

تلفات انرژی ناشی از دفلکتور در سرریز جامی شکل ساده و سرریز جامی شکل همراه با کانال نزدیک شونده

محدثه صادقی عسکری^{1*} و مهدی قمشی²

تاریخ دریافت: 91/08/15 تاریخ پذیرش: 91/12/12

¹ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

² استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohad3_88@yahoo.com

چکیده

پرتابه‌های جامی شکل معمولاً برای انتقال جریان به دور از سازه و اتلاف انرژی جریان در مواقعی که سرعت جریان بیشتر از 20 متر بر ثانیه باشد، استفاده می‌شوند. یکی از راه‌های افزایش راندمان استهلاک انرژی در پرتابه جامی شکل استفاده از دفلکتور می‌باشد. دفلکتور سازه‌ای گوه‌ای شکل است که موجب تغییر مسیر قسمتی از جریان در جام می‌شود. آزمایشات روی 2 مدل پرتابه جامی شکل در انتهای سرریز اوجی با چهار دبی 10، 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه برای مدل اول و سه دبی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه برای مدل دوم بوسیله دفلکتورهایی با طول 3، 6 و 9 سانتی‌متر و زاویه‌های 12°، 22°، 32° و 42° انجام شدند. تحلیل داده‌ها نشان داد که استفاده از دفلکتور با زاویه‌های مختلف باعث تغییر میزان استهلاک انرژی شده است. با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی افزایش می‌یابد. بیشترین اختلاف اتلاف انرژی نسبت به حالت بدون دفلکتور مربوط به پرتابه جامی با دفلکتور 6 سانتی‌متری و زاویه 22° درجه به مقدار 34/6% است که در عدد فرود 3/4 اتفاق افتاده است. مدل دوم تلفات انرژی بیشتری را نسبت به مدل اول داشته است.

واژه‌های کلیدی: تلفات انرژی، دفلکتور، سرریز جامی شکل، مدل فیزیکی

Energy Dissipation due to Deflector in Simple Flip Bucket Spillway and Flip Bucket Spillway with Approach Channel

M Sadeghi Askari^{1*} and M Ghomeshi²

Received: 5 November 2012 Accepted: 2 March 2013

¹ Former M.Sc Student, Dept. of Hydraulic Structures., Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran Univ. of Ahwaz, Iran

² Prof., Dept. of Hydraulic Structures., Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran Univ. of Ahwaz, Iran

* Corresponding Author Email: mohad3_88@yahoo.com

Abstract

Flip buckets are commonly used to discharge flow away from a hydraulic structure when energy has to be dissipated for a flow velocity larger than about 20 m/s. One way to increase energy dissipation in flip bucket spillways is a deflector application. Deflector is a wedge-shaped structure which creates changes in part of flow trajectory of bucket. Experiments on two models of flip bucket at the end of ogee spillway were conducted using three lengths 3, 6 and 9 cm of deflector and four discharges of 10, 15, 20 and 25 l/s for the first model and three discharges of 15, 20 and 25 l/s for the second model. The deflectors were set with four angles of 12°, 22°, 32° and 42°. Data analysis showed that the deflectors with different angles caused changes in energy dissipation. The more the Froude number, the more was the amount of energy dissipation. The greatest energy dissipation belonged to the bucket with 6cm deflector length at setting angle of 22° which at the froud No.3.4 Was 34.6% higher than the energy dissipation in without deflector bucket. The second model had more energy dissipation than the first model.

Keywords: Deflector, Energy dissipation, Flip bucket spillway, Physical model

می‌گیرد. جام غلتابی² که در آن با ایجاد جریان چرخشی و غلتاندن آب، انرژی اضافی از بین می‌رود. جام پرتابی³ که در این سازه به منظور استهلاک انرژی، جریان آب با انجام یک پرش اسکی⁴ به صورت جت، به پایین دست سد پرتاب می‌گردد تا اثرات فرسایشی جریان بر روی سد و سازه‌های مهم اطراف سد کاسته شود (نوروز پور 1389).

