

بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل

سیدجواد مشکواتی تروجنی¹، علی‌رضا عمادی^{2*}، امیراحمد دهقانی³، محسن مسعودیان⁴

تاریخ دریافت: 1396/2/13 تاریخ پذیرش: 1396/3/27

چکیده

سرریزها از جمله سازه‌های پرکاربرد برای تنظیم رقوم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها و سازه‌های هیدرولیکی به‌شمار می‌آیند. سرریزهای کنگره‌ای، از انواع سرریزهای غیرمستقیم بوده که با افزایش طول موثر، مقدار مشخصی از جریان را با تراز سطح آب بالادست کم‌تر نسبت به سرریزهای خطی از خود عبور می‌دهند. معیار اصلی در طرح سرریزهای کنگره‌ای، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز است. در این پژوهش، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با طول و ارتفاع‌های متفاوت در یک کانال به‌طول 15 و عرض 1 متر به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای یک طول مشخص از سرریز و در یک H_f / P ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی روندی کاهشی داشت. در یک ارتفاع و H_f / P ثابت نیز، با افزایش طول سرریز (کاهش زاویه دیواره سرریز با جهت جریان)، ضریب دبی روندی کاهشی داشت. نتایج حاکی از آن بوده که در یک عدد فرود ثابت، عمق آب بالادست سرریز خطی تقریباً $2/8$ برابر بیش‌تر از سرریز کنگره‌ای است. علاوه بر این در یک عمق آب بالادست ثابت، دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای به‌طور متوسط، $2/94$ برابر بیش‌تر از سرریز خطی معمولی بود. هم‌چنین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای برای ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: دبی جریان، سازه‌های هیدرولیکی، سرریزهای کنگره‌ای، ضریب‌دبی، طول و ارتفاع سرریز

مقدمه

سرریز خطی است که در نمای بالا به‌صورت شکسته دیده می‌شود. این عمل برای افزایش طول سرریز در یک کانال با عرض مشخص انجام شده است. در نتیجه، برای یک عمق جریان یکسان در بالادست، سرریزهای کنگره‌ای نسبت به سرریزهای خطی دبی بیش‌تری را از خود عبور می‌دهند. سرریزهای دیگری که مشابه با سرریز کنگره‌ای هستند عبارت‌اند از: سرریزهای مورب، سرریزهای نوک-اردکی⁵، سرریزهای کلیدپیانویی⁶ و سرریزهای فیوزگیت⁷. سرریزهای کنگره‌ای با اشکال هندسی مختلفی وجود داشته، اما سه شکل مثلثی، دوزنقه‌ای و مستطیلی بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است (شکل 1). شکل‌های 2 و 3 نیز مشخصات هندسی و پروفیل طولی یک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای را نشان داده‌اند.

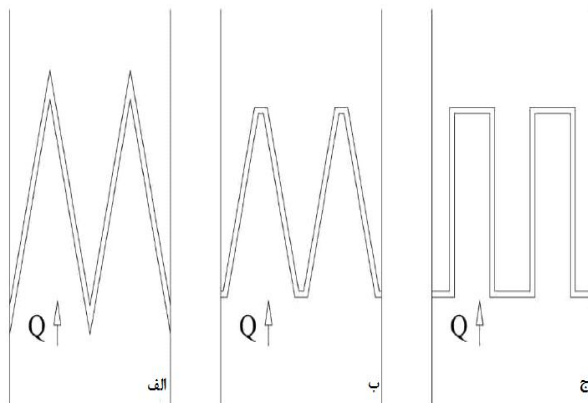
به دلیل پیچیدگی رفتار هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای، سال‌های زیادی است که پژوهشگران و مهندسان علاقه زیادی به مطالعه در مورد این گونه سرریزها از خود نشان داده‌اند. سرریزهای کنگره‌ای نسبت به سرریزهای خطی در یک عرض مشخص از کانال،

سرریزها از جمله سازه‌های پرکاربرد و ساده‌ای هستند که برای تنظیم دبی و عمق جریان بالادست و هم‌چنین برای اندازه‌گیری دبی جریان، قرن‌ها است مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها در نهرها، کانال‌ها، رودخانه‌ها، استخرها و مخازن به‌کار برده می‌شوند. از مشکلاتی که شبکه‌های آبیاری با آن مواجه هستند، تغییر میزان دبی عبوری از سازه آبیگر به‌واسطه نوسانات شدید سطح آب در مجرای اصلی است. با توجه به رابطه دبی و بار هیدرولیکی در سرریزها، یکی از راه‌های کاهش این نوسانات که ناشی از تغییرات دبی بوده، افزایش طول تاج سرریز است. استفاده از سرریزهای چندوجهی از راه‌های موثر و اقتصادی به‌منظور افزایش طول موثر تاج است. این سرریزها، به نام‌های متفاوتی چون کنگره‌ای، چندوجهی و منقاری نامیده می‌شوند (Heydarpour et al., 2006). سرریز کنگره‌ای، همان

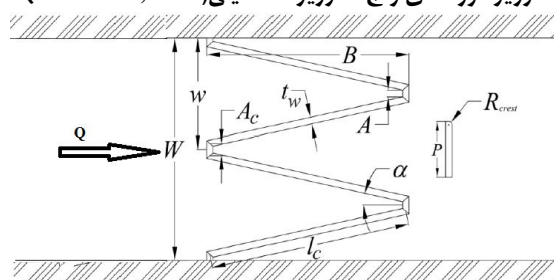
- 1- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - 4- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- (*) - نویسنده مسئول: (Email: Emadia355@yahoo.com)

نظر گرفت: انرژی، مومنتم، پیوستگی، فشار زیر تیغه جریان، دینامیک هوای پشت جت آب، تداخل تیغه‌های جریان، استغراق موضعی، اثر کشش سطحی، اثر لزجت، هندسه سرریز و شکل تاج. در نتیجه، پژوهش‌گران یک رابطه دبی با ضرایب تجربی را به کار می‌بردند که از نتایج آزمایشگاهی حاصل از مدل‌سازی فیزیکی به دست آمده‌اند (Crookston., 2010). از مهم‌ترین امتیازهای توسعه و کاربرد سرریزهای کنگره‌ای در رودخانه‌ها و مخازن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Yasi and Mohammadi., 2007).

