

## مقایسه تلفات انرژی در پرتاب کننده‌های جامی دایره‌ای و مثلثی شکل

منا امیدواری‌نیا<sup>۱\*</sup> و سید حبیب موسوی جهرمی<sup>۲</sup>

\* - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز (mona\_omidvarinia@yahoo.com)

۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

### چکیده

در این تحقیق پرتاب اسکی نوع مثلثی که دارای ماهیتی مشابه سرریزهای جامی شکل، ولی با هندسه متفاوت است، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا عملکرد هیدرولیکی سرریز با بکت مثلثی شکل به جای بکت دایره‌ای، از نظر میزان اتلاف انرژی جنبشی مورد مقایسه قرار گرفت. برای نیل به اهداف این تحقیق، یک مدل فیزیکی از سرریز اوجی در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی ساخته شد و در چهار دبی و به دنبال آن در اعداد فرود مختلف آزمایش‌ها انجام شد. همچنین برای هر دبی، ۳ عمق پایاب به کار گرفته شد؛ به طوری که، در هر حالت پرتاب کننده دایره‌ای و مثلثی با زوایای مختلف منظور گردید. نتایج نشان داد که در حالت مقایسه کلی عملکرد پرتاب کننده مثلثی ۴۵ درجه به طور قابل توجهی در استهلاک انرژی بهتر از پرتاب کننده جامی می‌باشد؛ به طور مثال، برای عدد فرود ۳/۱۳ در حالت جت آزاد این مقدار در پرتابه‌ی مثلثی و جامی به ترتیب ۶۶/۴ و ۵۴/۸ درصد می‌باشد. کمترین درصد استهلاک انرژی برای پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه و بیشترین استهلاک انرژی در پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول دسترسی ۷ سانتی متر می‌باشد. در حالت مثلثی شکستگی خطوط جریان در برخورد با شیب مثلث رخ داده و این در حالی است که برای حالت معمولی این شکستگی به مراتب کمتر است. در نهایت با توجه به هندسه و اجرای راحت تر پرتاب کننده‌های مثلثی و عملکرد بهتر آن در میزان استهلاک انرژی استفاده از این نوع پرتاب کننده توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: پرتاب کننده‌های جامی، پرتاب کننده‌های مثلثی، استهلاک انرژی، مدل فیزیکی

## Comparative Analysis of energy Losses in the Traditional and Triangular Flip Buckets

Omidvarinia.M<sup>1</sup> and Musavi Jahromi.S.H<sup>2</sup>.

1- Ph.D of Hydraulic structures, Shahid Chamran university (SCU), Ahvaz, Iran

2- Professor of Hydraulic structures, Shahid Chamran university (SCU), Ahvaz, Iran

Received: 21 Feb.2012

Accepted: 12 Dec. 2012

### Abstract

In this study the triangular flip bucket instead of circular shaped- with the same character but with different geometries- was studied. In this regard, the performance hydraulic overflow bucket with a bucket instead of the usual triangular shape, were compared in terms of energy dissipation. In this regard, the hydraulic performance triangular shaped bucket instead of the usual bucket, were compared in terms of energy dissipation. To achieve this goal, a physical model of the ogee spillway was built in the hydraulic physical models laboratory of Shahid Chamran University (SCU) and experiments were performed in 4 discharges that followed by four different Froude number. The for each discharge 3 tail-water depth were used to run experiments. The results showed that in comparison to the Total performance energy dissipation in triangle flip bucket with 45-degree angle insignificantly is better than cup flip bucket. For example, energy dissipation in Froude number 3.13 in the case of the free jet in the triangle and cup flip bucket respectively 66.4 and 54.8 percent. The lowest and most energy dissipation respectively related to triangle flip bucket with 22.5-degree angle and Triangle flip bucket with 45-degree angle with 7 cm approach channel. A comparison with results for the circular shaped bucket geometry indicates a favorable behavior of the novel bucket design.

**Keywords:** Flip Buckets, Triangular Flip Buckets, Energy Losses, Physical Model

### مقدمه

خلاصه‌ای از توصیه‌های طراحی توسط ماسون<sup>۵</sup> ارائه شده، وی شعاع باکت را حداقل ۳ تا ۵ برابر عمق جریان ورودی و زاویه لبه یا زاویه برخاست بین ۲۰ تا ۳۵ درجه و زاویه گسترش جت در هوا حدود ۵ درجه توصیه نمود (۱۲). پرتابه‌های جامی هم به صورت یک کانال منشوری مستطیل شکل و هم به صورت جام دارای یک منحرف کننده جریان جانبی توسط جون و هگر<sup>۶</sup> مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تحقیق وی اثرات مقیاس در مدل‌های هیدرولیکی، توزیع فشار در باکت، مسیر پرتابه جریان، شرایط ایجاد امواج شوکی و روابط آب برگشتی<sup>۷</sup> در جام‌ها بررسی گردیده است (۱۰). بر اساس نتایج این محققین مشخص گردیده که ارتفاع امواج نوسانی یا شوک به عدد فرود در پای سرسره و همچنین زاویه پرتاب کننده وابستگی شدید دارد. استینر و همکاران<sup>۸</sup> توزیع فشار در مستهلک کننده‌های پرش اسکی با جام مثلی توسط مدل آزمایشگاهی مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند که پرتاب کننده‌های مثلی عملکرد بهتری در میزان استهلاک انرژی جنبشی دارند. گاون و عظمت‌الله<sup>۹</sup> با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنیک به بررسی جریان خروجی پایین دست پرتاب کننده‌های جامی شکل و تاثیر آنها بر آبستگي پایین دست آن پرداختند و بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مدل‌سازی مشخص نمودند که تکنیک الگوریتم ژنیک در پیش بینی طول پرتاب جریان و حداکثر عمق آبستگي کارآمد می‌باشد (۸).

