


# Experimental Investigation of the Wedge-Shaped Deflector Installation Position Effects on the Flip Bucket Spillway Energy Dissipation

Niloofer Saki<sup>1</sup>, Mahmood Shafaei Bejestan<sup>2</sup>

1- MSc student, Civil Engineering-Water and Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz.

2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

\* [Niloofer.23@gmail.com](mailto:Niloofer.23@gmail.com)

Received: 27 October 2021, Accepted: 4 January 2022  J. Hydraul. Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** A spillway is an important hydraulic structure usually used to transport the controlled release of water of a dam or convey river water over its crest to the river bed downstream. Because of high bed slope, the velocity increases throughout the spillways and it reaches its maximum at the downstream which an energy dissipator structure should be designed to reduce the kinetic energy before it transported to the river bed. A flip-bucket and a Ski-jump structure are among the most common energy dissipator which dissipate the extra energy by throwing the incoming jet into the air and as a result, the air interferes with the water and then penetrate in the downstream pool. Energy dissipation control has always been one of the most significant and vital matter and concern of hydraulic scientists and researchers especially in high dams. One of the most common method to dissipate energy is to discharge flow away from the hydraulic structures and downstream by using Flip bucket spill way. During the past decades, many studies are conducted to develop a design criterion to increase the efficiency of the structure or increase of energy dissipation. The length of the projectile or the horizontal distance of the jet which passes to attach the downstream water, also has been important issue which investigators have tried to reduce as long as possible. The use of deflector installed at the edge of the upstream of the jump is among measures which was first studied by Joun and Hager (2006). Many other studies also showed that the deflector can increase the energy dissipation and reduce the projectile length. However, most of these studies focus on the geometry of the deflector. As the effect of the position of deflector have not been studied, this study was conducted.

**Methodology:** To investigate the effects of deflector installation position on energy dissipation and the length of the projectile jet a new experimental study was conducted in the Hydraulic laboratory of Shahid Chamran university of Ahvaz. Three wedged-shape structures with height of 10 cm, length of 6 cm and angle of 47 degree were installed at four different positions upstream of the jump. Total of 40 experiments were performed using 10 different flow discharges. It is worth mentioning that all experiments including the none-deflector case, were performed at 8 dimensionless parameter  $Y_c/H$ . At each experiment the flow discharge, the water surface profile, the jet projectile length and the depth of tailwater was recorded. Photographs also was taken which were used to extract necessary data by using image processing software. In the end relative energy dissipation was calculated by measuring the total energy in the upstream and downstream. In addition to the energy

dissipation, Jet projectile length (for each experiment) was determined by using Get data software and the photos taken during the study.

**Results and discussion:** In general, data analysis demonstrated that the waged-shape structures resulted in a remarkable increase in the amount of energy dissipation and a major decrease in jet projectile length, due to the increase of water and air mixture compare to the case of no deflectors. Indeed, deflectors divide the incoming jet to two small different jets, therefore the combination of these two small jets leads to the increase in water and air mixture and consequently the increase of relative energy dissipation. Moreover, it has been shown that the energy dissipation increased directly with the linear distance from the bucket. Furthermore, the experimental study on the jet length indicated a remarkable decrease in the jet length by the increasing of the linear distance. In other words, the different installation position of deflector increases the height of jet trajectory. It directly increases the contact surface of jet and air and leads to increase in energy dissipation and consequently decrease of jet length.

**Conclusion:** In general, the increase of horizontal distance of the installed deflector from the edge of the bucket resulted in the increase in energy dissipation and the decrease in jet projectile length. The maximum relative energy dissipation was observed 65.9% which occurred where the  $Y_c/H = 0.027$  and  $L_x/L = 7.3$  and the minimum observed relative energy dissipation was 57.5%, which occurred for the  $Y_c/H = 0.061$  and  $L_x/L = 4.3$ . Furthermore, the maximum observed jet length was 105 cm, which occurred in  $Y_c/H = 0.061$  and its minimum was 35 cm, which occurred in  $Y_c/H = 0.027$ . Therefore, according to the results of the all experiments using deflector in proper possessions can significantly reduce the jet projectile length and also cause to increasing the energy dissipation. More studies in larger scale model required before the result of this study can be applied in prototype

**Keywords:** Dam, Hydraulic structure, Physical model, Tailwater.



© 2022 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.  
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

# بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت قرارگیری پرتاب کننده بر استهلاک انرژی و طول پرتابه در سرریز جامی شکل

نیلوفر صاکی<sup>۱</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.  
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* Niloofar.23@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴ و ب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** در این پژوهش تاثیر موقعیت قرارگرفتن پرتاب کننده (deflector) مثلثی شکل در سرریز جامی بر استهلاک انرژی و طول پرتابه به عنوان راهکاری جدیدی برای کاهش استهلاک انرژی و طول پرتابه به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش ها در ۸ دبی مختلف و چهار موقعیت نصب متفاوت و یک حالت بدون پرتاب کننده به عنوان حالت شاهد انجام شد. در مقایسه کلی عملکرد سازه جامی با حضور پرتاب کننده در افزایش استهلاک انرژی و کاهش طول پرتابه بهتر از حالت بدون پرتاب کننده ارزیابی شد. بیشترین کاهش استهلاک انرژی در موقعیت نصب شماره ۴ به فاصله طول 44 cm از لبه جام در شرایط  $Yc/H=0.027$  و معادل ۶۵.۹ درصد و کمترین میزان استهلاک انرژی در حالت شاهد و در شرایط  $Yc/H=0.061$  و معادل ۵۷.۵ درصد مشاهده شد. همچنین بیشترین طول پرتابه در حالت شاهد در  $Yc/H=0.061$  و معادل 105 cm و کمترین طول در موقعیت نصب شماره ۴ به فاصله طولی 44 cm در شرایط  $Yc/H=0.027$  برابر با 35 cm مشاهده گردید. همچنین روابطی برای تعیین میزان استهلاک انرژی و طول پرتابه ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده به دلیل افزایش میزان استهلاک انرژی و همچنین کاهش طول پرتابه استفاده از سازه جامی شکل با نصب پرتاب کننده در موقعیت مناسب توصیه می‌شود.