مقدمه

جریان در پایین‌دست سرریزها دارای سرعت بسیار زیادی می‌باشد، جهت ممانعت از اثرات تخریبی این جریان از سازه‌های مستهلک کننده انرژی استفاده می‌شود (توزنده جانی 1390). سه سازه از متداول‌ترین سازه‌های استهلاک انرژی جریان عبارتند از: حوضچه‌های آرامش¹ که در این سازه‌ها استهلاک انرژی جریان با استفاده از پرش هیدرولیکی صورت

² Roller bucket

³ Flip bucket

⁴ Ski jump

¹ Stilling basins

جون و هاگر (2000) پرتاب کننده‌های جامی را هم به صورت یک کانال منشوری مستطیل شکل و هم به صورت جام دارای یک منحرف کننده جریان جانبی، مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق اثرات مقیاس در مدل‌های هیدرولیکی، توزیع فشار در باکت، مسیر پرتابه جریان، شرایط ایجاد امواج شوکی و روابط آب-بندشدگی در جام‌ها بررسی گردید. در سال 2005 میلادی نیز یک پروژه تحقیقاتی جهت پاسخ گویی به ابهامات موجود توسط هلر و همکاران (2005) انجام شد که آن را می‌توان ادامه کار جون و هاگر (2000) دانست. هلر و همکاران (2005) به مطالعه آزمایشگاهی پرتابه-های جامی پرداختند و حداکثر فشار و محل وقوع آن را در پرتابه جامی بررسی کردند. تیتو و یوی (2008) با استفاده از روش اجزای محدود جزئی توزیع فشار و هندسه جت پرتابی را در پرتاب کننده جامی بررسی نمودند که نتایج قابل قبولی به دست آمد. استین و همکاران (2008) توزیع فشار در مستهلک کننده‌های پرش اسکی با جام مثلثی را توسط مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند.

مومنی و صالحیان و همکاران (1385) آبشستگی ناشی از جت‌های مستطیلی در پایین‌دست پرتابه‌های جامی شکل را بررسی کردند و شدت جریان را به عنوان موثرترین پارامتر در پدیده آبشستگی معرفی کردند و ذکر کردند که عمق پایاب تاثیر معکوس در عمق آبشستگی دارد. رنجبر و همکاران (1385) تغییرات زمانی حفره آبشستگی پایین‌دست جت‌های ریزشی آزاد را بررسی کردند و نشان دادند با گذشت زمان ابعاد حفره آبشستگی افزایش یافته، حال آنکه نرخ افزایش ابعاد حفره کاهش می‌یابد. لشکر آرا و همکاران (1387) با استفاده از شبکه‌های عصبی به پیش بینی میزان آبشستگی پایین‌دست جام‌های پرتابی پرداختند. بهرامی و بارانی (1388) روند تغییرات غلظت هوا را در جریان‌های عبوری از روی شوت به صورت مدل عددی بررسی کردند. صفوی و همکاران (1389) به مطالعه

شایان ذکر است که از سازه جام پرتابی در محل‌هایی که سرعت جریان بیش از 15 تا 20 متر بر ثانیه بوده و امکان ایجاد پدیده کاویتاسیون¹ فرسایش و همچنین نیروی زیرفشار² وجود داشته باشد استفاده می‌نمایند (هلر و همکاران 2005).

امروزه از جام پرتابی، به دلیل داشتن اطمینان قابل قبول در زمینه استهلاک انرژی، به طور وسیعی در سراسر جهان استفاده می‌گردد. در حوضچه‌های پرتابی که جام پرتابی یکی از اجزای آن است، هنگامی که جریان از تندآب وارد جام می‌شود، مقداری از انرژی آن در جام مستهلک می‌گردد (چانسون 2004). اما به خاطر طول نسبتاً کوتاه جام، اصطکاک بین بستر کانال با سطح زیرین جریان و مقاومت هوا با سطح آزاد جریان، نقش زیادی در استهلاک انرژی ندارد. بلکه تغییر جهت جریان در جام به سمت بالا و مقاومت ثقلی زمین که شتاب رو به پایین وارد می‌کند، باعث کاهش شتاب حرکت و سرعت جریان در جام می‌شود. چون از یک سو نحوه استهلاک انرژی در جام کاملاً شناخته شده نیست و از طرفی سهم خود جام در کل انرژی مستهلک شده در سیستم پرش اسکی کم است. بخش عظیمی از انرژی جریان با پخش و پراکنده شدن جت خروجی جریان از سازه به صورت پرش اسکی مستهلک می‌شود. با برخورد جت پودر شده با حوضچه استغراق در پایاب و به وجود آمدن جریان آشفته و متلاطم در حوضچه فرایند استهلاک انرژی در سیستم پرش اسکی تکمیل می‌شود (بارانی و عباسی پروین 1388).

پرش اسکی برای اولین بار قبل از سال 1930 در فرانسه استفاده شد و از آن روز تاکنون انواع گوناگونی از جام پرتابی با اندازه‌ها و زاویه‌های مختلف در سراسر جهان در حال اجرا و بهره‌برداری است (بی‌نام 1965).