با توجه به مروری بر منابع یاد شده در تحقیق حاضر هدف بررسی و مقایسه اثر تغییر هندسه پرتاب کننده دایره‌ای و مثلی در زوایای مختلف بر میزان استهلاک انرژی جنبشی آب می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

همانطور که در بخش گذشته بیان شد در این تحقیق به بررسی عملکرد پرتاب کننده دایره‌ای و مثلی شکل پرداخته شده است. لذا برای بررسی این موضوع ابتدا بین پارامترهای موثر بر پدیده روابط بدون بعد استخراج و بر اساس متغیرهای در نظر گرفته شده مدل فیزیکی مهیا گردید که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود.

### انالیز ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاک انرژی موثر می‌باشند اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای موثر در این آزمایش‌ها در رابطه (۱) ارائه شده‌اند.

یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های هیدرولیکی کنترل سرعت جریان می‌باشد. سرعت جریان برای شرایط مختلف طراحی باید در محدوده قابل قبولی قرار گیرد تا از تخریب و خسارات ناشی از آن جلوگیری شود (۴ و ۹). در بسیاری مواقع بدلائل مختلف از قبیل شیب زیاد عبور آب، انرژی جنبشی بیش از حد جریان وجود دارد که باید از سازه‌های مستهلک کننده انرژی استفاده شود (۱۴). معمولی‌ترین روش‌های استهلاک انرژی عبارتند از حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی، جام غلتانی و جام پرتابی (۷). در حوضچه‌های پرتابی که، جام پرتابی یکی از اجزای آن است، هنگامی که جریان از تندآب وارد جام می‌شود، بخشی از انرژی جنبشی آن در جام مستهلک می‌گردد. اما بخاطر 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 (۱۵). در این حالت تغییر جهت جریان در جام به سمت بالا و مقاومت نقلی زمین که شتاب رو به پایین وارد می‌کند، باعث کاهش شتاب حرکت و سرعت جریان در جام می‌شود. بخش عظیمی از انرژی جریان با پخش و پراکنده شدن جت خروجی جریان از سازه به صورت پرش اسکی مستهلک می‌شود. بدیهی است هرچه طول طی شده توسط جت بیشتر باشد استهلاک انرژی بیشتری نیز به وقوع خواهد پیوست (۱۳). با برخورد جت پودر شده با حوضچه استغراق در پایاب و بوجود آمدن جریان آشفته و متلاطم در حوضچه فرآیند استهلاک انرژی در سیستم پرش اسکی تکمیل می‌شود (۱). پرش‌های اسکی اواسط دهه ۱۹۳۰ در پروژه هیدرولیکی Dordogne در فرانسه به عنوان یک طرح هیدرولیکی موفق معرفی شدند (۲). فشارها روی باکت توسط بالوفت<sup>۱</sup> مشاهده و محاسبه شد. با استفاده از مدل پتانسیل جریان (به عنوان مثال، خطوط جریان متحدالمرکز در باکت)، وی دریافت در صورتی که نسبت عمق جریان،  $h_0$ ، در باکت به شعاع انحنای  $R$ ، نسبتاً کوچک باشد، حداکثر هد فشاری به طور متوسط ۴ درصد بزرگتر از هد فشاری محاسباتی است (۳). تیرنی و هندرسون<sup>۲</sup> نشان دادند که برای نسبت‌های کوچک  $h_0/R$  با بکارگیری نظریه گرداب پتانسیلی بین محاسبات دو بعدی و مشاهدات، تطابق مناسبی وجود دارد مشروط بر اینکه زاویه انحراف حداقل ۴۵ درجه باشد (۱۷). چن و یو<sup>۳</sup> توزیع فشار در امتداد یک باکت استوانه را با استفاده از معادلات پتانسیل جریان برای زاویه انحراف ۰/۷۵ و ۰/۹۵ محاسبه نمودند (۵). نتایج هد فشار حداکثر آنها نزدیک به روش بالوفت بود (۳ و ۵) و کسیدی<sup>۴</sup> روش چن و یو را اصلاح نمودند. آنها نشان دادند که اثر ویسکوزیته در جریان باکت ناچیز است (۱۱). همچنین

5-Mason

6-Juon and Hager

7-The Recirculation Flow

8-Steiner et al.

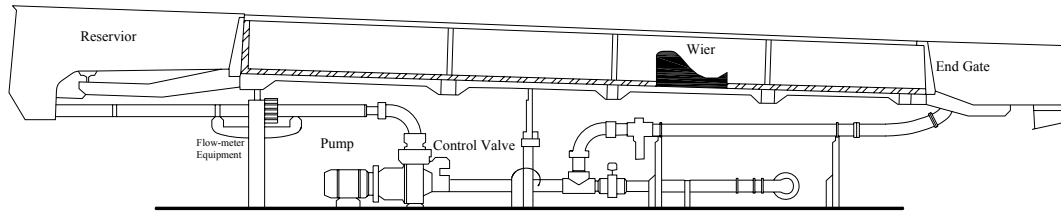
9-Guven and Azamathulla

1-Balloffet

2-Tireney and Henderson

3-Chen and Yu

4-Lenau and Cassidy



شکل ۱- نمایی شماتیک از پروفیل طولی فلوم و سرریز مورد استفاده



شکل ۲- سرریز اوجی، تجهیزات اندازه گیری و پرتاب کننده جامی شکل

$(W = v^2 y / \sigma)$  (که  $y$ : عمق آب روی سرریز است) نیز صرف نظر نمود.