**کلید واژگان:** سد، سازه هیدرولیکی، مدل فیزیکی، عمق پایاب.

## ۱- مقدمه

از سازه‌های مستهلک کننده انرژی استفاده می‌شود تا از آبشستگی و تخریب سازه جلوگیری شود (Rajan and Shivashankara, 1980). از متداول ترین سازه‌های مستهلک کننده عبارت اند از: حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی و مستهلک کننده‌های جامی. هیدرولیک پرتابه جامی به این صورت است که جریان با عبور از روی آن به هوا پرتاب شده و سپس در رودخانه پایین دست فرود می‌آید وجود پرتابه باعث می‌شود که انرژی جنبشی آب به صورت اختلاط جریان با هوا، برخورد جریان با کف آبراهه پایین دست و چرخش آب در حوضچه گردابی مستهلک می‌شود. لذا استفاده از پرتاب کننده جامی شکل اغلب اقتصادی ترین طرح برای استهلاک انرژی در پایین دست سرریز سدها بشمار می‌آید. از سازه جام پرتابی در

سرریزها از جمله مهم ترین سازه‌های هیدرولیکی برای انتقال آب اضافی مخزن سدهای بزرگ و نیز عبور جریان در سدهای کوچک مانند سدهای انحرافی طراحی و اجرا می‌شوند. با توجه به وظیفه مهم سرریزها در انتقال آب و پایداری سدها سرریزها اغلب سازه هایی پایدار و با کارایی بالا انتخاب می‌شوند که هر لحظه بتوانند قابل بهره برداری باشند. کنترل سرعت جریان در سامانه‌های هیدرولیکی یکی از فراسنجه‌های مهم تلقی می‌شود و ضروری است تا سرعت جریان در طول سرریز نیز برای شرایط مختلف بهره‌برداری در محدوده قابل قبولی قرار گیرد تا از رخداد حفره زایی و تخریب جلوگیری شود (Chanson, 2004). در پایین دست سرریزها که بالاترین انرژی جنبشی را دارند،

هو را حدود پنج درجه توصیه کرد.

Joun and Hager (2006) نیز نظریه زیر را ارائه دادند. پرتاب کننده‌های جامی هم به صورت یک آبراهه منشوری مستطیل شکل و هم به صورت جام دارای یک منحرف کننده جریان جانبی، ارزیابی شده است. همچنین Helleret et al. (2006) بیشینه فشار و محل رخداد آن را بررسی کردند.

Momeni-Vesalian et al. (2006) آبشستگی ناشی از جت‌های مستطیلی در پایین دست 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.

Steiner et al. (2008) نیز اثر مقیاس در مدل‌های هیدرولیکی، پراکنش فشار در باکت، تراژکتوری جریان، شرایط ایجاد امواج شوکی و رابطه‌ها آب بند شدگی در جام‌ها بررسی کردند. آن‌ها همچنین پراکنش فشار در مستهلک کننده‌های پرش اسکی با جام مثلی شکل توسط مدل آزمایشگاهی را نیز بررسی کردند.

Lashkarara et al. (2008) با استفاده از شبکه‌های عصبی به پیش بینی میزان آبشستگی پایین دست جام‌های پرتابی پرداختند.

Barani and Bahrami (2009) تغییرپذیری‌ها غلظت هوا در جریان‌های عبوری از روی تنداب را به صورت مدل عددی بررسی کردند. در این بررسی از مدل عددی Flow 3D برای تعیین معادله‌های تغییرهای غلظت هوای لایه زیرین جریان در حالتی که هوادهی طبیعی با استفاده از منحرف کننده صورت گرفته است استفاده شد.

Karimi-Pashaki et al. (2010) با بررسی مدل‌های شبیه سازی جریان دومرحله‌ای در جت پرتابی به صورت تحلیل و ضمن بررسی ماهیت آشفته جریان در جت پرتابی انواع مدل‌های شبیه سازی جریان‌های دو فازی شامل مدل‌های مبتنی بر تحلیل‌های لاگرانژی و اولری را بررسی کردند و در این زمینه روش‌های Mixture و VOF را به عنوان روش‌های برتر در بررسی جریان‌های دوفازی شناختند.

Safavi et al. (2010) به مطالعه آزمایشگاهی جام‌های پرتابی

محل‌هایی که سرعت جریان بیش از ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه بوده و امکان ایجاد پدیده جداخوردگی فرسایش و همچنین نیروی زیر فشار وجود داشته باشد استفاده کنند (Heller et al., 2005).

در سال ۱۸۹۰ یکی از ابتدایی‌ترین سامانه‌های جام بر روی سد ویرنیو در فرانسه اجرا شد. اما برابر با نظر کوین ۱۹۵۱ نخستین سامانه پرتاب کننده جامی شکل بر روی سد در رودخانه دوردوقن در سال ۱۹۳۵ واقع در مرجس فرانسه اجرا شد. در سال ۱۹۵۳ تحقیقات گسترده‌ای در زمینه طراحی سازه پرتاب کننده جامی شکل توسط Wilson (1953) صورت گرفت. بررسی‌های او در آغاز بر روی شکل جت پرتاب کننده جامی ونحوه آبشستگی پایین دست پرتاب کننده جامی با هندسه صاف صورت گرفت.

همچنین Baloffet (1961) با استفاده از مدل پتانسیل جریان (به عنوان مثال خطوط جریان متحدالمرکز در جام)، به این نتیجه پی برد که اگر نسبت عمق جریان ( $h_0$ ) در بجام به شعاع انحنا ( $R$ ) به نسبت کوچک باشد بیشترین بار آبی فشار به طور میانگین ۴ درصد بزرگ تر از بار آبی فشار محاسبه شده است.

Tierney and Henderson (1963) نشان دادند که برای نسبت‌های کوچک  $h_0/R$  با استفاده از نظریه گرداب پتانسیلی بین محاسبه‌ها دوبرعدی و مشاهده‌ها سازگاری قابل قبول و مناسبی وجود دارد، مشروط بر این که زاویه انحراف دست کم ۴۵ درجه باشد. Chen and Yu (1965) پراکنش فشار در امتداد یک جام استوانه را با استفاده از معادله‌ها پتانسیل جریان محاسبه نمودند.

Lenua and Cassidy (1969) روش Chen and Yu (1965) را اصلاح نمودند. آنان نشان دادند که گرانیروی در جریان جام ناچیز است. ماسون در سال ۱۹۸۴ نظریه برای فرم پرش اسکی ارائه داد. وی شکل پرش اسکی را پس از تحقیقات گسترده به طور کلی بر مبنای سرعت و دبی جریان محدود کرد.