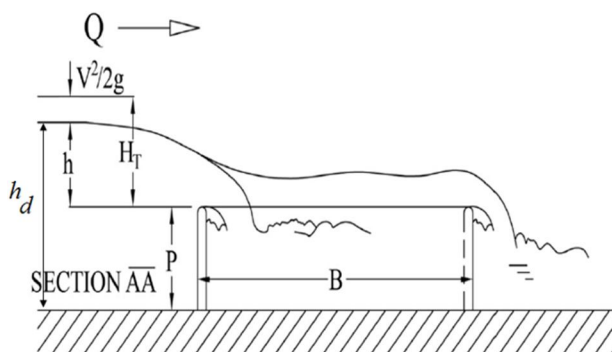
طول بیش‌تری را ایجاد کرده، در نتیجه برای رقوم سطح آب بالادست مشخص، ظرفیت جریان را افزایش داده‌اند. بنابراین، سرریزهای کنگره‌ای در تثبیت عمق آب بالادست نسبت به سرریزهای خطی بهتر عمل کرده و در نتیجه نیاز به ارتفاع آزاد کم‌تری در بالادست است. به دلیل پیچیدگی جریان عبوری از روی سرریز کنگره‌ای، تشریح عددی و حل آن به صورت عددی دشوار است. زیرا جریان عبوری از روی یک سرریز کنگره‌ای سه بعدی بوده و از یک مقطع با جریان بحرانی عبور می‌کند. برای حل عددی بایستی موارد زیر را در



شکل 1- اشکال مختلف سرریز کنگره‌ای؛ الف: سرریز مثلثی، ب: سرریز دوزنقه‌ای و ج: سرریز مستطیلی (Crookston, 2010)



شکل 2- مشخصات هندسی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای (Tullis et.al., 2007, Azhdarimoghdam and Jafarinadoshan, 2013)

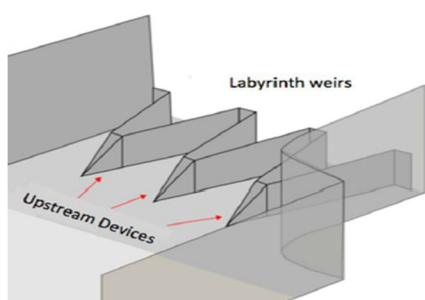


شکل 3- پروفیل طولی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

1- محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز جهت انتقال حداکثر سیلاب طراحی در مخازن سدها،
2- محدودیت ارتفاع سطح آب در بازه بالادست سرریز و خطر آب‌گرفتگی اراضی بالادست

1- محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز جهت انتقال حداکثر سیلاب طراحی در مخازن سدها،
2- محدودیت ارتفاع سطح آب در بازه بالادست سرریز و خطر آب‌گرفتگی اراضی بالادست

تشکیل نشده است (Atashi et al., 2012). از دوردی مقدم و جعفری ندوشن به بررسی هندسه سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از مدل فازی - عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی سد Ute در ایالت متحده آمریکا) پرداختند. در این پژوهش از قابلیت سیستم استنتاج فازی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌کردن هندسه سرریز و تامین شرایط هیدرولیکی مناسب استفاده گردید (Azhdarimoghadam and JafariNadoshan., 2013). کروکاستون و تالیس به بررسی طراحی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شامل هوادهی، ناپایداری و ارتعاشات تیغه جریان، پرداختند. در این تحقیق نیز از شکل‌های ربع دایره و نیم‌دایره برای تاج و زاویه 35-6 درجه برای دیواره سرریز استفاده شد. شرایط رفتار تیغه ریزشی جریان از روی سرریز برای تغییرات در ضریب دبی، مدنظر قرار گرفت و یک تیغه چسبیده به دیواره از یک تیغه هوادهی شده، جز هوادهی شده و تیغه جریان مستغرق کارا تر است (Crookston and Tullis., 2013). گوپتا و همکاران مشخصات جریان روی سرریزهای W شکل لبه تیز در پلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است که راندمان این نوع سرریزها بهتر از سرریزهای معمولی است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش، معادلاتی نیز برای دبی ارائه شد. این معادلات با 5 درصد نوسانات خطایی، مقدار دبی را محاسبه نموده است. حساسیت سرریز نسبت به هد آب نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سرریز در هدهای کم و زوایای کوچک راس، بسیار حساس است (Gupta et al., 2014). گوستاوو و همکاران به بررسی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با اجرای ابزار هیدرودینامیکی در بالادست پرداختند. در انجام این آزمایش‌ها از سه ابزار هیدرودینامیکی به طول‌های، 6، 12 و 18 سانتی‌متر استفاده شد (شکل 4) (Gustavo et al., 2015).



شکل 4- اجرای ابزار هیدرودینامیکی در بالادست سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

نتایج نشان داده است که این ابزارهای هیدرودینامیکی دبی را به میزان زیادی افزایش داده است. مهبودی و همکاران، ضریب دبی سرریز کلیدپیانویی دوزنقه‌ای را به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب دبی سرریز کلیدپیانویی