¹ Cavitation

² Uplift

که در آن $\Delta E/E_0$ افت نسبی انرژی، r جرم حجمی آب، m ویسکوزیته دینامیکی آب، g شتاب ثقل، V سرعت جریان نزدیک شونده به باکت، y عمق جریان نزدیک شونده به باکت R شعاع باکت، L طول دفلیکتور، q زاویه‌ی دفلیکتور و S کشش سطحی می‌باشد. با آنالیز ابعادی و با استفاده از روش Π باکینگهام رابطه کلی زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\Delta E}{E} = f(Fr, Re, q, \frac{L}{R}, We) \quad [2]$$

در این رابطه $Re = rVR/m$ عدد رینولدز نزدیک شونده به دفلیکتور می‌باشد. با توجه به اینکه در تمام آزمایشات $Re > 2000$ و $Re^* > 200$ بود لذا جریان آشفته و بستر در ناحیه بستر زبر قرار می‌گیرد پس می‌توان از عدد رینولدز صرف نظر کرد. قابل ذکر است که با توجه به اینکه در این آزمایشات حداقل ارتفاع آب روی سرریز $5/3$ سانتی‌متر می‌باشد، می‌توان از اثرات عدد وبر $W = rV^2L/S$ نیز صرف‌نظر کرد. وقتی ارتفاع آب روی سرریز بیشتر از 5 سانتی‌متر باشد اثر نیروی کشش سطحی کم می‌شود و نیروی اینرسی غالب خواهد بود و این باعث کم شدن عدد وبر می‌شود. در نتیجه رابطه‌ی نهایی به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = f(Fr, \frac{L}{R}, q) \quad [3]$$

جهت رسیدن به اهداف این مطالعه آزمایش‌ها در فلومی با طول 15 متر عرض 30 سانتی‌متر و ارتفاع 50 سانتی‌متر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شدند. سیستم گردش آب فلوم به صورت مدار بسته بود و آب مورد نیاز از طریق مخازن مرتبط بهم تعبیه شده در کنار فلوم، تأمین می‌گردد. جریان ورودی از طریق پمپ موجود در بالادست فلوم تأمین گشته و میزان دبی جریان بوسیله یک دبی-سنج مغناطیسی با صفحه نمایش دیجیتال با دقت 0/01 لیتر بر ثانیه قبل از ورود جریان به مخزن آرام کننده اندازه‌گیری می‌شد. این فلوم دارای یک شیر فلکه برای

آزمایشگاهی جام‌های پرتابی در پایانه سرریزهای آزاد و دریچه‌دار پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نحوه بهره‌برداری از سرریز، به ازاء دبی‌های کوچک، تاثیر زیادی در طراحی جام‌ها دارد و ممکن است پرش هیدرولیکی تشکیل شده بر روی جام، در دبی‌های اولیه سیلاب، ایمنی جام را به خطر اندازد. ریاضی و همکاران (1390) اثر بازشدگی دریچه بر روی حفره آب شستگی ناشی از جریان ریزشی جام پرتابی را در دو حالت نرمال و دندانه دار بررسی کردند و نهایتاً مشخص شد که ابعاد آبشستگی به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. اکبری (1390) جریان بر روی پرتاب کننده جامی را به روش حجم محدود مدل سازی کردند و خصوصیات جریان شامل فشار و سرعت را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند. برای مدل‌سازی عددی از نرم افزار Flow3D و مدل آشفتگی RNG استفاده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش‌های عددی با دقت مناسبی می‌توانند جریان را بر روی پرتاب کننده جامی شبیه‌سازی نمایند. از آنجا که استهلاك انرژی جریان خصوصاً در پای سرریزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است بنابراین در تحقیق حاضر یکی از راههای استهلاك این انرژی مخرب به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. هدف از این تحقیق بررسی استهلاك انرژی ناشی از استفاده دفلیکتور در سرریز جامی شکل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاك انرژی موثر می‌باشند اقدام نموده و با تحلیل ابعادی رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای موثر در این آزمایش‌ها در رابطه 1 ارائه شده‌اند:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f(r, m, g, V, y, R, L, q, S) \quad [1]$$

اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از سطح سنج نقطه‌ای با دقت 0/5 میلی‌متر استفاده شد. در شکل 1 نمایی از فلوم و سرریز دیده می‌شود.

تنظیم دبی جریان و یک دریچه در پایین دست جهت تنظیم تراز پایاب بود. برای اندازه‌گیری سرعت جریان در مقاطع مختلف از دستگاه لیزر داپلر (LDV) و برای



شکل 1- سرریز و تجهیزات اندازه‌گیری.

و پرتابه با طول 13 سانتی‌متر و شیب 1:3 (1 در جهت قائم 3 در جهت افقی) بود، که تنها تفاوت فیزیکی این دو مدل همین کانال نزدیک شونده می‌باشد. در شکل 2 نمایی از هر دو مدل و موقعیت نصب دفلیکتورها مشاهده می‌شود.