همچنین خلاصه‌ای از توصیه‌های طراحی جام توسط Mason (1993) ارائه شد، ایشان شعاع باکت را دست کم سه تا پنج برابر عمق جریان ورودی و زاویه لبه یا زاویه برخاست را بین ۲۰ تا ۳۵ درجه و زاویه گسترش جت در

Daneshfaraz et al. (2020) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر بستر زبر بر روی سرریز اوجی در دو زاویه فرود ۳۲ و ۵۲ درجه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان استهلاك انرژی در زویه ۳۲ درجه چیزی حدود ۱۵.۴ درصد و در زاویه ۵۲ درجه به اندازه ۹.۵ درصد افزایش می‌یابد.

Mirsalari and Shafaei-Bejestan (2020) نیز به بررسی تاثیر شمار منحرف کننده غیر ممتد بر میزان استهلاك انرژی و طول پرتابه پرداخته و مشاهده کردند که پرتاب کننده جامی به همراه سه دفلکتور عملکرد به نسبت همانند با چهار منحرف کننده نسبت به حالت دو منحرف کننده را دارد. آنها در نهایت به این نتیجه رسیدند که وجود ۴ دفلکتور عملکرد بهتری را در کاهش طول پرتابه و افزایش میزان استهلاك انرژی دارد.

مرور منبع ها نشان می‌دهد که استفاده از منحرف کننده در ابتدای انحنا سازه جامی بعنوان یکی از راهکارهای افزایش استهلاك انرژی و کاهش طول پرتابه در دهه گذشته مورد توجه محققین قرار گرفته است. تا کنون تمرکز محقق ها بر انتخاب هندسه منحرف کننده و در موقعیت ابتدایی جام بوده است. از طرفی تغییر موقعیت نصب آن نیز می‌تواند در افزایش بیشتر استهلاك انرژی و به ویژه کاهش طول پرتابه موثر باشد که هدف اصلی این بررسی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

به منظور دستیابی به هدف‌های این تحقیق در آغاز پارامترهای موثر بر پدیده شناسایی و آن‌گاه با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه کلی شامل فراسنجه‌های بی بعد استخراج شدند. پارامترهای موثر عبارت اند از:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = f(\rho, \mu, g, H, v, L_x, \sigma, V_c, \Theta, L, R) \quad (1)$$

که در آن  $\frac{\Delta H}{H_0}$ : استهلاك انرژی؛  $\rho$ : جرم حجمی آب،  $\mu$ : لزجت پویایی آب،  $g$ : شتاب ثقل،  $H$ : بارآبی مخزن نسبت به تاج سرریز،  $v$ : سرعت جریان نزدیک شونده به جام،  $L_x$ : فاصله طولی منحرف کننده از لبه جام،  $\sigma$ : کشش

در پایانه سرریزهای آزاد و دریچه دار پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که نحوه بهره برداری از سرریز، به ازا دی‌های کوچک، تأثیر زیادی در طراحی جام‌ها دارد و ممکن است پرش هیدرولیکی تشکیل شده بر روی جام، در دی‌های اولیه سیلاب، ایمنی جام را به خطر اندازد.

Erpicum et al. (2010) به بررسی تاثیر جداکننده در پرتابکننده بر هندسه حوضچه استغراق پرداختند و نشان دادند که به طور کلی جداکننده سبب کاهش طول حوضچه و در نتیجه کاهش هزینه اقتصادی می‌شود.

Akbari et al. (2011) جریان بر روی پرتاب کننده جامی را به روش حجم محدود مدل سازی کردند و ویژگی های جریان شامل فشار و سرعت را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند.

Omidvarinia and Moosavi-Jahromi (2013) به بررسی تأثیر منحرف کننده ممتد بر تجزیه جت در سرریزهای جامی مثلثی پرداخته است. که نتایج نشان دهنده افزایش میزان استهلاك انرژی در پرتاب کننده مثلثی بدون دفلکتور نسبت به حالت معمول جامی شکل می‌باشد.

Lucas et al. (2013) به بررسی تاثیر منحرف کننده بر پرتابه با هدف یافتن شکل ساده ای برای دفلکتور و هم چنین بررسی ویژگی ها پارامترهای مسیر پرتابه پرداختند. نتایج آزمایش‌ها آنان نشان داد که عدد فرود نزدیک شونده و نیز ارتفاع نسبی منحرف کننده تاثیر بسزایی در منحنی پرتابه دارد.

Sadeghi and Moosavi-Jahromi (2014) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه دفلکتورهای ممتد بر استهلاك انرژی در سرریز جامی شکل دایره ای پرداخت که نتایج این تحقیقات نشان داد که با افزایش عدد فرود درصد هدرفت انرژی افزایش یافته و هدرروی انرژی با وجود منحرف کننده ممتد بیشتر از حالت شاهد است.

Navaei et al. (2016) نیز به بررسی آزمایشگاهی تأثیر جام پرتابی در انتهای سرریز اوجی بر میزان هدرروی انرژی و هم چنین طول پرتابه پرداختند. نتایج این بررسی گویای افزایش ۴ تا ۱۸ درصدی استهلاك انرژی نسبت به حالت بدون جام و افزایش افت انرژی با کاهش شعاع باکت بود.

نمای کلی عملکرد پرتاب کننده جامی شکل به همراه مانع و نیز برخی از فراسنجه‌های موثر را نشان می‌دهد.

سطحی،  $Y_c$ : عمق بحرانی جریان،  $\Theta$ : زاویه منحرف کننده‌ها،  $L$ : طول موانع و  $R$ : شعاع جام می‌باشد. شکل ۱

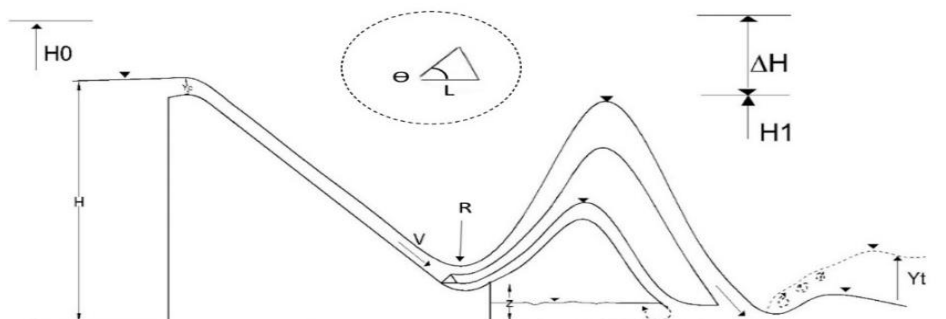


Fig. 1 Installation of deflectors on flip bucket spill way  
شکل ۱ نمایی از نحوه نصب مانع‌ها بر روی سرریز جامی شکل