3- افزایش حجم مفید مخازن سدها از طریق افزایش ارتفاع تاج ثابت سرریز
 4- اصلاح و توسعه طرح سرریزهای موجود جهت افزایش ظرفیت انتقال سیلابی و سادگی ساخت
 5- توجه برتر اقتصادی و سهولت مدیریت بهره‌برداری در مقایسه با گزینه سرریز خطی با کنترل دریچه‌ای
 تلاش‌های اولیه برای بررسی سرریزهای چندوجهی توسط های و تیلور (Hay and Talor., 1970) انجام شد. آن‌ها راندمان این‌گونه سرریزها را با نسبت Q_L / Q_N بیان نمودند. در این رابطه Q_L دبی سرریز چندوجهی با طول L و Q_N دبی سرریز معمولی (خطی) با طول W (معادل عرض آبراهه اصلی) در یک بار هیدرولیکی مشخص بوده است. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که بازده سرریزهای چندوجهی (مثلی، مستطیلی و دوزنقه‌ای) در بار هیدرولیکی کم، مطلوب است (Hay and Talor., 1970). حیدرپور و همکاران به بررسی سرریزهای چندوجهی با پلان مستطیلی و U شکل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در کلیه سرریزهای چندوجهی، ضریب دبی نسبت به H_t / P (بار هیدرولیکی کل و P ارتفاع سرریز) ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک حداکثر، شروع به کاهش نموده است (Heydarpour et al., 2006). رضایی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مستطیلی پرداختند. نتایج نشان داد رابطه‌ای که از اکثر پارامترهای موثر استفاده شده است، نتایج دقیق‌تری را پیش‌بینی کرده و برای طراحی، قابل پیشنهاد است. برای ارتفاع آب بالادست ثابت، دبی سرریز کنگره‌ای حداکثر $2/6$ برابر دبی سرریز مستقیم و در دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست سرریز مستقیم $1/8$ برابر ارتفاع آب بالادست سرریز کنگره‌ای است (Rezaee et al., 2015). اسکوئی و همکاران به بررسی تاثیر شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داده است که شیب‌دار نمودن هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی نقش موثری در کارایی این سرریز داشته است (Oskoei et al., 2016). تالیس و همکاران به بررسی رابطه دبی - اشل سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای مستغرق پرداختند. آن‌ها یک رابطه بی‌بعد برای هد مستغرق (نسبت هد کلی آب در بالادست به پایین‌دست سرریز نسبت به تاج آن) برای سرریز کنگره‌ای مستغرق و سرریز خطی مستغرق ارائه کردند (Tullis et al., 2007). آتشی و همکاران به ارزیابی الگوی جریان و تنش برشی در قوس 90 درجه تند با حضور سرریز W شکل پرداختند. نتایج نشان داد که حضور سرریز W شکل باعث شده است تا در بالادست محل نصب، توزیع عمقی جریان یکنواخت‌تر و اثر دو نیروی شیب عرضی فشار و گریز از مرکز به‌گونه‌ای اصلاح شده‌اند که جریان‌های ثانویه

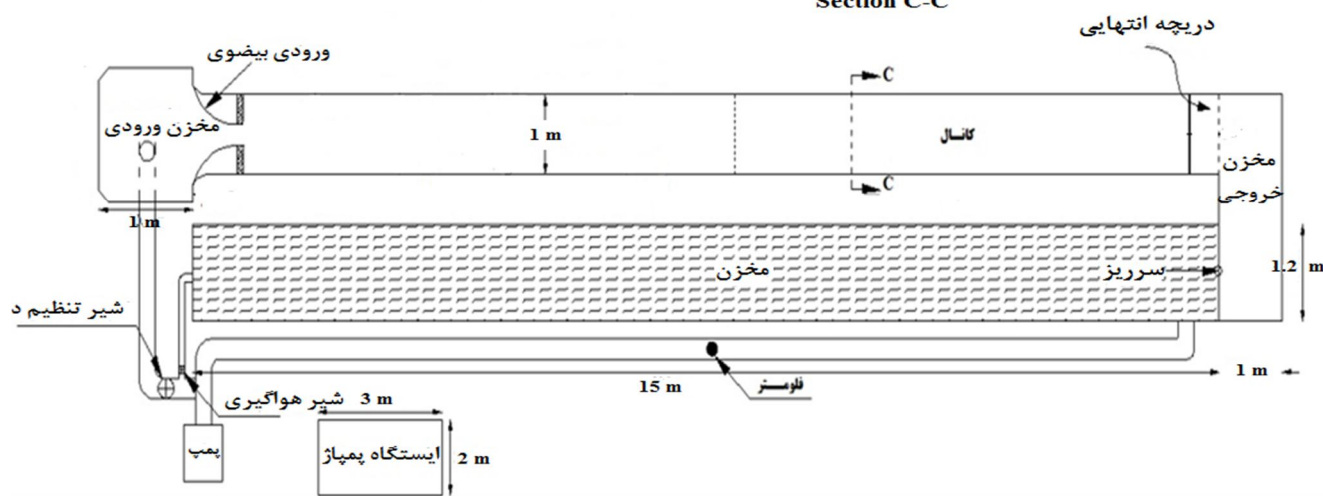
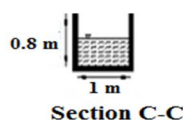
یک مخزن بزرگ قرار داشت و علاوه بر این مخزن و در ابتدای کانال، تعدادی بلوک سیمانی در کف کانال و چند صفحه یونولیت در سطح آب قرار داده شد. کف این کانال از جنس ورق گالوانیزه و دیواره‌های آن هم از جنس شیشه بود. شکل 5 نمایی از کانال مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

دبی جریان توسط یک سرریز خطی لبه‌تیز مستطیلی کالیبره شد که در پایین‌دست و در ورودی مخزن اصلی ذخیره آب قرار داشت اندازه‌گیری شد. ارتفاع آب روی این سرریز خطی توسط یک پیژومتر که در بدنه مخزن نصب شده بود، اندازه‌گیری شد. عمق آب در کانال نیز توسط یک عمق‌سنج دیجیتالی با دقت 0/01 میلی‌متر اندازه‌گیری شد که برای جابه‌جایی آن در طول کانال از یک کالسکه استفاده شد. در این پژوهش از 12 مدل سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با چهار طول و سه ارتفاع مختلف و همچنین از یک سرریز معمولی (خطی) هم‌عرض با کانال با سه ارتفاع مختلف، و در مجموع 15 مدل مختلف استفاده شد. برای هر مدل نیز قرائت‌ها برای 7 دبی مختلف انجام شد.

دوزنقه‌ای از سرریز کلیدپیانویی مستطیلی بیش‌تر است (Mehboudi et al., 2016). با بررسی‌های انجام شده مشخص شده است که در مطالعات قبلی اثر تغییر طول و ارتفاع به‌صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین اختلاف این تغییر طول‌ها زیاد بوده است ولی در این پژوهش اثر تغییر طول و ارتفاع به‌صورت توأمان و با درصد اختلاف ناچیز تغییر طول نسبت به طول کل سرریز، انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، مطالعه و بررسی اثر طول و ارتفاع بر هیدرولیک جریان روی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال با طول، عرض و ارتفاع 15، 1 و 0/8 متر، انجام شد. این کانال توسط پمپی با حداکثر دبی 200 لیتر بر ثانیه تغذیه شد. تغییرات دبی توسط شیر فلکه‌ای که بلافاصله بعد از پمپ قرار داشت انجام می‌گرفت. برای آرام کردن جریان، در ورودی کانال



شکل 5- نمایی از کانال آزمایشگاهی در نمایش از بالا

(Taylor., 1968 ; Lux., 1989). با توجه به این معیار و اینکه عرض سیکل‌ها عددی ثابت است (50cm)، سه ارتفاع 15، 17 و 20 سانتی‌متر برای مدل‌ها انتخاب شد. همچنین برای تعیین طول‌های مدل نیز از معیار تالیس و امانیان استفاده شده است (Tullis and Amanian., 1995). با توجه به این معیار، نسبت بزرگ‌نمایی که حاصل تقسیم طول تاج سرریز در یک سیکل به عرض آن است باید کم‌تر از 9/5 باشد ($l/w \leq 9.5$) که در این پژوهش این معیار نیز لحاظ شده است.