سرریز هر دو مدل طبق استاندارد USBR با ارتفاع 23 سانتی‌متر و طول 20 سانتی‌متر و از جنس فایبر گلاس ساخته شد. پرتابه جامی شکل هر دو مدل با شعاع 8 سانتی‌متر و ارتفاع 4/5 سانتی‌متر ساخته شد که مدل دوم شامل یک کانال نزدیک شونده بین سرریز



شکل 2- نمایی از سرریز و موقعیت نصب دفلیکتور در دو مدل.

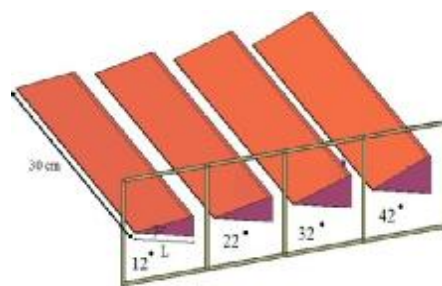
لازم به ذکر است اندازه دفلیکتورها و موقعیت نصب آن‌ها با مدل عددی با استفاده از نرم افزار *FLOW-3D* تعیین شد. دفلیکتورهایی که بیشترین تلفات انرژی را در نرم افزار داشتند برای این آزمایش‌ها انتخاب شدند.

دفلیکتورها گوه‌ای شکل با ارتفاع 30 سانتی‌متر با مقطع مثلث متساوی‌الساقین با ضلع‌های به طول 3، 6 و 9 سانتی‌متر (L در شکل 3) و زاویه 12° ، 22° ، 32° و 42° ساخته شدند. دفلیکتورها 2 سانتی‌متر بالاتر از کف باکت و در فاصله 10 سانتی‌متری از لبه جام نصب شدند.

دست به تدریج بسته می‌شد تا عمق آب پایین‌دست سرریز یا همان عمق پایاب افزایش یابد. عمق پایاب تا جایی افزایش می‌یافت که پرش هیدرولیکی دقیقاً بعد از محل برخورد جت به کف فلوم تشکیل شود. هدف از ایجاد این پرش اندازه‌گیری عمق جریان بعد از پرتابه است. عمق پایین‌دست به دلیل وجود هوای زیاد در جریان پایین‌دست پرتابه بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست برای اندازه‌گیری عمق پایین‌دست، چون جریان بعد از پرتابه فوق بحرانی می‌باشد با تشکیل یک پرش هیدرولیکی بلافاصله بعد از جت و اندازه‌گیری عمق ثانویه پرش با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف پرش و صرفنظر از اصطکاک‌های جزئی، عمق اولیه پرش از رابطه اعماق مزدوج پرش در کانال مستطیلی بدست آمد. سپس میزان افت انرژی نسبی جریان از رابطه 4 محاسبه شد.

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = \left(\frac{E_0 - E_1}{E_0} \right) \quad [4]$$

در این رابطه ΔE_r افت نسبی انرژی جریان، E_0 انرژی کل جریان در بالادست و E_1 انرژی کل بعد از محل برخورد جت در پایین‌دست می‌باشد. در هر مرحله متغیرهای مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از دبی (Q)، عمق قبل از پرش (y_1)، عمق بعد از پرش (y_2)، عمق آب پشت سرریز (h_0)، ارتفاع آب روی سرریز (H)، ارتفاع آب انتهای سرریز و مسیر پرتابه. جدول 1 دامنه تغییرات پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



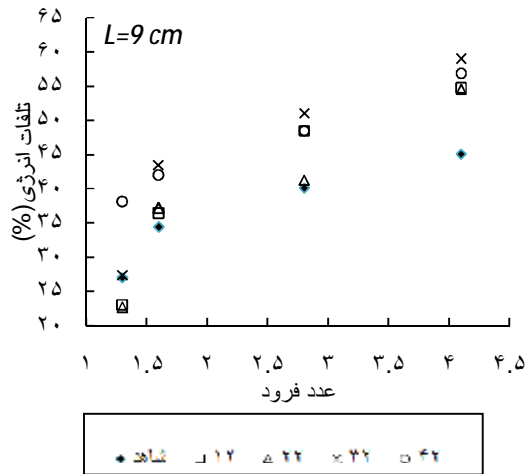
شکل 3- شکل هندسی دفلکتور ها.