## ۲-۲- برنامه آزمایشگاهی

برای رسیدن به هدف این بررسی آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی-هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز در فلومی از جنس پلاکسی گلاس با مقطع مستطیلی شکل و طول ۷۵۰ و عرض ۵۶ و ارتفاع ۶۰ سانتی متر انجام شدند. سامانه گردش آب فلوم به صورت مدار بسته بوده و آب مورد نیاز از طریق مخزن‌ها مرتبط به هم تعبیه شده در کنار فلوم تامین می‌شود. جریان ورودی از طریق پمپ موجود در بالادست فلوم تامین شده و میزان دبی جریان به وسیله یک دبی سنج دیجیتالی با دقت  $\pm 0.1$  لیتر بر ثانیه پیش از ورود به مخزن آرام کننده اندازه‌گیری می‌شود. این فلوم دارای یک شیر فلکه برای تنظیم دبی جریان می‌باشد. همچنین یک دریچه در پایین دست جهت تنظیم تراز پایاب مستقر می‌باشد. برای اندازه‌گیری نیمرخ سطح آب نیز از یک ژرفا سنج استفاده شده است. سرریز اوجی برابر استاندارد USBR با ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر، طول ۹۰ سانتی‌متر، ارتفاع لبه جام تا کف فلوم ۳۹ سانتی‌متر و شعاع ۱۴ سانتی‌متر از جنس ورق گالوانیزه برای دبی طرح ۵۰ لیتر بر ثانیه ساخته و در محل موردنظر نصب شد. در ادامه نمایی سه بعدی از سرریز مورد استفاده در آزمایش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

از آنجا که ابعاد منحرف کننده شامل طول ( $L$ )، زاویه ( $\Theta$ ) و نیز شعاع جام ( $R$ ) در همه آزمایش‌ها یکسان می‌باشد از رابطه ۱ حذف و با انجام تحلیل ابعادی با دیگر متغیرها و استفاده از روش پی باکینگهام رابطه کلی (۲) به دست آمد:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = f\left(\frac{v^2}{gH}, R_e, W_e, \frac{Y_c L_x}{H^2 H}\right) \quad (2)$$

باتوجه به این که در سراسر آبراهه و سرریز در همه آزمایش‌ها به ازای دبی‌های اعمال شده عدد رینالدز  $Re$  بزرگ تر از ۲۰۰۰ بوده و جریان در محدوده آشفته مشاهده شده لذا از سویی بدلیل وجود خطای زیاد در محاسبه عدد فرود در روی سرریز (موقعیت منحرف کننده)، بدلیل اختلاط هوا با آب و خطا در اندازه‌گیری عمق آب، در اینجا بجای عدد فرود از نسبت عمق بحرانی به بار آبی ( $Y_c/H$ ) استفاده شده است. در نتیجه پس از صرف نظر کردن از پارامترهای یاد شده رابطه بدون بعد به صورت رابطه (۳) خلاصه می‌شود:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = f\left(\frac{v^2}{gH}, \frac{Y_c L_x}{H^2 H}\right) \quad (3)$$

می‌توان از تاثیر عدد رینالدز صرف نظر کرد. (Rajaratnam, 1976). همچنین به علت اینکه عمق آب روی سرریز در همه ی آزمایش‌ها بیشتر از ۳ سانتی‌متر مشاهده شده است از اثر کشش سطحی  $\sigma$  و عدد وبر  $We$  هم می‌توان چشم‌پوشی کرد (Novak et al., 2006).



Fig. 4 A view of deflectors on flip bucket

شکل ۴ نمایی از منحرف کننده‌ها بر روی سرریز جامی شکل

در این بررسی تمرکز بر روی موقعیت نصب منحرف کننده‌ها و فاصله قرارگیری آن‌ها تا لبه جام می‌باشد. آزمایش‌ها با هشت دبی معادل ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۳ و ۳۵ لیتر بر ثانیه و ۴ موقعیت نصب متفاوت و یک حالت بدون مانع به عنوان حالت شاهد انجام شدند. در حالت نخست منحرف کننده‌ها دقیقاً در قسمت انتهایی سرریز نقطه آغاز پرتاب کننده جامی به فاصله طولی ۲۶ سانتی متر از لبه جام نصب شدند. در حالت دوم آن‌ها به اندازه یک برابر طول ضلع منحرف کننده معادل ۶ سانتی متر و به فاصله طولی ۳۲ سانتی متر از لبه جام جابه جا شدند. در حالت سوم منحرف کننده‌ها به اندازه دو برابر طول ضلع منحرف کننده معادل ۱۲ سانتی متر و به فاصله طولی ۳۸ سانتی متر و در حالت چهارم به اندازه سه برابر ضلع منحرف کننده معادل ۱۸ سانتی متر و به فاصله طولی ۴۴ سانتی متر از لبه جام قرار داده شدند (شکل ۵). در ادامه نمای کلی از موقعیت نصب منحرف کننده‌ها در طول سرریز نشان داده شده است.

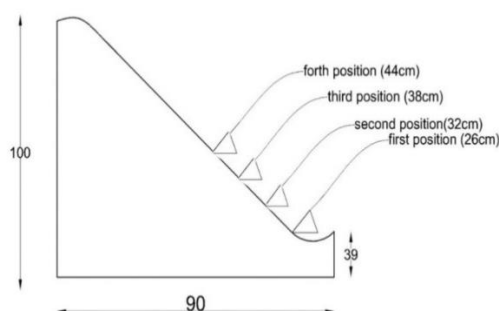


Fig. 5 A view of deflectors on flip bucket in all experiments

شکل ۵ تصویر کلی از محل قرارگیری منحرف کننده‌ها بر روی سرریز در هر آزمایش

جدول ۱ محدوده تغییرپذیری‌های متغیرهای استفاده شده

Table 1 Dimensions, and hydraulic experimental and numerical parameters

Rang of changes	Q (l/s)	L (cm)	$\theta$	Y(cm) depth of water	Re
Minimum	10	10	47	3.2	7538
Maximum	35	30	47	10	43035