با توجه به ابعاد و اندازه مناسب کانال، تمام مدل‌های سرریز کنگره‌ای در دو سیکل اجرا شدند. شکل 6 یکی از مدل‌های مورد استفاده و جدول 1 مشخصات کامل آن‌ها را نشان داده است. تمامی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش از جنس PVC فشرده با ضخامت 16 میلی‌متر و تاج نیم‌دایره بود. با توجه به معیارهای ارائه شده توسط تیلور و لاکس، برای کاهش اثر تداخل تیغه‌های جریان، نسبت عرض سیکل به ارتفاع سرریز (w/p) در سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای بایستی بزرگ‌تر یا مساوی 2 باشد ($w/P \geq 2$)

جدول 1- مشخصات مدل‌های مورد استفاده

شماره مدل	شکل پلان	ارتفاع سرریز (cm)	طول کل سرریز (m)
1	دو زنگه‌ای	15	3/56
2	دو زنگه‌ای	15	3/72
3	دو زنگه‌ای	15	3/84
4	دو زنگه‌ای	15	4/08
5	دو زنگه‌ای	17	3/56
6	دو زنگه‌ای	17	3/72
7	دو زنگه‌ای	17	3/84
8	دو زنگه‌ای	17	4/08
9	دو زنگه‌ای	20	3/56
10	دو زنگه‌ای	20	3/72
11	دو زنگه‌ای	20	3/84
12	دو زنگه‌ای	20	4/08
13	خطی	15	1
14	خطی	17	1
15	خطی	20	1



شکل 6- یکی از مدل‌های مورد استفاده در پژوهش

آزاد و پرتابی از روی یک سرریز معادل خطی و نرمال، توزیع هیدرواستاتیکی فشار در محدوده بالادست سرریز و صرف‌نظر از فشردگی تیغه جریان و افت انرژی به صورت رابطه 1 به دست آمده است (Yasi and Mohammadi., 2007).

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

با توجه به رابطه 1، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای را می‌توان به صورت رابطه 2 محاسبه نمود.

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

برای اینکه جریانی کاملاً توسعه یافته و نسبتاً آرام به سمت سرریز جریان داشته باشد، مدل‌ها تقریباً در 6 متری از ابتدای کانال نصب شدند. همان طوری که از جدول 1 مشخص است، چهار طول 3/56، 3/72، 3/84 و 4/08 متر برای بررسی اثر طول و سه ارتفاع 15، 17 و 20 سانتی‌متر برای بررسی اثر ارتفاع در نظر گرفته شد. همچنین برای مقایسه سرریز کنگره‌ای با سرریز معمولی (خطی) از یک سرریز خطی هم‌عرض کانال با سه ارتفاع 15، 17 و 20 سانتی-متر استفاده شد.

محاسبه ضریب دبی جریان

رابطه یک‌بعدی جریان روی سرریزهای کنگره‌ای به روش تحلیل ریاضی (با حل معادلات پیوستگی و انرژی) با فرضیات: شرایط جریان

استخراج رابطه ضریب دبی برای داده‌های پژوهش حاضر

داده‌های آزمایشگاهی پژوهش حاضر برای به‌دست آوردن رابطه-ای برای ضریب دبی برای تمام آزمایش‌ها روی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای در شرایط جریان آزاد به شکل رابطه 6 مورد بررسی قرار گرفتند (Crookston., 2010).

$$C_d = A * \left(\frac{H_t}{P}\right)^{B * \left(\frac{H_t}{P}\right)^C} + D \quad (6)$$

که A, B, C و D ضرایبی هستند که از طریق داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده‌اند. مقادیر این ضرایب و همچنین همبستگی بین H_t / P و C_d و متوسط خطای آن که براساس رابطه 7 به‌دست آمده است در جدول 3 (بخش نتایج) ارائه شده است.

$$e = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Q_{computed} - Q_{observed}}{Q_{observed}} \right] \quad (7)$$

نتایج و بحث

تأثیر ارتفاع سرریز

برای بررسی تأثیر ارتفاع سرریز بر ضریب دبی جریان از مدل با شماره‌های 1، 5 و 9 استفاده شد (مدل‌های اشاره شده در جدول شماره 1). شکل 7 تغییرات ضریب دبی سرریز در برابر H_t / P را برای ارتفاع‌های مختلف سرریز نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که در یک ارتفاع ثابت، با افزایش نسبت H_t / P ، ضریب دبی روندی نزولی داشته است. علت این تغییرات افزایش تداخل تیغه‌های ریزشی جریان از روی سرریز در پایین‌دست و ایجاد استغراق موضعی در اثر افزایش بار هیدرولیکی بالادست بوده است. همچنین در یک H_t / P ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی کاهش پیدا کرد. دلیل این موضوع را این‌گونه نیز می‌توان بیان داشت که در آزمایش‌های انجام شده، با افزایش ارتفاع سرریز، عمق جریان بالادست افزایش پیدا کرده است و با افزایش هد بالادست، تداخل تیغه‌های ریزشی در پایین‌دست سرریز بیش‌تر شده و باعث تشکیل استغراق موضعی در این ناحیه شده است و همان‌طوری که در بالا نیز به آن اشاره شد، ایجاد این استغراق موضعی باعث کاهش ضریب دبی شده است. برای نمونه در جدول 2 عمق آب بالادست سرریز در یک نسبت H_t / P و طول ثابت، نشان داده شده است. همان‌طوری که مشخص است با افزایش ارتفاع سرریز، عمق آب روی آن نیز زیاد شده است.