#### مدل آزمایشگاهی

جهت رسیدن به اهداف این تحقیق، آزمایش‌ها در فلومی با طول ۱۲ متر، عرض ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. سیستم گردش آب فلوم به صورت مدار بسته می‌باشد و آب مورد نیاز از طریق مخازن مرتبط به هم 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 دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه قبل از ورود جریان به مخزن آرام کننده اندازه‌گیری شد. این فلوم دارای یک شیر فلکه برای 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 اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از پوینت گیج استفاده شد. در شکل (۱) نمایی شماتیک از تجهیزات آزمایشگاهی ارائه شده است همچنین شکل (۲) وسایل اندازه‌گیری و پرتاب کننده جامی شکل را نشان می‌دهد.

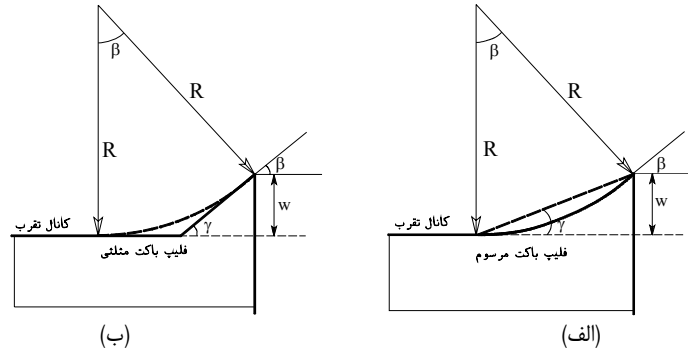
مدل سرریز اوجی شکل طبق استاندارد USBR با ارتفاع ۳۲/۴ سانتی‌متر و طول ۵۲/۴ سانتی‌متر و جام پرتاب‌کننده با شعاع ۱۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۹/۳ سانتی‌متر از جنس فایبر گلاس ساخته شد. مدل پس از ساخت در محلی که ۵/۳۹ متر از مخزن فاصله دارد

$$\Delta E = f(\rho, \mu, g, V, y, R, \sigma, \gamma) \quad (۱)$$

که در رابطه (۱)،  $\Delta E$ : افت انرژی بوده که برابر است با  $(E_0 - E_1)$  که  $E_0$ : انرژی اولیه و  $E_1$ : برابر با انرژی جریان در پایان مسیر پرتابه که تقریباً برابر انرژی جریان در عمق اولیه پرش هیدرولیکی پایین دست می‌باشد،  $\rho$ : جرم حجمی آب،  $\mu$ : لزجت دینامیکی آب،  $g$ : شتاب ثقل،  $V$ : سرعت جریان نزدیک شونده به باکت،  $y$ : عمق جریان نزدیک شونده به باکت،  $R$ : شعاع باکت،  $\sigma$ : کشش سطحی و  $\gamma$ : زاویه مثلث می‌باشد. با استفاده از روش‌های آنالیز ابعادی و نظریه باکینگهام رابطه کلی زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f(Fr, Re, We, \gamma, y/R) \quad (۲)$$

در رابطه (۲)،  $\frac{\Delta E}{E_0}$ : افت نسبی انرژی است که به دلیل بدون بعد نمودن آن به انرژی اولیه تقسیم گردیده است، پارامتر  $Re$ :  $(Re = VR/\mu)$  عدد رینولدز نزدیک شونده به پرتاب کننده می‌باشد. با توجه به اینکه در تمام آزمایش‌ها،  $Re > 2000$  می‌باشد (عدم تأثیر لزجت جریان) لذا جریان آشفته برقرار بوده و می‌توان از تأثیر عدد رینولدز صرف نظر نمود (۶). شایان ذکر است که با توجه به اینکه در این آزمایشات حداقل ارتفاع آب روی سرریز ۵/۷ سانتی‌متر می‌باشد، می‌توان از اثرات کشش سطحی و عدد وبر  $We$



شکل ۳- تبدیل سرریز با پرتاب‌کننده‌های جامی شکل یا معمولی به مثلثی شکل در دو حالت

پایه پرتاب کننده ثابت می‌ماند، که در آن،  $w$ : ارتفاع و  $\gamma$ : زاویه پرتاب کننده مثلثی می‌باشد. در این تحقیق هر دو مدل پرتاب‌کننده مثلثی طراحی و ساخته شد. در حالت اول زاویه  $\gamma$ ، برابر ۴۵ درجه و ارتفاع از کف ۹/۳ سانتیمتر و در حالت دوم،  $\gamma$ ، برابر ۲۲/۵ درجه و ارتفاع از کف ۹/۳ سانتیمتر و هر دو از جنس پلکسی گلاس می‌باشند. از طرفی در حالت پرتاب کننده مثلثی ۴۵ درجه جهت بررسی اثر طول آستانه، فاصله انتهایی سرریز اوجی تا نقطه ابتدای شیب پرتاب کننده، در دو حالت ۲ سانتیمتر و ۷ سانتیمتر بررسی گردید. این در حالی است که طول آستانه در حالات پرتاب کننده جامی و پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه ۲ سانتیمتر می‌باشد. در شکل (۴) شماتیک سه مدل پرتابه مثلثی بکار رفته در این تحقیق، ارائه شده است.