در هر مرحله دفلکتور با زاویه مورد نظر در محل نصب شد به گونه‌ای که ضلع پایین دفلکتور موازی محور کف کانال (در راستای افقی) بود. برای مدل اول آزمایش‌ها با چهار دبی 10، 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، سه طول دفلکتور 3، 6 و 9 سانتی‌متر و چهار زاویه 12° ، 22° ، 32° و 42° انجام شد و چهار آزمایش هم بدون دفلکتور برای مقایسه با حالت با دفلکتور انجام شد، برای مدل دوم آزمایش‌ها با سه دبی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، سه طول دفلکتور 3، 6 و 9 سانتی‌متر و چهار زاویه 12° ، 22° ، 32° و 42° انجام شد و سه آزمایش هم بدون دفلکتور برای مقایسه با حالت با دفلکتور انجام شد، با انجام 51 آزمایش برای مدل اول و 39 آزمایش برای مدل دوم، مجموعاً 90 آزمایش صورت گرفت. برای انجام آزمایش‌ها ابتدا دفلکتور در محل مورد نظر چسبانده می‌شد بعد از ثابت شدن دفلکتور در محل مورد نظر پمپ روشن می‌شد، جریان وارد فلوم می‌گردید، سپس دبی با شیرفلکه مخصوص تنظیم دبی، تنظیم می‌شد در هر دبی عمق و سرعت جریان در 1 متر بالادست سرریز اندازه‌گیری می‌شد سپس دریچه پایین-

جدول 1- محدوده‌ی متغیرهای مورد استفاده.

محدوده تغییرات	Q (L/s)	L (cm)	θ (degree)	L/R	y/H_{dam}	عمق روی تاج (cm)	Re بالادست
حداقل	10*	3	12	0/375	0/10	5/3	4770
حداکثر	25	6	42	1/125	0/19	10/7	26539

* حداقل دبی برای مدل اول 10 و برای مدل دوم 15 لیتر بر ثانیه می‌باشد.



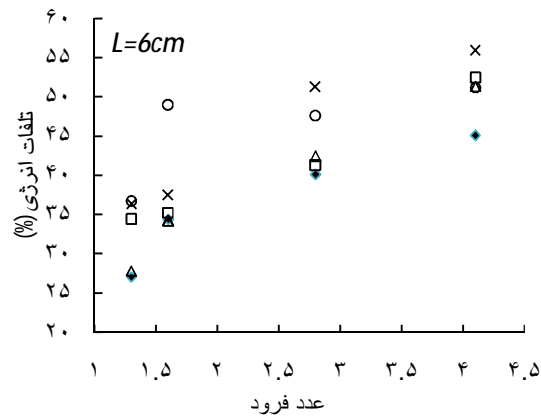
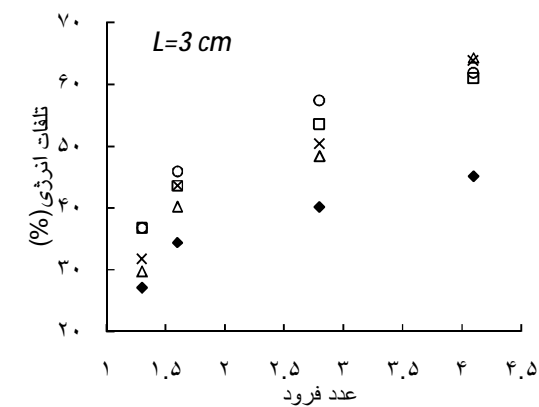
شکل 4- استهلاک انرژی در مدل 1 برای طول‌های مختلف دفلکتور.