تأثیر طول کل سرریز

شکل‌های 8 تا 10 تأثیر طول سرریز در ارتفاع‌های مختلف را نشان می‌دهند. همان‌طوری که در شکل‌ها قابل مشاهده است، در

در روابط بالا C_d ضریب دبی سرریز، $Q (m^3 / s)$ دبی جریان، $H_t (m)$ ارتفاع کل آب (مجموع بار استاتیکی روی سرریز و ارتفاع معادل سرعت)، $L (m)$ طول سرریز و $g (m/s^2)$ شتاب ثقل است.

آنالیز ابعادی

آنچه که در مطالعات آزمایشگاهی بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها را بتوان به شرایط واقعی و طبیعی تعمیم داد و بدون در نظر گرفتن ابعاد، از نتایج آن در شرایط واقعی و مشابه استفاده نمود. آنالیز ابعادی در واقع رابطه بین مدل آزمایشگاهی و نمونه واقعی موجود در طبیعت است که هدف از انجام آن، تعیین اعداد بدون بعدی بوده که ممکن است بر پدیده موردنظر تأثیرگذار باشند. در این پژوهش برای تعیین اعداد بدون بعد از روش پی‌باکینگهام استفاده شده است. پارامترهایی که بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای اثرگذار هستند را می‌توان به‌صورت رابطه 3 نشان داد.

$$f(P, L, W, H_t, h, V, g, \sigma, \mu, \rho, C_d) = 0 \quad (3)$$

در رابطه بالا P ارتفاع سرریز، L طول سرریز، W عرض کانال، $H_t = (h + V^2 / 2g)$ بار هیدرولیکی کل روی سرریز، h هد آب در بالادست سرریز، V سرعت جریان، g شتاب ثقل، σ کشش سطحی، μ لزجت دینامیکی سیال، ρ جرم مخصوص سیال و C_d ضریب دبی جریان است. با استفاده از روش ذکر شده در بالا، رابطه 3 به‌صورت رابطه 4 کلی نوشته شده است.

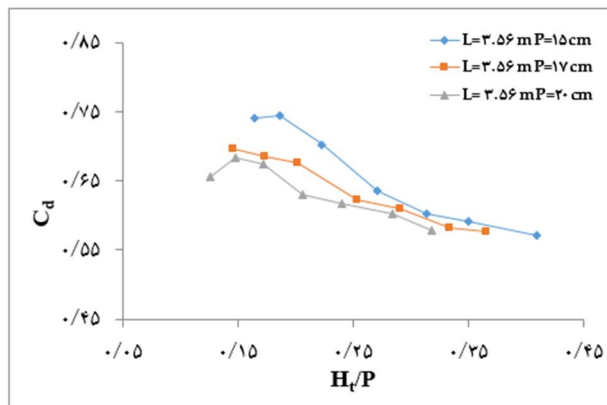
$$f\left(\frac{L}{P}, \frac{W}{P}, \frac{H_t}{P}, \frac{h}{P}, \frac{gP}{V^2}, \frac{\sigma}{\rho V^2 P}, \frac{\mu}{\rho V P}, C_d\right) = 0 \quad (4)$$

در روابط بالا با معکوس کردن سه پارامتر $\frac{gP}{V^2}$ ، $\frac{\sigma}{\rho V^2 P}$ ، $\frac{\mu}{\rho V P}$ و ضرب کردن این پارامترهای بدون بعد در پارامتر بدون بعد $\frac{h}{P}$ و یا $\frac{P}{h}$ ، اعداد بدون بعد رینولدز، وبر و فرود (محدوده عدد فرود در این پژوهش 0/359 - 0/083 است) به‌دست آمده است که به دلیل آشفتگی جریان می‌توان از عدد رینولدز و به‌دلیل عمق جریان بیش‌تر از 2/5 سانتی‌متر روی سرریز از عدد وبر صرف‌نظر کرد (Sangsefidi et al., 2015; Henderson., 1996; ASCE., 2000). در نهایت رابطه 4 به‌صورت رابطه 5 نوشته شد.

$$C_d = f\left(\frac{L}{P}, \frac{W}{P}, \frac{H_t}{P}, Fr\right) \quad (5)$$

با افزایش طول سرریز، زاویه دیواره آن نسبت به جریان کاهش یافته و این خود باعث کاهش زاویه خطوط جریان نسبت به سرریز شده است و سطح تماس آب با لبه سرریز را افزایش داده است. همچنین با افزایش طول سرریز، طول تداخل تیغه‌های ریزشی یا به عبارت دیگر طول استغراق موضعی بیش‌تر شده که باعث ایجاد مانعی بر سر راه عبور جریان شده و ضریب دبی را کاهش داده است. همچنین با توجه به شکل می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع سرریز، منحنی‌های ضریب دبی به هم نزدیک‌تر شده و طول سرریز روی منحنی‌ها زیاد اثرگذار نیست.

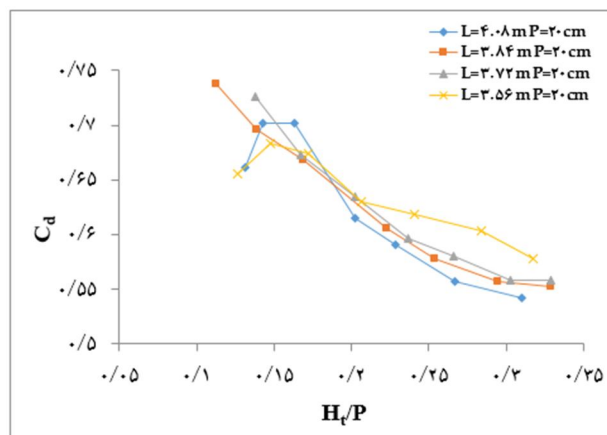
یک ارتفاع و H_t / P ثابت، با افزایش طول سرریز، ضریب دبی جریان کاهش پیدا کرده است. از آنجایی که ارتفاع سرریز ثابت است، بنابراین برای اینکه نسبت H_t / P ثابت بماند، بایستی بار هیدرولیکی کل در بالادست سرریز نیز ثابت باقی بماند و با توجه به رابطه کلی سرریزهای کنگره‌ای (رابطه یک)، پارامترهای اثرگذار بر ضریب دبی، طول سرریز و دبی جریان خواهند بود. از آنجایی که نرخ افزایش طول نسبت به نرخ افزایش دبی بیش‌تر است، و با توجه به اینکه در رابطه سرریزها برای محاسبه ضریب دبی، پارامتر طول در مخرج قرار گرفته است، به همین دلیل ضریب دبی با افزایش طول، کاهش یافته است. این موضوع را این‌گونه نیز می‌توان توجیه نمود که