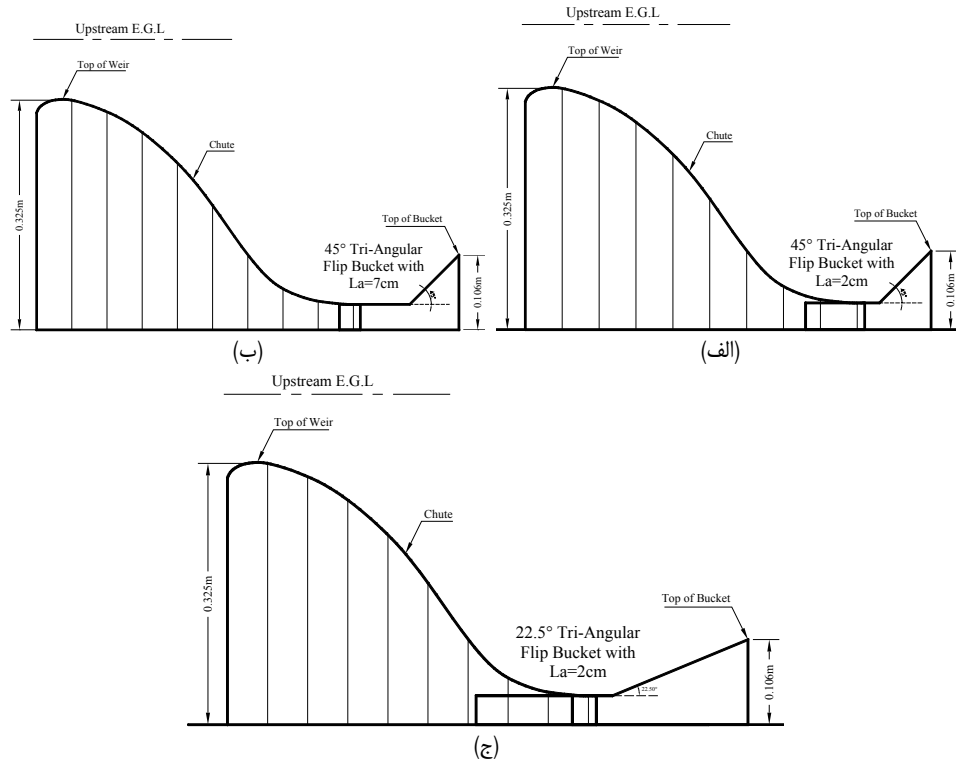
در این تحقیق ۴ دبی، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه و در هر دبی ۳ عمق پایاب برای اجرای آزمایش‌ها به کار گرفته شده‌اند و با احتساب چهار نوع پرتاب کننده (یک عدد جامی و سه عدد مثلثی) تعداد ۴۰ آزمایش انجام شد. عمق پایاب اول حالتی است که پرش هیدرولیکی بلافاصله در محل فرود جت خروجی از پرتاب کننده قرار بگیرد و در حالت دوم عمق پایاب به حدی افزایش می‌یابد که ۸۵ درصد طول جت خروجی از پرتاب کننده رخ دهد؛ در این شرایط، پرش هیدرولیکی باعث می‌شود که ۱۵ درصد از طول پرتابه وارد عمق پایاب گردد و در حالت سوم عمق پایاب به حدی است که ۷۰ درصد طول جت خروجی از پرتاب کننده ایجاد شود و لذا ۳۰ درصد دیگر طول آن در عمق پایاب محو می‌گردد. یعنی در حالت اول که جت کامل است و پرش در انتهای پای جت قرار می‌گیرد، طول جت اندازه‌گیری می‌شود و ۸۵ و ۷۰ درصد آن محاسبه گردیده و با استفاده از درجه انتهایی عمق پایاب طوری تنظیم می‌گردد که ابتدای پرش در حالات دوم و سوم به ترتیب در ۸۵ و ۷۰ درصد طول جت قرار بگیرند (۱۶). لازم به ذکر است در تمام آزمایشات منظور از عدد فرود، عدد فرود پای سرریز اوجی است که برای هر دبی محاسبه گردیده است.

نصب گردید تا طول لازم برای ایجاد جریان یکنواخت در بالادست تامین گردد.

نحوه انجام آزمایش بدین صورت بود که ابتدا پمپ روشن می‌شد، جریان وارد فلوم می‌گردید، سپس دبی با شیرفکله مخصوص تنظیم می‌شد در هر دبی عمق و سرعت جریان در ۱ متر بالا دست سرریز به دلیل این که از تغییر پروفیل سطح آب در بالادست فاصله داشته باشد، اندازه‌گیری می‌شد. سپس در پیچه پایین دست به تدریج بسته می‌شد تا عمق آب پایین دست سرریز یا عمق پایاب افزایش یابد. عمق پایاب تا جایی افزایش می‌یافت که پرش هیدرولیکی بلافاصله پس از محل برخورد جت به کف فلوم تشکیل شود. هدف از ایجاد این پرش اندازه‌گیری عمق جریان پس از عبور از پرتابه است. عمق اولیه پرش به دلیل وجود هوای زیاد در جریان لبه پایین دست پرتابه، بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبود. برای اندازه‌گیری این عمق، چون جریان بعد از پرتابه فوق بحرانی است با تشکیل پرش هیدرولیکی بلافاصله پس از پرتابه و اندازه‌گیری عمق ثانویه پرش، با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف پرش و صرفنظر از افت‌های اصطکاکی، عمق اولیه پرش از رابطه اعماق مزدوج پرش بدست می‌آید (۱۶). پس از این مرحله انرژی دو طرف سرریز با استفاده از اندازه‌گیری‌های عمق و سرعت از رابطه برنولی محاسبه و تلفات انرژی در پرتابه‌های مختلف محاسبه گردید. در هر مرحله متغیرهای مورد اندازه‌گیری شامل دبی،  $Q$ ، عمق قبل از پرش،  $V_1$ ، عمق بعد از پرش،  $V_2$ ، عمق آب پشت سرریز،  $h_0$ ، ارتفاع آب روی سرریز،  $H$ ، ارتفاع آب در کانال آستانه قبل از پرتاب کننده، مسیر پرتابه جت (توسط پوینت گیج و خط‌کش مسیر پرتابه جت به صورت مختصاتی  $X$  و  $Z$  برداشت گردید). در مرحله بعد کلیه مراحل بالا توسط پرتاب کننده مثلثی انجام گردید. جهت طراحی پرتابه مثلثی و به این علت که قابل مقایسه با پرتابه دایره‌ای باشد از روابط زیر استفاده گردید.