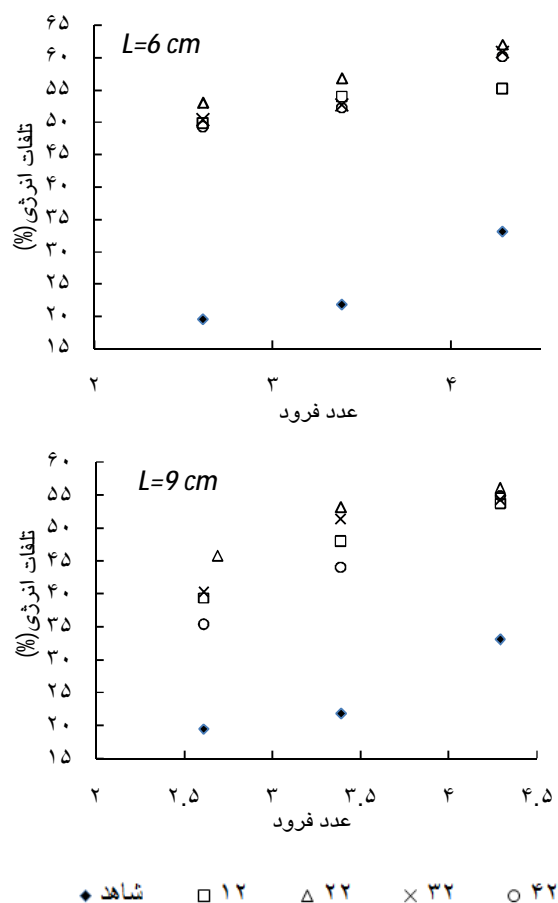
همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود تلفات انرژی افزایش می‌یابد این روند هم در آزمایش‌های بون دفلکتور و هم در آزمایش‌هایی که دفلکتور وجود دارد، مشاهده می‌شود به دلیل اینکه پرتابه‌های جامی شکل در اعداد فرود بالا کارایی بهتری دارند در اینجا نیز با افزایش عدد فرود تلفات انرژی افزایش یافته است. روند نمودارها نشان می‌دهد که در اعداد فرود بیشتر از 1/5، در یک عدد فرود ثابت با افزایش زاویه ابتدا استهلاک انرژی افزایش و سپس کاهش یافته است. زیرا در یک طول مشخص با افزایش زاویه محل برخورد جت دفلکتور و جت باکت از کف فلوم افزایش می‌یابد در زاویه‌های پایین اختلاط کامل صورت نمی‌گیرد با افزایش زاویه، اختلاط بین دو جت بیشتر می‌شود اما در زاویه‌های بزرگ دو جت تقریباً در نقطه اوجشان با یکدیگر برخورد می‌کنند که تاثیر کمتری در استهلاک انرژی دارد. بطور متوسط دفلکتور با زاویه 32 درجه بیشترین استهلاک انرژی را نسبت به حالت بدون دفلکتور داشته است. در این مدل با افزایش طول دفلکتور تلفات نسبی انرژی کاهش یافته است بطوری که دفلکتور با طول 9 سانتی‌متر کمترین اختلاف را با حالت بدون دفلکتور داشته است به این دلیل که با

در خصوص جدول 1 لازم به توضیح است که چون در دبی 10 لیتر بر ثانیه برای مدل دوم هیچ جتی از روی دفلکتور رد نمی‌شد این دبی برای مدل دوم مورد آزمایش قرار نگرفت. در واقع کانال نزدیک شونده در مدل دوم باعث کاهش عمق آب نسبت به مدل اول در محل نصب دفلکتور می‌شد.

نتایج و بحث

پس از تحلیل داده‌ها نتایج بصورت جداول و نمودار در ادامه آورده شده است. در شکل 4 روند استهلاک انرژی در مقابل عدد فرود برای مدل سرریز همراه با پرتابه جامی شکل بدون کانال نزدیک شونده برای زاویه‌های مختلف نشان داده شده است.





شکل 5- استهلاک انرژی در مدل 2 برای طول‌های مختلف دفلکتور.

همان‌طور که مشاهده می‌شود دفلکتور با طول 9 سانتی‌متر کمترین تلفات را نسبت به حالت بدون دفلکتور داشته است بطوری که کمترین تلفات برای زاویه 42 درجه در عدد فرود 2/61 و برابر با 35/3 درصد می‌باشد.

با توجه به نتایج دو مدل، سرریز جامی شکل با کانال نزدیک شونده و دفلکتور عملکرد بهتری نسبت به سرریز جامی شکل بدون کانال نزدیک شونده دارد.

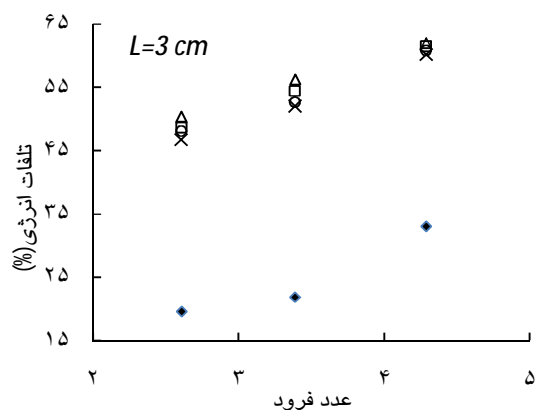
در ادامه با توجه به تحلیل ابعادی صورت گرفته، به منظور بررسی اثر متقابل پارامترهای بی‌بعد موثر استخراج شده بر روی افت انرژی نسبی و ارائه یک رابطه ریاضی، با استفاده از روش‌های آماری، از یک سری

افزایش طول دفلکتور، جت تشکیل شده بوسیله دفلکتور در ارتفاع بیشتری نسبت به کف فلوم، به جت تشکیل شده به وسیله باکت برخورد می‌کند. چون در این ارتفاع جت‌ها انرژی کمتری نسبت به ارتفاع پایین‌تر دارند در نتیجه استهلاک کمتری صورت می‌گیرد. با کاهش عدد فرود درصد نسبی این استهلاک کمتر می‌شود.