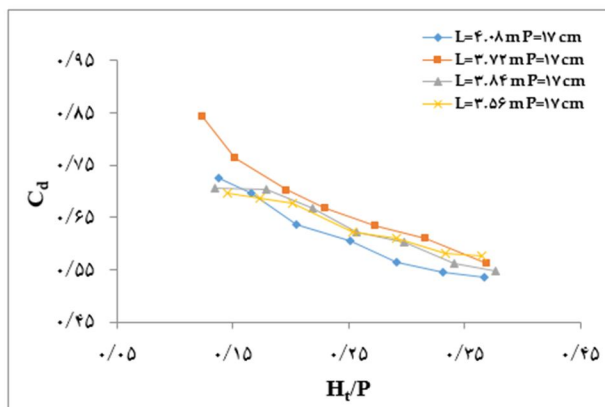
شکل 7- تغییرات ضریب دبی در برابر H_t / P برای ارتفاع‌های مختلف ($L=3/56$ m)

جدول 2- نمونه‌ای از عمق جریان روی سرریز با ارتفاع‌های مختلف

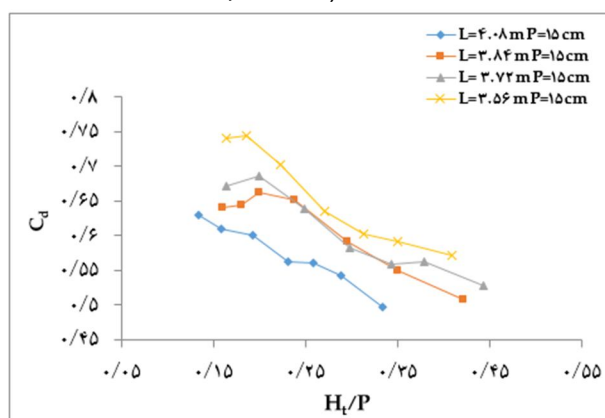
h_d (mm)	P (cm)	L (m)	H_t / P
27/6	15	3/56	0/2
31/5	17	3/56	0/2
37/4	20	3/56	0/2



شکل 8- تغییرات ضریب دبی در برابر H_t / P برای طول‌های مختلف ($P=20$ cm)



شکل 9- تغییرات ضریب دبی در برابر H_t / P برای طول‌های مختلف ($P=17$ cm)



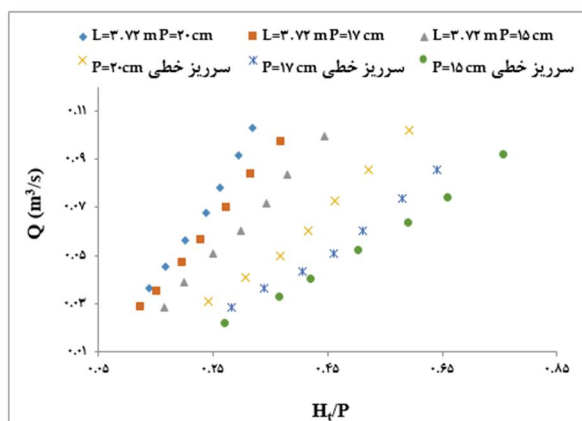
شکل 10- تغییرات ضریب دبی در برابر H_t / P برای طول‌های مختلف ($P=15$ cm)

کنگره‌ای، عمق آب کم‌تری نسبت به سرریز خطی در بالادست سازه ایجاد کرده است که این موضوع نشان‌دهنده کارایی بهتر سرریزهای کنگره‌ای نسبت به سرریزهای خطی در کنترل نوسانات سطح آب در بالادست است. به‌طور میانگین در یک عدد فرود ثابت، عمق آب بالادست سرریز خطی به‌طور متوسط $2/8$ برابر سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای است.

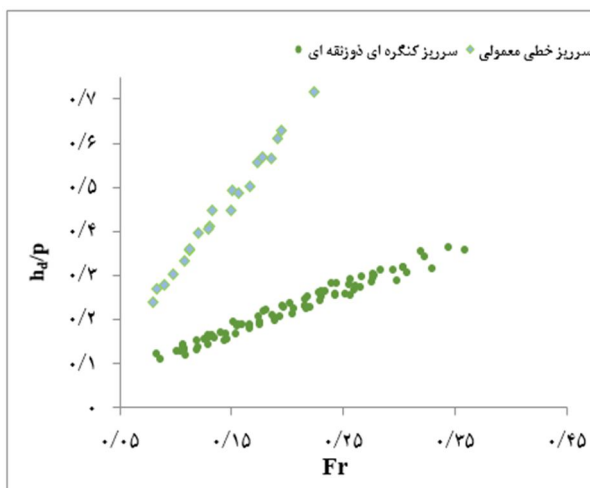
شکل 13 مقایسه دبی سرریز خطی و کنگره‌ای دوزنقه‌ای برای طول‌های متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که در یک ارتفاع ثابت و با افزایش طول سرریز، دبی عبوری آن افزایش یافته است. همچنین در یک H_t / P ثابت، دبی سرریز کنگره‌ای نسبت به سرریز خطی افزایش زیادی داشته است. با توجه به مطالب ارائه شده در بالا می‌توان به کارایی هرچه بهتر سرریز کنگره‌ای نسبت به سرریز خطی پی‌برد زیرا با افزایش طول، در سرریز کنگره‌ای نسبت به سرریز خطی، در یک هد ثابت در بالادست دبی بیش‌تری را از خود عبور داده و در یک دبی یکسان نیز هد آب کم‌تری در بالادست نسبت به سرریز خطی ایجاد کرده است.