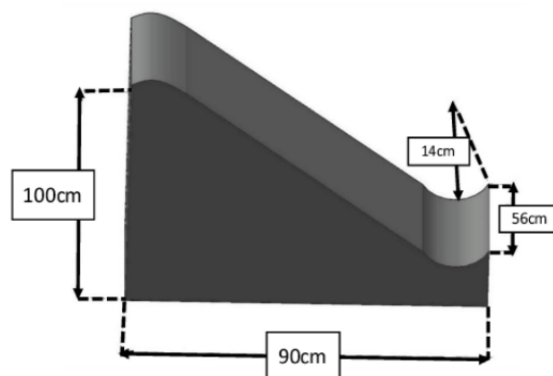


Fig. 2 A 3D view of flip bucket Spillway

شکل ۲ نمای سه بعدی از سرریز جامی شکل

شمار ۳ منحرف کننده مثلثی شکل و به استناد بررسی‌های پیشین با طول ۶ و ارتفاع ۱۰ سانتی متر و زاویه ۴۷ درجه از جنس ورق تفلون ساخته شد. (شکل ۳). برای این منحرف کننده‌ها نگهدارنده‌هایی گوه‌ای شکل از جنس ورق گالوانیزه با مقطع مثلث قائم الزاویه تهیه شد. منحرف کننده‌ها به پایه‌ها پیچ و پایه‌ها با استفاده از چسب اکواریوم ضد آب در امتداد عرض پرتاب کننده جامی نصب شدند (شکل ۴).

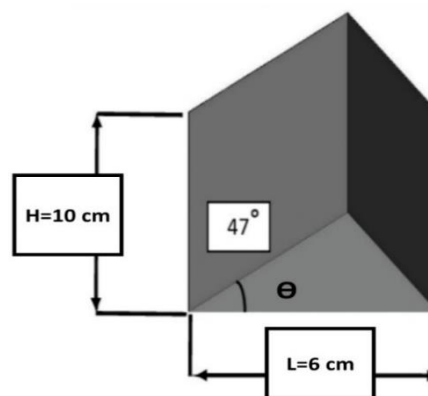


Fig. 3 A 3D view of deflector

شکل ۳ نمای سه بعدی از منحرف کننده



فراسنجه بدون بعد  $Lx/L$  که در آن  $Lx$  فاصله طولی منحرف کننده تا لبه جام و  $L$  اندازه بعد ضلع منحرف کننده (شکل ۷) می باشد، استفاده شده است.

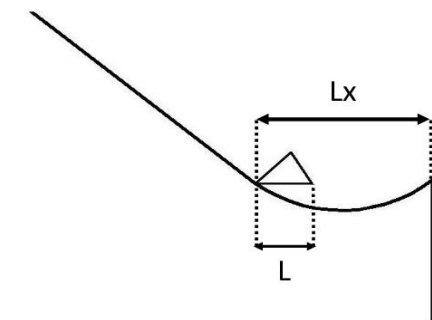


Fig. 7 A view of the dimensionless parameter  $Lx/L$   
شکل ۷ نمایی از فراسنجه بدون بعد  $Lx/L$

### ۳- نتایج و بحث

در این پژوهش برای بررسی نتایج درصد استهلاک انرژی در مقابل پارامتر بدون بعد  $Yc/H$  با انجام ۴۰ سری آزمایش مختلف و محاسبه انرژی در بالادست و پایین دست پرتاب کننده جامی شکل درهشت نسبت  $Yc/H$  برابر با 0/0027، 0/035، 0/043، 0/049، 0/054 و 0/061 و نصب سه عدد منحرف کننده به صورت غیر ممتد در چهار فاصله طولی متفاوت و یک حالت بدون حضور منحرف کننده به عنوان شاهد منحنی های استهلاک انرژی و طول پرتابه ترسیم شد. نتایج حاصل از بررسی داده ها به شرح زیر می باشد.

#### ۳-۱- نتایج مربوط به استهلاک انرژی جریان در

##### حالت بدون منحرف کننده (شاهد)

شکل ۸ نتایج مربوط به استهلاک انرژی در آزمایش های شاهد را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود با افزایش دبی نسبت  $Yc/H$  افزایش و استهلاک انرژی کاهش می یابد که خود نشان دهنده کاهش کارایی سازه در دبی های بالا می باشد. بیشترین میزان استهلاک انرژی در  $Yc/H$  برابر ۰/۰۲۷ معادل ۶۲/۴ درصد و کمترین میزان هدر روی انرژی در  $Yc/H$  برابر ۰/۰۶۱ معادل ۵۷/۳ درصد مشاهده شد.

فاصله قرارگیری منحرف کننده ها از لبه جام به صورت سعی و خطا و با انجام آزمایش های مقدماتی تعیین شد و همچنین آزمایش ها تا جایی ادامه پیدا کردند که شرایط به گونه ای باشد که جت خروجی به حتم در کانال پایین دست جام فرود آید نه بر روی جام. چگونگی انجام آزمایش ها بدین صورت بود که در هر مرحله از آغاز پمپ آب روشن و جریان وارد فلوم می شد و آن گاه دبی مدنظر با استفاده از شیر فلکه و دبی سنج دیجیتالی تنظیم می شد. همچنین دریچه کشویی پایین دست فلوم به منظور دستیابی به عمق پایاب مورد نظر به تدریج بسته می گردید. با بسته شدن دریچه و استفاده از رابطه اعماق مزدوج، عمق آب بالادست پرش تعیین و عمق پایاب در این عمق ثابت نگه داشته می شد. نمایی از چگونگی تشکیل پرش هیدرولیکی در شکل ۶ نشان داده شده است.



Fig. 6 A view of hydraulic jump  
شکل ۶ نمایی از چگونگی تشکیل پرش هیدرولیکی

در ادامه میزان انرژی کل در بالادست و پایین دست سرریز جامی از رابطه های (۴) و (۵) تعیین و با محاسبه اختلاف آنها، میزان درصد هدر رفت انرژی محاسبه شد. در نهایت به کمک رابطه (۶) رابطه بدون بعدی برای تعیین میزان استهلاک انرژی ارائه شد:

$$H_0 = Z_0 + Y_0 + \frac{V_0^2}{2g} \quad (4)$$

$$H_1 = Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta H}{H_0} = f\left(\frac{v^2}{gH}, \frac{Yc}{H}, \frac{Lx}{H}\right) \quad (6)$$

همچنین برای بررسی تاثیر موقعیت منحرف کننده از



منحرف کننده نیز مشاهده شد. همچنین با کاهش  $Lx/H$  میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد (شکل شماره ۱۰). میزان هدر روی انرژی در حالت شماره ۱ در  $Lx/L=4/3$  در مقایسه با حالت شاهد بیشتر می‌باشد که علت آن تقسیم شدن جت جریان توسط منحرف کننده به دو جت کوچکتر شامل جت عبوری از روی منحرف کننده‌ها و جت عبوری از لبه جام می‌باشد. این باعث می‌شود تا اختلاط با هوا افزایش یابد و همچنین دو جت نیز با هم برخورد کنند که منجر به به افزایش استهلاک انرژی می‌شود (شکل شماره ۱۰).