$$\text{الف) } \gamma = \beta / 2 \quad \text{ب) } w = R(1 - \cos \beta) \quad \text{و} \quad w = R(1 - \cos \beta)$$

اشکال و روابط شکل (۳) برای تبدیل پرتاب‌کننده جامی مرسوم به پرتاب‌کننده مثلثی با شرایط هندسی یکسان می‌باشند و دارای دو حالت است: در حالت اول زاویه پرتاب کننده و در حالت دوم طول

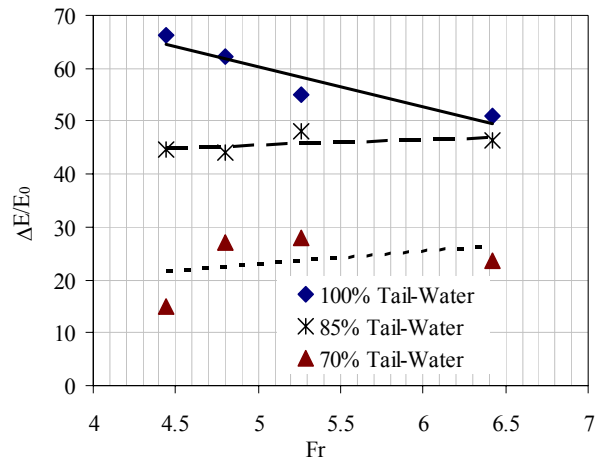


شکل ۴- پرتاب کننده مثلثی (الف) زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۲ سانتیمتر (ب) زاویه ۴۵ و طول ۷ سانتیمتر (ج) زاویه ۲۲/۵ و طول ۲ سانتیمتر

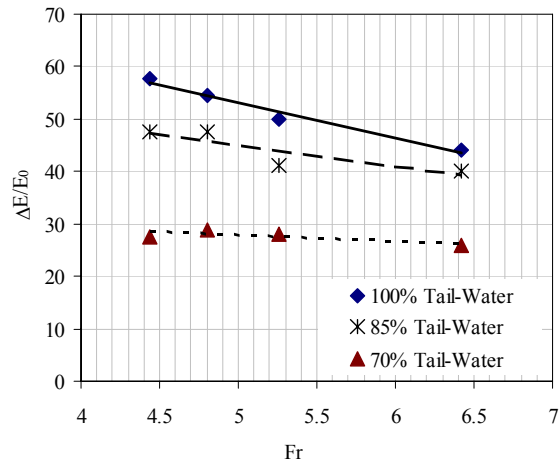
(۵) الی (۷)، هنگامی که شرایط جریان به گونه‌ای است که امکان تشکیل کامل مسیر پرتابه وجود دارد (حالت عمق پایاب در حالت ۱۰۰ درصد تشکیل طول مسیر پرتابه)، پرش کامل در پایین دست تشکیل شده و از این رو امکان اتلاف انرژی بیشتری وجود دارد؛ چرا که، در این حالت عمق اولیه پرش توسعه یافته و جریان به صورت توسعه یافته کامل امتداد می‌یابد. حال با افزایش عدد فرود پای سرریز، شرایط پرش به صورت کامل به وقوع نپیوسته، باعث ناپایداری آن گشته و از این رو استهلاک انرژی کاهش می‌یابد. در اعماق پایاب ۸۵ و ۷۰ درصد مکانیزم عمل متفاوت بوده و به دلیل این که احتمال تشکیل پرش نوسانی کاهش می‌یابد، در محدوده اعداد فرود آزمایش شده استهلاک انرژی تا حدی افزایش یافته است. ولی با توجه به عدم توسعه یافتگی کامل عمق اولیه پرش در مجموع اتلاف انرژی در ۸۵ درصد پایاب نسبت به ۱۰۰ درصد پایاب به طور متوسط ۲۲ درصد کاهش یافته و برای پایاب ۷۰ درصد کاهش تلفات به طور متوسط ۵۸ درصد می‌باشد که همانطور که بیان شد به دلیل عدم توسعه یافتگی کامل پرش هیدرولیکی می‌باشد. همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد در این تحقیق از پرتاب کننده جامی مرسوم که دایره‌ای می‌باشد نیز به منظور مقایسه استفاده شده است. شکل (۸) درصد تلفات انرژی در مقابل عدد فرود را برای این نوع پرتاب کننده جامی نمایش می‌دهد.

