریز سایر ابعاد حفره آبشستگی نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

با افزایش زاویه سرریز به علت کاهش طول تاج آن و کاهش دبی عبوری، میزان آبشستگی کاهش می‌یابد. البته تناقضاتی در روند تغییرات عمق آبشستگی بر مبنای زاویه کنگره وجود دارد. به عنوان مثال سرریز ۲۲/۵ درجه بدلیل مکانیزم آبشستگی متفاوت دارای حفره با شیب تندتری نسبت به سرریز ۱۵ درجه می‌باشد لذا با وجود داشتن حفره با حجم کمتر، عمق آبشستگی نهایی عمیق‌تری می‌باشد. مقادیر ابعاد حفره آبشستگی با یک رابطه نسبتاً خطی از تغییرات عدد فرود تبعیت می‌کند شیب این رابطه برای سرریز با زاویه‌های مختلف یکسان نمی‌باشد.

همچنین مقادیر طول حفره نهایی آبشستگی ناشی از آزمایش‌های مختلف، با نسبتی از عمق آبشستگی تغییر می‌کنند.

۹. منابع

- [1] Gentilini, B., "Stramazzi con cresta a pianta obliqua e a zig-zag". Memorie e study dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni

Structures with Labyrinth Planform", Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 2017, 18 (68), 129-142. (in Persian)

Weirs". Iran Journal Sci Technol Trans. Civ Eng, 2017, 142(3): 231-243.

[13] Esmacili-Varaki, M , Rajaei, A, Shafiei-Sabet, B. "Laboratory Study on Local Scour at the Downstream of Grade Control

Investigation on the effect of different parameters on maximum scour depth and length at triangular labyrinth weir without apron

Ali babakhani^{1*}, Mojtaba Morsali²

*1. Assistant professor, Faculty of Engineering, University of Zanjan

2. M.Sc. Student, Faculty of Engineering, University of Zanjan

Abstract

Weirs located on rivers massively used to regulate the flow of water, facilitate flow diversion for various purposes. These weirs play an important role in passing surplus water during floods. Given that the site of the weir is often restricted in width, Labyrinth weirs with different shapes have been developed to increase weir length and discharge capacity. Labyrinth weirs can pass large flows at comparatively low heads. Since labyrinth weirs are relatively low-cost spillways compared to gated spillways, they are often used in conjunction with rising of dams for increased storage volume. Another reason for their use is often the upgrading of the flood discharge capacity at existing dams, especially at concrete gravity dams. Labyrinth weirs are also used as protection structures for canals and run-of-river hydroelectric plants. Labyrinth weirs located on the rivers are often exposed to Flood; therefore one of the principal challenges of their use of them is scouring around them.

Accurate estimation of the maximum possible depth of scour at weirs is important in decision-making for the safe depth of burial of footings. Therefore, we studied downstream scour at the triangular labyrinth spillway (W-weir) without apron under clear water on straight Flume. In this study, we used labyrinth weir with 6 different sidewall angles (15° , 22.5° , 30° , 45° , 67.5° , Linear) and seven ratios ($H/P=0.1$, 0.2 , 0.3 , 0.4 , 0.5 , 0.6 , 0.7). In this experiments the effect of H/P , Froude number and sidewall angles on scour depth and hole dimensions were investigated. The results indicated that H/P , Froude number and cycle sidewall angles had a significant effect on scour depth and hole dimensions. Also, Experimental observations showed that the mechanism and the value of scouring at weir varied for the different value head and sidewall angles. As H/P increased, the flow discharge over weir and shear stress on the bed decreased sharply, so scour depth and scour hole dimension developed massively. The results showed, When H/P increased 7 times, scour depth increased 12 times and scour length 10 times.

As mentioned, In $H/P < 0.2$ phase, because the flow falls freely over the labyrinth crest, scour-hole strip occurs paralleled next to the entire length of the labyrinth sidewall. As the water head increases continues scour hole strip in the entire length of weir convert to two separate scour holes downstream of the weir.

In addition, the sidewall angle has a significant effect on the location of the maximum scour depth by affecting the region of the flow interference. That way, with increasing sidewall angles 6 times, scour depth decreased 70%. In this study, in addition to studying scour hole, the effect of H/P and sidewall angle were investigated on the dimensions of deposition ridge.

The results indicated that, there is no reasonable relationship between hydraulically parameters and the maximum height of sediment ridge. Finally, with analyzing data and the results of experiments, we presented some empirical formulas for estimating the scour-hole dimensions according to scour depth.

Keywords: Experimental, Scour, Downstream, weir, Labyrinth, Triangular, without apron.