Fig. 10 A view of two jets created by deflectors.

شکل ۱۰ نمایی از دو جت ایجاد شده تحت تاثیر منحرف کننده

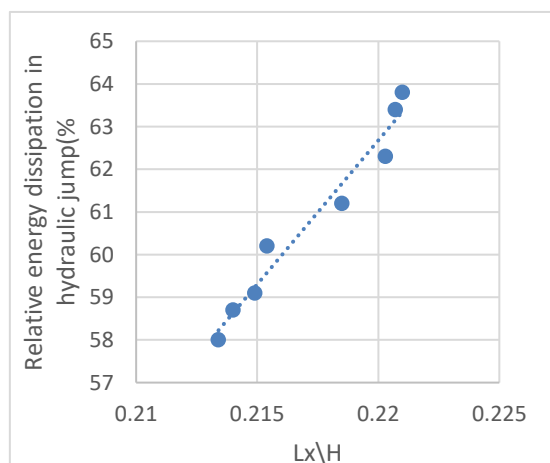


Fig. 11 Energy dissipation in first position versus  $Lx/H$   
شکل ۱۱ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در موقعیت نصب شماره ۱

با توجه به شکل ۱۱ بیشترین میزان استهلاک انرژی برای حالت نصب شماره ۱ در  $Yc/H$  برابر  $0.27$  و  $Lx/H$  برابر

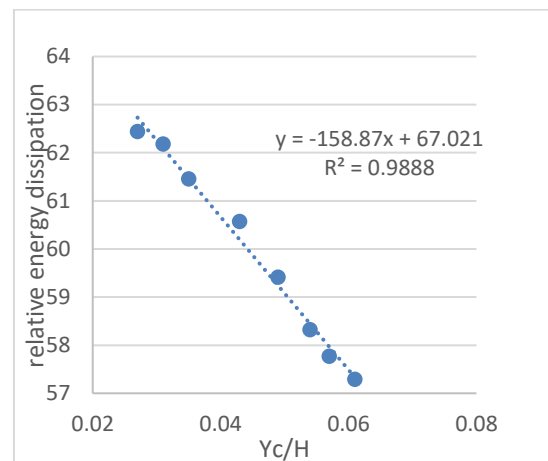


Fig. 8 Energy dissipation in deflector-free experiments versus  $Yc/H$

شکل ۸ تغییرپذیری استهلاک انرژی نسبت به  $Yc/H$  در حالت بدون منحرف کننده

### ۳-۲- نتایج مربوط به استهلاک انرژی جریان با وجود منحرف کننده

#### ۳-۲-۱- موقعیت نصب شماره ۱ در $Lx/L=4/3$

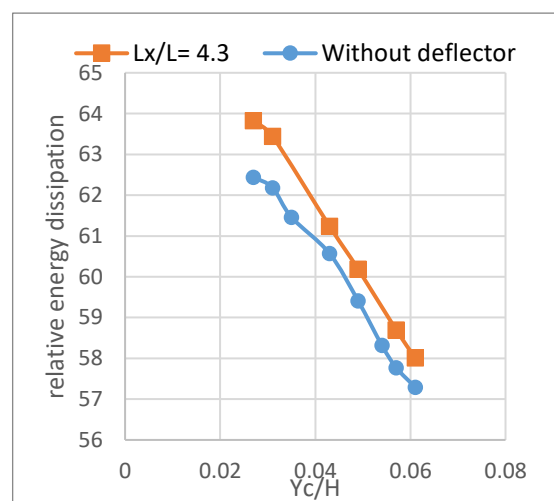


Fig. 9 Energy dissipation in first position versus  $Yc/H$   
شکل ۹ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Yc/H$  در موقعیت نصب شماره ۱

شکل ۹، میزان تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی را نسبت به پارامتر بدون بعد  $Yc/H$  نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود در حالت کلی با افزایش پارامتر بدون بعد  $Yc/H$  در همه آزمایش‌ها میزان استهلاک انرژی کاهش یافته است. این روند نزولی برای حالت بدون

۰/۲۲۱ معادل ۶۳/۸ درصد و کمترین میزان هدر روی در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۶۱ و  $Lx/H$  برابر ۰/۲۱۳۴ معادل ۵۸ درصد مشاهده شد.

۳-۲-۲- موقعیت نصب شماره ۲ در  $Lx/L=5/3$

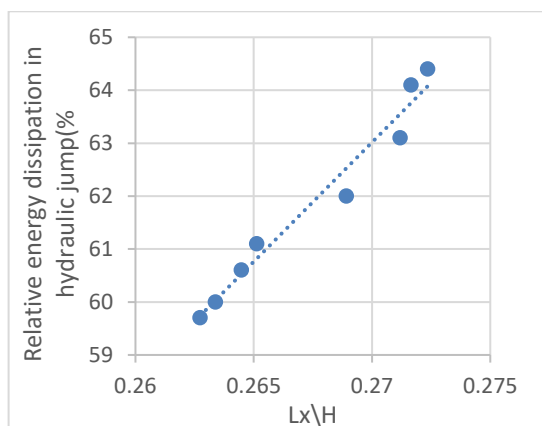


Fig. 13 Energy dissipation in second position versus  $Lx/H$

شکل ۱۳ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در موقعیت نصب شماره ۲

۳-۲-۳- موقعیت نصب شماره ۳ در  $Lx/L=6/3$

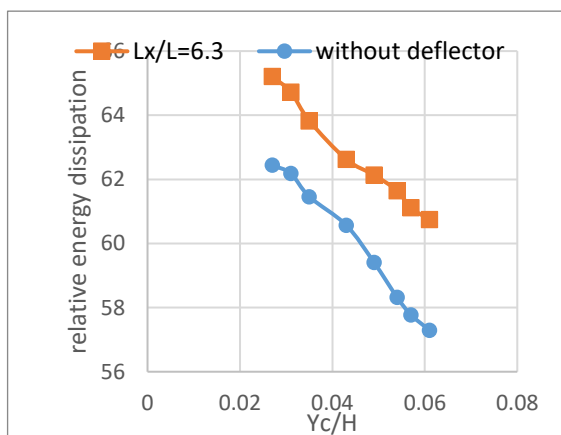


Fig. 14 Energy dissipation in third position versus  $Y_c/H$   
شکل ۱۴ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Y_c/H$  در موقعیت نصب شماره ۳