### نتایج و بحث

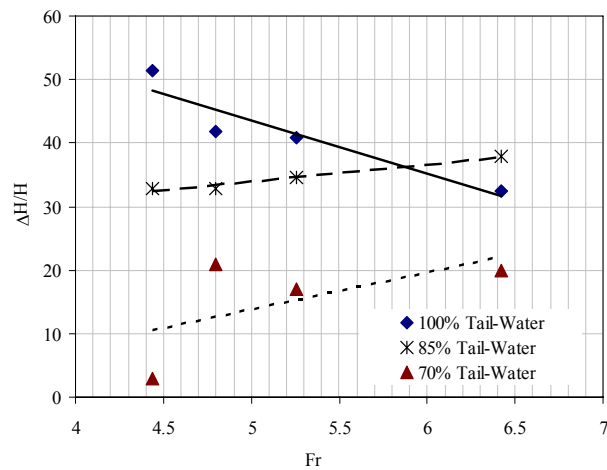
پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج مربوط به تلفات در پرتابه‌های جامی و مثلثی شکل آورده شده است. در این پژوهش، برای بررسی نتایج درصد اتلاف انرژی در مقابل عدد فرود با انجام ۴۰ سری آزمایش و محاسبه انرژی بالادست و پایین دست در ۴ دبی ۱۰، ۲۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه منحنی‌های مربوطه ترسیم گردیدند. این نتایج در شکل‌های (۵) الی (۷) آورده شده‌اند. با توجه به نتایج شکل (۵) در پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۷ سانتی متر در عمق پایاب ۱۰۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی کاهش و برای اعماق پایاب ۸۵ و ۷۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که در پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول دسترسی ۲ سانتیمتر برای عمق پایاب ۱۰۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی کاهش و برای اعماق پایاب ۸۵ و ۷۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی با شیب نسبتاً کمی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۶) در پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه برای عمق پایاب ۱۰۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی کاهش و برای اعماق پایاب ۸۵ و ۷۰ درصد با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج مندرج در اشکال



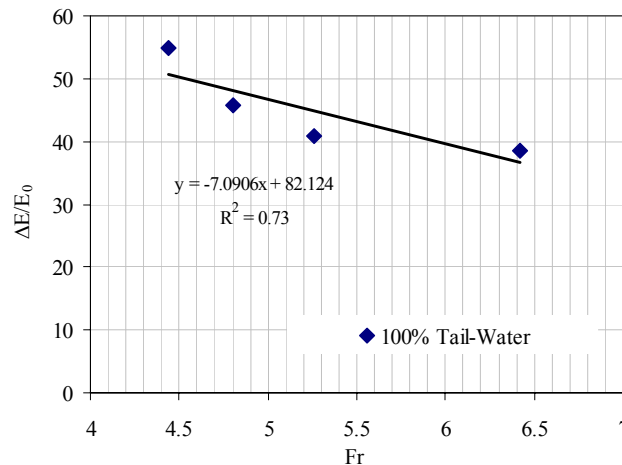
شکل ۵- تلفات نسبی انرژی در پرتابه‌ی مثلثی ۴۵ درجه، طول ۷cm در برابر عدد فرود و اعماق پایاب مختلف



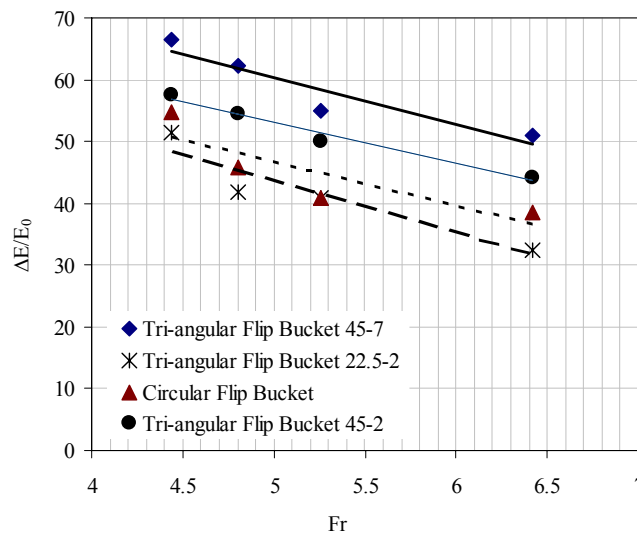
شکل ۶- تلفات نسبی انرژی در پرتابه‌ی مثلثی ۴۵ درجه، طول ۲cm در برابر عدد فرود و اعماق پایاب مختلف



شکل ۷- تلفات نسبی انرژی در پرتابه‌ی مثلثی ۲۲/۵ درجه، طول ۲cm در برابر عدد فرود و اعماق پایاب مختلف