نتایج مربوط به مدل دو که شامل سرریز با پرتابه جامی شکل همراه با کانال نزدیک شونده می‌باشد در شکل 5 آورده شده است.

شکل 5 نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود تلفات انرژی افزایش یافته است. این روند هم در مدل بدون دفلکتور و هم در مدل‌هایی که دفلکتور وجود دارد، مشاهده می‌شود.

با افزایش زاویه دفلکتور تا 22 درجه تلفات انرژی افزایش یافته و بعد از زاویه 22 درجه درصد تلفات کاهش یافته زیرا زاویه بزرگتر باعث تقسیم جت به دو جت مجزا می‌شود که برخوردی بین آن دو صورت نمی‌گیرد.



که در آن $\frac{\Delta E}{E_0}$ مقدار افت نسبی انرژی، F_r عدد فرود نزدیک شونده به دفلکتور، $\frac{L}{R}$ نسبت طول دفلکتور به شعاع باکت و θ زاویه دفلکتور است. جدول 2 مقدار پارامترهای رابطه 5 و 6 را نشان می‌دهد. همه پارامترهای استفاده شده در رابطه‌های 5 و 6 بی‌بعد هستند و θ بر حسب رادیان می‌باشد.

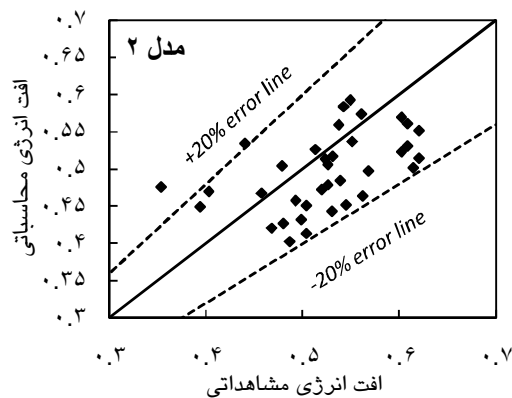
چند متغیره غیرخطی نرم افزار آماری (SPSS 16) استفاده شد. در نهایت رابطه 5 برای مدل یک و رابطه 6 برای مدل دو پس از تحلیل‌های متعدد استخراج گردید.

$$\frac{\Delta E}{E_0} = AF_r^B (\tan q (\frac{L}{R}))^C + D(\frac{L}{R})^G q \quad [5]$$

$$\frac{\Delta E}{E_0} = AF_r^B \tan q^C (\frac{L}{R})^D \quad [6]$$

جدول 2- مقدار پارامترهای استفاده شده در رابطه 5 و 6.

R ²	ضرایب رابطه					
	G	D	C	B	A	
0/84	0/14	0/25	-0/18	0/58	0/16	رابطه 5
0/83	-	0/1	0/04	0/44	0/31	رابطه 6



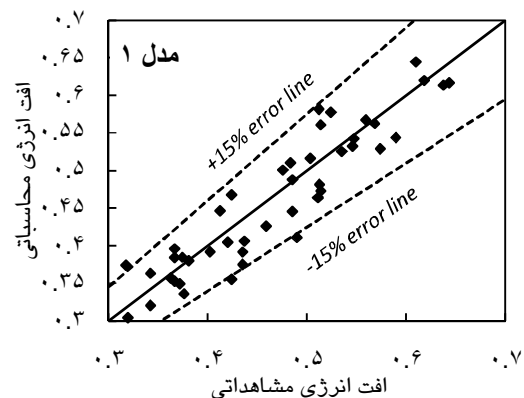
شکل 6- مقایسه بین افت انرژی نسبی مشاهده‌ای و محاسبه شده از رابطه 5.

مقدار همبستگی این دو مقدار (مشاهداتی و محاسباتی) با استفاده از روش‌های آماری برای مدل اول 84 درصد و برای مدل دوم 83 درصد است و هر دو مدل در سطح 0/01 معنی دار می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

در آزمایش‌ها با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی افزایش می‌یابد و تلفات انرژی با وجود دفلکتور بیشتر از حالت بدون دفلکتور است.

در شکل 6 مقدار افت محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (محور افقی) و مقدار افت محاسبه شده از رابطه‌ها (محور قائم) برای دو مدل با هم مقایسه شده‌اند. پراکندگی نقاط نسبت به خط 45 درجه نشان می‌دهد که مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند.