در شکل ۱۴ روند تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Y_c/H$  برای حالت نصب ۳ نشان داده شده است. همانند حالت‌های پیشین (موقعیت نصب شماره ۱ و ۲ و شاهد) با افزایش مقدار  $Y_c/H$  و کاهش مقدار  $Lx/H$  استهلاک انرژی نسبتی کاهش یافته است. میزان استهلاک انرژی در حالت ۳ در مقایسه با حالت ۱ و ۲ افزایش زیادی داشته که خود دلیلی بر تاثیر مثبت و مستقیم افزایش فاصله طولی از لبه جام بر میزان هدر روی انرژی در نتیجه افزایش ارتفاع اختلاط جت‌های پرتابی با هوای محیط پیرامون می‌باشد. شکل ۱۴ نشان می‌دهد که

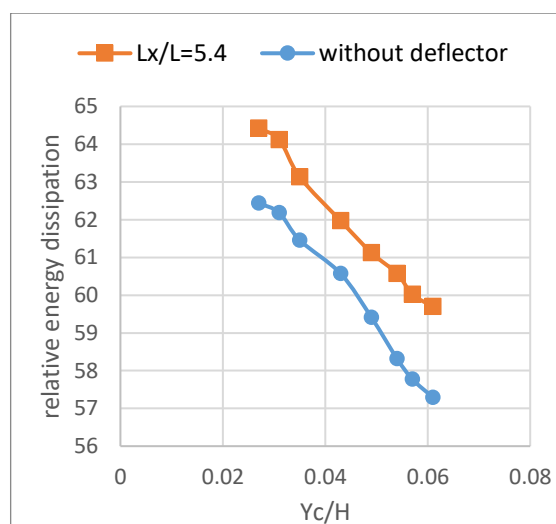
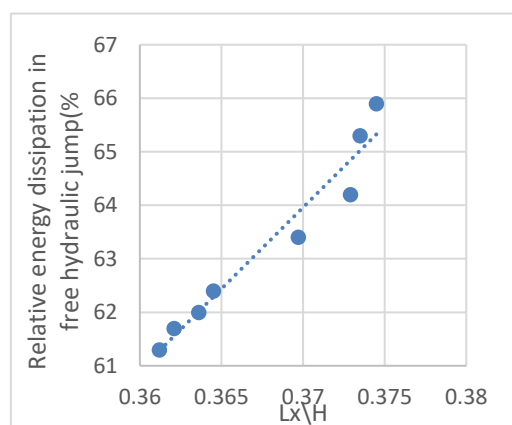


Fig. 12 Energy dissipation in second position versus  $Y_c/H$

شکل ۱۲ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Y_c/H$  در موقعیت نصب شماره ۲

شکل ۱۲ نشان دهنده تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی در حالت نصب شماره ۲ نسبت به  $Y_c/H$  می‌باشد. با توجه به شکل‌های شماره ۱۲ و ۱۳، با افزایش  $Y_c/H$  و کاهش  $Lx/H$  همانند حالت‌های قبل (شاهد و حالت ۱) میزان استهلاک انرژی کاهش می‌یابد. هم چنین میزان تلفات انرژی در  $Y_c/H$  برای حالت ۲ در مقایسه با حالت ۱ بیشتر است زیرا با افزایش فاصله طولی منحرف‌کننده‌ها نسبت به لبه جام سطح تماس جت‌های پرتابی (جت عبوری از منحرف کننده و پرتاب کننده) و میزان اختلاط آنها با هوای محیط اطراف افزایش پیدا کرده در نتیجه باعث بیشتر شدن استهلاک انرژی می‌گردد. با بررسی نمودار مشخص گردید که بیشترین میزان استهلاک انرژی برای حالت ۲ در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۲۷ و  $Lx/H$  برابر ۰/۲۷۲۳۴ معادل ۶۴/۴ درصد و کمترین میزان آن در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۶۱ و  $Lx/H$  برابر ۰/۲۶۲۷۲۶ معادل ۵۹/۷ درصد می‌باشد.

نزولی در تمامی آزمایش‌های انجام شده نیز مشاهده شد. همچنین نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها نشان دهنده افزایش حداکثری میزان استهلاک انرژی در مقایسه با همه‌ی آزمایش‌ها می‌باشد. این نتیجه گویای آن است که نصب منحرف کننده در فاصله‌ای به اندازه 44cm از لبه جام بیشترین کارایی را در استهلاک انرژی دارد. بیشترین میزان استهلاک انرژی در  $Lx/L=7/3$  در  $Yc/H$  برابر  $0.27$  و  $Lx/H$  برابر  $0.3745$  معادل  $65/9$  درصد و کمترین میزان آن در  $Yc/H$  برابر  $0.61$  و  $Lx/H$  برابر  $0.3612$  معادل  $61/3$  درصد می‌باشد.

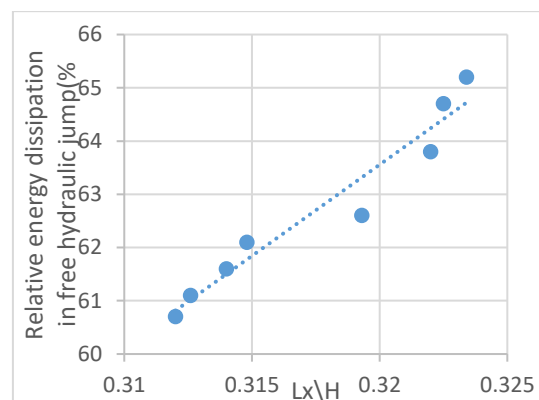


**Fig. 17** Energy dissipation in fourth position versus  $Lx/H$  شکل ۱۷ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در موقعیت نصب شماره ۴

### ۳-۳- مقایسه میزان تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی در آزمایش‌های با منحرف کننده با حالت بدون مانع نسبت به پارامترهای بدون بعد $Yc/H$ و $Lx/H$