شکل ۸- تلفات نسبی انرژی در پرتابه‌ی جامی با طول ۲ سانتیمتر در مقابل عدد فرود



شکل ۹- تلفات نسبی انرژی در تمامی پرتاب‌کننده‌ها برای عمق پایاب ۱۰۰ درصد

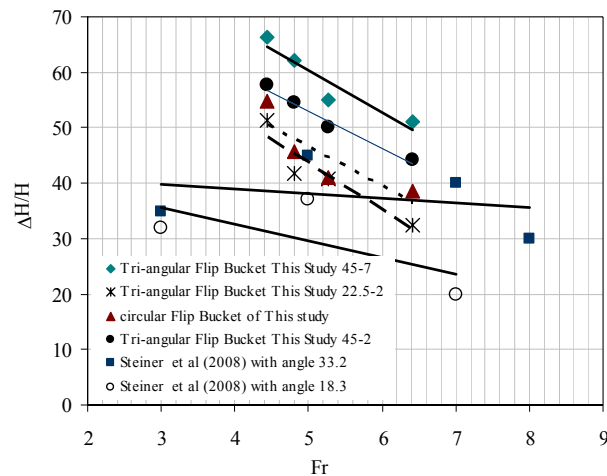
و علت اصلی آن هندسه مثلثی شکل بوده که باعث شکسته شدن و فشرده کردن بیشتر خطوط جریان به تبع آن افزایش سرعت در لحظه پرتاب و در نهایت اتلاف نسبی انرژی بیشتر می‌باشد. در حالت مقایسه‌ای بین پرتاب‌کننده‌های مثلثی با زوایای ۴۵ و ۲۲/۵ درجه، نتایج نشان می‌دهد که پرتابه مثلثی ۴۵ درجه عملکرد هیدرولیکی بهتری در اتلاف انرژی نسبی دارد و علت این امر نیز به هندسه پرتابه در زوایای مختلف مرتبط بوده و همانطور که در شکل (۴) مشاهده گردید، در حالت ۲۲/۵ درجه پرتابه شیب ملایمتری داشته و این امر باعث می‌شود شکستگی خطوط جریان و به تبع آن استهلاک انرژی جنبشی جریان به نسبت ۴۵ درجه کمتر باشد. از سوی دیگر نتایج و محاسبات مربوط به پرتاب‌کننده مثلثی ۴۵ درجه در دو حالت با طول آستانه ۷ سانتیمتر و ۲ سانتیمتر نشان داد که پرتابه با طول آستانه بیشتر بازده بهتری برای تلفات انرژی نسبت به پرتاب‌کننده با طول کمتر دارد که علت این امر کاهش سرعت پرتابه

شکل (۸) نشان می‌دهد در پرتاب‌کننده جامی برای عمق پایاب ۱۰۰ درصد (جت کاملاً آزاد) نیز با افزایش عدد فرود، تلفات نسبی انرژی کاهش می‌یابد. در شکل (۹) تلفات انرژی برای کلیه حالات مقایسه شده است.

همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود درصد تلفات انرژی در عمق پایاب ۱۰۰ درصد در همه پرتاب‌کننده‌ها کاهش می‌یابد. با مقایسه تلفات نسبی انرژی در تمامی پرتاب‌کننده‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین اتلاف انرژی مربوط به پرتابه مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۷ سانتی متر است، بعد از آن به ترتیب پرتابه‌ی مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۲ سانتیمتر و پرتابه مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه و طول آستانه ۲ سانتیمتر و در نهایت پرتاب‌کننده جامی مرسوم کارایی کمتری در اتلاف انرژی دارند. بنابراین به طور کلی پرتاب‌کننده‌های مثلثی در زمینه هیدرولیکی و اتلاف انرژی عملکرد بهتری نسبت به پرتابه‌های جامی مرسوم داشته

جدول ۱ آزمون آماری تفاوت میانگین‌های اتلاف انرژی در فلیپ باکت‌های مختلف

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)	Sig.
پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۷	پرتاب کننده مثلثی ۲۲/۵-۲	۱۷/۰۱۴	۰/۰۰۵
	پرتاب کننده جامی شکل	۱۳/۶۱۹	۰/۰۱۷
	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۲	۷/۱۰۸	۰/۱۷۴
پرتاب کننده مثلثی ۲۲/۵-۲	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۷	-۱۷/۰۱۴	۰/۰۰۵
	پرتاب کننده جامی شکل	-۳/۳۹۴	۰/۵۰۳
	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۲	-۹/۹۰۵	۰/۰۶۷
پرتاب کننده جامی شکل	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۷	-۱۳/۶۱۹	۰/۰۱۷
	پرتاب کننده مثلثی ۲۲/۵-۲	۳/۳۹۴	۰/۵۰۳
	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۲	-۶/۵۱۱	۰/۰۲۱
پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۲	پرتاب کننده مثلثی ۴۵-۷	-۷/۱۰۸	۰/۱۷۴
	پرتاب کننده مثلثی ۲۲/۵-۲	۹/۹۰۵	۰/۰۶۷
	پرتاب کننده جامی شکل	۶/۵۱۱	۰/۰۲۱



شکل ۱۰- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق استینر و همکاران (۲۰۰۸)

موضوع را نمایش می‌دهد. در ادامه روند انجام این تحقیق نتایج حاصله با نتایج استینر و همکاران (۲۰۰۸) مقایسه گردید که در شکل (۱۰) آورده شده است. همانطور که نشان داده شده است میزان نسبی تلفات انرژی برای پرتاب کننده مثلثی در دو حالت زاویه ۱۸/۳ و ۳۳/۲ درجه روندی مشابه روند نتایج تحقیق حاضر داشته و تفاوت نشان داده شده در واقع مربوط به اختلاف زاویه‌ای است که در آزمایش‌های این تحقیق با تحقیق استینر و همکاران (۲۰۰۸) وجود دارد.