مقایسه سرریز کنگره‌ای و خطی

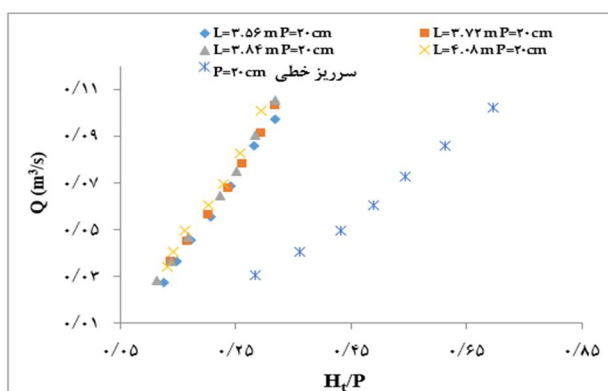
در یک ارتفاع آب بالادست یکسان، سرریزهای کنگره‌ای نسبت به سرریزهای خطی معمولی (نرمال یا هم‌عرض با کانال) دبی بیش‌تری را به‌دلیل طول بیش‌تر، از خود عبور داده‌اند. همان‌طوری که در شکل 11 نشان داده شده است، در یک نسبت ثابت ارتفاع آب بالادست سرریز به ارتفاع سرریز (H_t / P)، دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای نسبت به سرریز خطی بیش‌تر است. همچنین از شکل می‌توان نتیجه گرفت که در یک H_t / P و طول ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای، دبی آن نیز افزایش یافته است. با توجه به اینکه روند شکل 11 برای طول‌های دیگر نیز مشابه بوده است به همین دلیل از ارایه آن‌ها خودداری شده است. سرریزهای کنگره‌ای در یک دبی یکسان، نسبت به سرریزهای خطی، ارتفاع آب کم‌تری را در بالادست سازه ایجاد کرده‌اند که این موضوع باعث شده تا سرریزهای کنگره‌ای در کاهش نوسانات سطح آب بالادست و تنظیم هرچه بهتر آن، نسبت به سرریزهای خطی بهتر عمل کنند. همان‌طور که در شکل 12 نشان داده شده است، در یک عدد فرود یکسان، سرریز



شکل 11- مقایسه دبی در سرریز خطی و کنگره‌ای برای ارتفاع‌های مختلف



شکل 12- مقایسه ارتفاع آب بالادست در سرریز خطی و کنگره‌ای



شکل 13- مقایسه دبی سرریز خطی و کنگره‌ای برای طول‌های متفاوت (P=20 cm)

مواد و روش‌ها به آن اشاره شد، از 75 درصد داده‌ها استفاده شده و از 25 درصد باقی‌مانده آن‌ها برای ارزیابی رابطه استفاده شد که نتایج آن

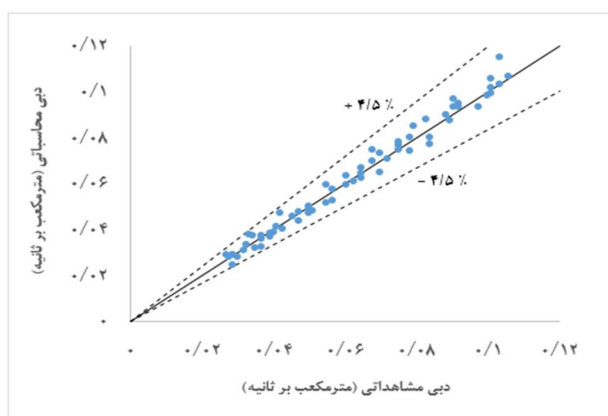
استخراج رابطه ضریب دبی (رابطه 6) که در بخش برای به‌دست آوردن رابطه ضریب دبی

بعد از محاسبه ضرایب دبی، مقادیر دبی محاسباتی نیز به دست آمد و با مقادیر متناظر دبی مشاهداتی در آزمایشگاه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌های 14 و 15 نشان می‌دهند که متوسط خطای به دست آمده بین دبی محاسباتی و مشاهداتی و همچنین ضرایب دبی مشاهداتی و محاسباتی $\pm 4.5\%$ بوده که حاکی از دقت مناسب رابطه ضریب دبی حاصل از داده‌های آزمایشگاهی است.

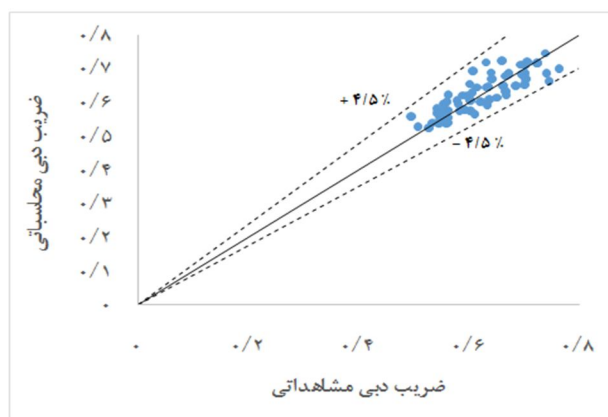
در جدول 3 ارایه شده است. لازم به ذکر است که تعداد کل داده‌ها در این پژوهش 84 بوده است.

جدول 3- مقادیر ضرایب ثابت، ضریب همبستگی و درصد خطا (رابطه 7)

A	B	C	D	R^2	e (درصد خطا)
1/18	1/58	1/43	-0/27	0/96	4/48



شکل 14- مقایسه دبی مشاهداتی در برابر دبی محاسباتی

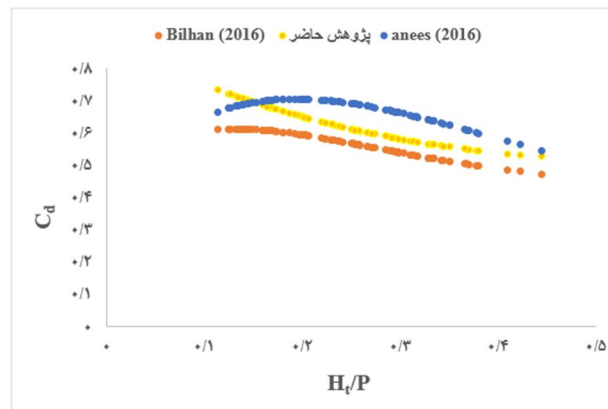


شکل 15- مقایسه ضریب دبی مشاهداتی در برابر ضریب دبی محاسباتی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با طول و ارتفاع‌های متفاوت در یک کانال به طول 15 و عرض 1 متر به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج حاصل شده از این پژوهش به طور مختصر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
در هر طول و ارتفاعی، با افزایش نسبت بار هیدرولیکی کل در بالادست به ارتفاع سرریز (H_f / P)، ضریب دبی کاهش یافت.