22 درجه تلفات انرژی افزایش یافته و بعد از زاویه 22 درجه درصد تلفات کاهش یافته است. در حالت کلی دفلکتور در سرریز جامی شکل همراه با کانال نزدیک شونده کارایی بیشتری از نظر تلفات انرژی دارد. پس از تحلیل داده‌ها با استفاده نرم افزار SPSS 16 و بدست آمدن رابطه‌ای برای هر دو مدل مقدار افت محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و مقدار افت محاسبه شده از رابطه با هم مقایسه شده‌اند. پراکنندگی نقاط نسبت به خط 45 درجه نشان داد که مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی دارای همبستگی 84 درصد در مدل 1 و همبستگی 83 درصد در مدل 2 می‌باشند.

در مدل بدون دفلکتور درصد تلفات نسبی انرژی جریان در مدل 1 بیشتر از مدل 2 می‌باشد. در آزمایش‌ها با وجود دفلکتور درصد تلفات نسبی انرژی جریان در مدل 2 بیشتر از مدل 1 است. اختلاف تلفات نسبی انرژی جریان با حالت بدون دفلکتور نیز در مدل 2 بیشتر از مدل 1 است.

در مدل 1 زاویه 22 درجه و بطور متوسط دفلکتور با طول ضلع 3 سانتی‌متر بیشترین درصد تلفات انرژی را که به مقدار 64/3 است دارد. همچنین در مدل 2 زاویه 22 درجه و بطور متوسط دفلکتور با طول ضلع 6 سانتی‌متر بیشترین درصد تلفات انرژی را که به مقدار 62/1 است دارد. با افزایش زاویه دفلکتور تا

منابع مورد استفاده

- اکبری غ، ح، 1390. مطالعه آزمایشگاهی اثر تغییرات دبی و عمق پایاب بر بیشترین عمق آبشستگی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران گیلان، 17 تا 19 آبان ماه، دانشگاه گیلان.
- بارانی غ، ع، عباسی پروین ی. 1388. استهلاك انرژی در سازه های هیدرولیکی (مطالعه میدانی سازه های مستهلک کننده انرژی). جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر). 230 صفحه.
- بهرامی آ و بارانی غ، ع، 1388. بررسی عددی روند تغییرات غلظت هوا در جریان های عبوری از روی شوت. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، 21 تا 23 اردیبهشت ماه، دانشگاه شیراز.
- توزنده جانی م، 1390. تأثیر تداخل جریان از شکاف بدنه بر طول پرش هیدرولیکی در پایین دست سرریز اوجی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رنجبر ح، ر، سلامتیان س ا و قدسیان م، 1385. بررسی تغییرات زمانی حفره آب شستگی پایین دست جت های ریزشی. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه اهواز، 24 تا 26 بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران.
- ریاضی ر، پیرستانی م ر و ربیعی فرح، ر، 1390. اثرباشدگی دریچه بر روی حفره آب شستگی ناشی از جریان ریزشی جام پرتابی در دو حالت نرمال و دنداندار. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 17 تا 19 آبان ماه، دانشگاه گیلان.
- صفوی خ، خراسانی زاده ع و غفوری س، 1389. ملاحظات در طراحی جام های پرتابی در پایین دست جت های ریزشی آزاد. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 18 تا 20 آبان ماه، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشکرآر ب، فتحی مقدم م و کاشفی پور س م، 1387. بررسی تغییرات زمانی حفره آب شستگی پایین دست سرریز جام پرتابی به وسیله شبکه عصبی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، 23 تا 25 مهرماه، دانشگاه تبریز.
- مومنی و صالحیان ر، موسوی جهرمی س ح و شفافی بجمستان م، 1385. آبشستگی ناشی از جت های مستطیلی در پایین دست پرتابه های جامی شکل. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، 24 تا 26 بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران.

- نوروزپور ع، 1389. بررسی تاثیر دفلکتور بر میزان استهلاک انرژی در سرریزهای جامی شکل به کمک مدل CFD. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران.
- Anonymous, 1965. Hydraulic Design of Spillway. U.S. Army Corps of Engineers Washington Manual EM, NO.1110-2-1603.
- Chanson H, 2004. The Hydraulic of Open Channel Flow. Elsevier. 496p.
- Heller V , Hager WH and Minor H E. 2005. Ski jump hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering 131(5): 347-355.
- Juon R and Hager WH, 2000. Flip bucket with and without deflector. Journal of Hydraulic Engineering 126(11): 837-845.
- Steine R, Heler V, Hager WH and Minor H E, 2008. Deflector ski jump hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering 134(5): 562-571.
- Tito S and Yu Y A, 2008. Validation of the particle finite element method (PFEM) for simulation of free surface flows. International Journal for Computer-Aided Engineering and Software 25(4): 385-425.