### نتیجه گیری

بر اساس آنچه که در این مقاله ارائه شد می‌توان نتایج حاصله را به صورت زیر خلاصه نمود:

به دلیل بازشدگی خطوط جریان می‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر موضوع اقدام به تحلیل آماری و آزمون مقایسه‌ای میانگین‌ها گردید که جدول (۱) نتایج این آزمون را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج مندرج جدول (۱) مشخص است که تفاوت معنی داری در سطح معنی دار ۹۵ درصد به لحاظ آماری بین اتلاف انرژی در حالت زاویه مثلث ۴۵ درجه با طول کانال آستانه ۲ و ۷ سانتیمتر وجود ندارد. همچنین آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی دار ۹۵ درصد نشان می‌دهد که اختلاف میانگین استهلاک انرژی در پرتاب کننده جامی شکل و پرتاب کننده مثلثی با زاویه مثلث ۲۲/۵ درجه نیز معنی دار نیست. بر این اساس مطابق با نتایج جدول (۱) مشخص است که در سایر حالات تفاوت معنی داری بین میانگین های استهلاک انرژی وجود دارد که ستون آخر جدول (۱) این



- در حالت کلی برای شرایط مسیر پرتابه آزاد (عمق پایاب برای حالت ۱۰۰ درصد تشکیل مسیر پرتابه) با افزایش عدد فرود تلفات انرژی کاهش می‌یابد.
  - تلفات نسبی انرژی در حالت مسیر پرتابه آزاد، نسبت به دو حالت دیگر که در اثر افزایش عمق پایاب ۸۵ و ۷۰ درصد از مسیر پرتابه تشکیل می‌گردد، به دلیل توسعه یافتگی کامل پرش هیدرولیکی بیشتر می‌باشد.
  - در حالت مقایسه کلی عملکرد پرتاب کننده مثلثی ۴۵ درجه به طور قابل توجهی در اتلاف نسبی انرژی بهتر از پرتاب کننده جامی بوده که علت این امر شکستگی و فشردگی خطوط جریان در برخورد با شیب مثلث می‌باشد.
  - کمترین درصد استهلاك انرژی برای پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه و بیشترین آن در پرتاب کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول دسترسی ۷ سانتی متر می‌باشد.
- در نهایت با توجه به هندسه پرتاب‌کننده‌های مثلثی و عملکرد بهتر آن در استهلاك انرژی استفاده از این نوع پرتاب کننده از نقطه نظر هیدرولیکی توصیه می‌گردد. ولی لازم است آزمایشهای بیشتری در مدل‌هایی با مقیاس بزرگتر، قبل از اجرای چنین سازه‌هایی انجام گردد.

### سیاسگذاری

نویسندگان مقاله از دانشکده مهندسی علوم آب و گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز بخاطر در اختیار گذاشتن تجهیزات آزمایشگاهی جهت انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگذاری می‌نمایند.

### منابع

- ۱- بارانی، عباسی پروین. ۱۳۸۸. استهلاك انرژی در سازه‌های هیدرولیکی (مطالعه میدانی سازه‌های مستهلک کننده انرژی). جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، ۲۳۰ صفحه.
- ۲- مهری، م. ۱۳۸۵. " شبیه سازی رفتار هیدرولیکی جریان آب بر روی سرریز سد بالارود با استفاده از مدل فیزیکی با مقیاس کوچک " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 3- Balloffet A. 1961. Pressures on spillway flip buckets. Journal of Hydraulic Division, ASCE. Vol. 87. No. (5). pp. 87-98.
- 4- Chanson h. 2004. The Hydraulics of Open Channel Flow An Introduction. Elsevier Butterworth Heinemann. 496 pp
- 5- Chen T-C. And Yu Y-S. 1965. Pressure distribution on spillway flip buckets. Journal of Hydraulic Division, ASCE. Vol. 91. No. 2. pp. 51-63.
- 6- Chow V.T. 1959. Open channel hydraulics. McGraw Hill Book Company, New York. 700 pp.
- 7- Genetti A.J. 1990. Engineering and Design Hydraulic Design of Spillways. U.S. Army Corps of Engineers Washington. DC.
- 8- Guven, A. and Azamathulla, H. 2012. Gene-expression programming for flip-bucket spillway scour. Water Science and Technology journal Vol. 65. No. 11. PP. 1982-1987.
- 9- Hager W.H. 1992. Energy Dissipators and Hydraulic Jump. Water Science and Technology Library. Kluwer Academic Pub, Netherlands. 627 pp.
- 10- Juon R. and Hager W.H. 2000. Flip Bucket Without and With Deflectors. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 126. No. 11. pp. 837-845.
- 11- Lenau C.W. and Cassidy J.J. 1969. Flow through spillway flip bucket. Journal of Hydraulic Division, ASCE. Vol. 95. No. 5. pp. 633-648.
- 12- Mason P.J. 1993. Practical guidelines for the design of flip bucket sand plunge pools. Water Power and Dam Constr. U.K. Vol. 45. No. 9. pp. 40-45.

- 13- Peterka A.J. 1983. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. Bureau of Reclamation, Denver. 244 pp
- 14- Rajan B.H and Shivashankara K.N. 1980. Design of trajectory buckets. Journal of Irrigation and Power. Vol. 37. No. 1. pp. 63-76.
- 15- Shafai- Bejostan M. and Neisi K. 2009. A New Roughened Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. Asian journal of Applied Sciences. Vol .1. pp. 436-445.
- 16- Steiner, R., Heler, V., Hager, W.H., Minor, H.E.,. 2008. Deflector Ski Jump Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134. No.5. pp. 571-562.
- 17- Tierney, D.G. Henderson, F.M., 1963. Flow at the toe of a spillway. La Houille Blanche, Grenoble, France, Vol. 18. No. 1. pp. 42-50.