در شکل 16 نیز می‌توان مقایسه بین نمودار ضریب دبی در پژوهش حاضر و دو پژوهش دیگر که توسط (Bilhan et al., 2016; Aneis et al., 2016) انجام شده است را مشاهده نمود. همان طوری که از شکل نیز مشخص است، مطابقت به نسبت خوبی بین نتایج پژوهش حاضر و پژوهش‌های دیگر وجود دارد.



شکل 16- مقایسه نتایج پژوهشگران قبلی با پژوهش حاضر

آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مستطیلی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 29: 6. 1446-1438.

سنگ سفیدی، ی.، مهرآیین، م. و قدسیان، م. 1394. بررسی آزمایشگاهی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای قوسی. مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس. 15: 2. 64-51.

یاسی، م. و محمدی، م. 1386. بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 11: 41. الف: 1-12.

Anees, K.I., Riyadh, A.I.A., Liyod, H.C., Chua, A., Subrat, D. 2016. Determination of discharge coefficient for flow over one cycle compound trapezoidal plan form labyrinth weir. International Journal of Civil Engineering and Technology. 7.4: 314-328.

ASCE. 2000. Hydraulic modeling: Concepts and practice. Manual 97, American Society of Civil Engineering, Reston, Va, United States.

Bilhan, O., Emin Emiroglu, M and Miller, C.J. 2016. Experimental investigation of discharge capacity of labyrinth weirs with and without nappe breakers. World Journal of Mechanics. 6: 207-221.

Crookston B.M. 2010. Labyrinth weirs. Utah State University, PhD thesis: 197.

Crookston, B.M and Tullis, B.P. 2013. Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. II: Nappe Aeration, Instability, and Vibration. Journal of irrigation and drainage engineering. 371-377.

Gupta, K.K., Kumar, S and Ahmad, Z. 2014. Flow characteristics of sharp-crested W-planform weirs. International Journal of Advanced Technology and Engineering Research: 176-180.

Gustavo, A., Delgado, F., Mann, A.P and Fernando, J., Camino, S. 2015. Discharge coefficients spillways

برای یک طول مشخص از سرریز و در یک H_r/P ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی روندی کاهشی داشت.

در یک ارتفاع و H_r/P ثابت، با افزایش طول سرریز (کاهش زاویه دیواره سرریز با جهت جریان)، ضریب دبی روندی کاهشی داشت.

در یک عدد فرود ثابت، عمق آب بالادست سرریز خطی تقریباً 2/8 برابر سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای است.

در یک عمق آب بالادست ثابت، دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای (برای نمونه: در طول و ارتفاع 3/72 و 0/15 متر) به‌طور متوسط، 2/94 برابر بیش‌تر از سرریز خطی معمولی است.

منابع

آزدری مقدم، م. و جعفری ندوشن، ا. 1392. طراحی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی. مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس. 13: 2. 12-1.

اسکوئی، م.، عمادی، ع.ر. و شاهنظری، ع. 1395. بررسی تأثیر شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 23: 4. 169-155.

آتشی، و.، شفاعی بجستان، م. و احدیان، ج. 1391. ارزیابی الگوی جریان و تنش برشی در قوس 90 درجه تند با حضور سرریز W. مجله مهندسی منابع آب. 5: 34-17.

حیدرپور، م.، موسوی، س.ف. و روشنی زرمهری، ع.ر. 1385. بررسی سرریزهای چندوجهی با پلان مستطیلی و U شکل. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 10: (3 - الف): 1-11.

رضایی، م.، عمادی، ع.ر. و آقاجانی مازندرانی، ق. 1394. مطالعه

- Experimental study of discharge coefficient for trapezoidal piano key weirs. *Journal of Flow measurement and instruction*.50: 65-72.
- Taylor,G. 1968. the Performance of Labyrinth Weirs. University of Nottingham, UK, PhD Thesis.
- Tullis,B.P., Amanian,N and Waldron,D. 1995. Design of Labyrinth Weir Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*.121: 247-255.
- Tullis,B.P., Young,J.C and Chandler,M.A. 2007. Head-Discharge relationships for submerged labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*. 133.3: 248-254.
- labyrinth implementing hydrodynamic devices in the upstream side. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, The Hague, The Netherland: 1-7.
- Hay,N and Taylor,G. 1970. Performance and Design of Labyrinth Weir. *Journal of Hydraulic Engineering*. 96.11: 2337-2357.
- Henderson,F.M. 1996. Open channel flow. Macmillan Publishing Company. New York.
- Lux,F. 1989. Design and Application of Labyrinth Weirs.Design of Hydraulic Structures 89. Balkema. Rotterdam.
- Mehboudi,A., Attari,J and Hosseini,S.A. 2016.

Experimentally Investigation of Discharge Coefficient at Trapezoidal Labyrinth Weirs

S. J. Meshkavati Toroujeni¹, A. R. Emadi^{2*}, A. A. Dehghani³, M. Msoudian⁴

Received: Apr.29, 2017

Accepted: Jun.17, 2017

Abstract

Weirs are the structures that commonly used for the regulating of water surface and control of fluid in channels and hydraulic structures. Labyrinth weirs are the types of indirect weirs that with increasing in the effective length, transmit a certain amount of flow with less upstream water surface elevation than the linear weirs. The fundamental criteria in design of labyrinth weirs is the increasing of flow conveyance capacity over the weir with constant crest and water surface elevation at the upstream of the weir. In this research, discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weir experimentally investigated with different length and heights in flume with 15 m length and 1 m width. Results shown that, for a certain length of weir and at the constant H_t / P , with increasing of weir height, discharge coefficient decreased. In the constant height and H_t / P , with increasing of weir length (decrease of weir sidewall angle with the flow direction), discharge coefficient decreased. Also results show that at the constant Froud Number, the upstream water depth of linear weir is about 2.8 times more than the labyrinth weir. Furthermore, at the constant upstream water depth, conveyance discharge of trapezoidal labyrinth weir is about 2.94 times more than the linear weir. Also with use of the experimental data are provided a relationship for the trapezoidal labyrinth weir discharge coefficient.

Key words:Hydraulic structures, labyrinth weirs, Discharge coefficient, Flow discharge, Length and Height of weir

1 - PhD Student of Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

2- Associate Professor of Water Engineering College, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

3 - Associate Professor of Water Engineering College, Gorgan Agriculture Sciences and Natural Resources university

4 - Associate Professor of Water Engineering College, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources university

(*-Corresponding Author Email:Emadia355@yahoo.com)