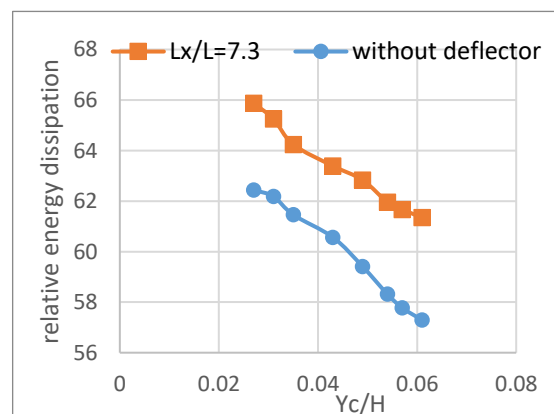
به منظور تحلیل بهتر داده‌ها و رسیدن به یک نتیجه گیری کلی روند تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Yc/H$  برای همه‌ی آزمایش‌ها (موقعیت نصب شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ و حالت شاهد) در شکل شماره ۱۸ ترسیم شد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش  $Yc/H$  در همه‌ی آزمایش‌های انجام شده درصد استهلاک انرژی کاهش می‌یابد. همچنین روند تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به پارامتر بدون بعد  $Lx/H$  برای همه‌ی آزمایش‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. با

بیشترین میزان هدر رویی انرژی در  $Lx/L=6/3$  در  $Yc/H$  برابر  $0.27$  و  $Lx/H$  برابر  $0.312$  معادل  $65/2$  درصد و کمترین میزان استهلاک انرژی جریان در  $Yc/H$  برابر  $0.61$  و  $Lx/H$  برابر  $0.3234$  معادل  $60/7$  درصد می‌باشد. در ادامه در شکل ۱۴ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به پارامترهای بدون بعد  $Lx/H$  نشان داده شده است.



**Fig. 15** Energy dissipation in third position versus  $Lx/H$  شکل ۱۵ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در موقعیت نصب شماره ۳

### ۳-۲-۴- موقعیت نصب شماره ۴ در $Lx/L=7/3$



**Fig. 16** Energy dissipation in fourth position versus  $Yc/H$  شکل ۱۶ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Yc/H$  در موقعیت نصب شماره ۴

شکل‌های ۱۶ و ۱۷ به بررسی تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به دو پارامتر بدون بعد  $Yc/H$  و  $Lx/H$  پرداخته است. همان طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش مقدار  $Yc/H$  و کاهش  $Lx/H$  هدر رفت انرژی روند کاهشی داشته است. لازم به یادآوری است که روند

فاصله طولی از لبه جام بیشتر شود اهدررفت انرژی نیز به دلیل افزایش سطح تماس جت‌های خروجی از پرتاب کننده بیشتر می‌شود. به عبارتی هرچه فاصله طولی از لبه جام بیشتر شود میزان اوج گیری و ارتفاع پرتابه نسبت به کف فلوم بیشتر شده و افزون بر افزایش میزان اختلاط آن با هوای محیط پیرامون به عنوان عامل مقاوم حرکت باعث افزایش شدت برخورد جت‌های عبوری با کف و کاهش سرعت گشته و هدر رفت انرژی را نسبت به آزمایش‌ها با فاصله طولی کمتر، افزایش می‌دهد. در ادامه جدول مربوط به مقایسه تغییرات میزان استهلاک انرژی در تمام آزمایش‌ها به همراه منحرف کننده در مقایسه با حالت بدون منحرف کننده نسبت به فراسنجه بدون بعد  $Lx/H$  آورده شده است.

توجه به جدول در هر آزمایش با افزایش نسبت  $Lx/H$  میزان استهلاک انرژی نیز افزایش می‌یابد. در یک دبی ثابت با افزایش میزان  $Lx/H$  استهلاک انرژی نسبت به حالت پیشین در همان دبی افزایش یافته است لازم به یادآوری است که نسبت  $Lx/H$  به علت افزایش فاصله طولی در هر مجموعه آزمایش نسبت به مجموعه پیشین افزایش می‌یابد. در مجموع عملکرد پرتاب کننده جامی شکل با منحرف کننده بهتر از حالت بدون منحرف کننده ارزیابی شد. با مقایسه مقدار هدر رفت انرژی در همه‌ی حالت‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین هدررفت انرژی مربوط به موقعیت نصب شماره ۴ در  $Lx/L=7/3$  و کمترین میزان مربوط به حالت بدون منحرف کننده یا همان شاهد می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که هر چه

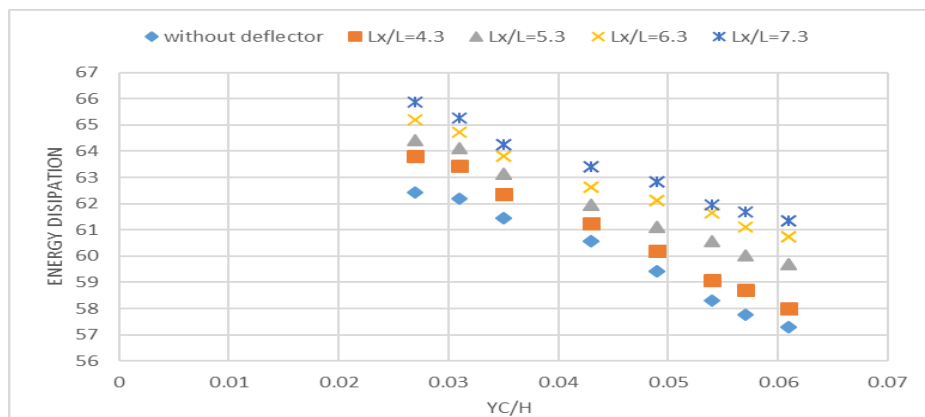


Fig 18 A general changes of energy dissipation versus  $Lx/H$  in all experiments

شکل ۱۸ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در همه‌ی آزمایش‌ها

جدول ۲ تغییرپذیری‌های استهلاک انرژی نسبت به  $Lx/H$  در همه‌ی آزمایش‌ها

Table 2 A general changes of energy dissipation versus  $Lx/H$  in all experiments

Q(l/s)	Without deflector	First position		Second position		Third position		Forth position		
		$Lx/H$	Energy dissipation	$Lx/H$	Energy dissipation	$Lx/H$	Energy dissipation	$Lx/H$	Energy dissipation	
35	0	57.29	0.2134	58	0.2627	59.7	0.3120	60.7	0.3612	61.3
33	0	57.77	0.214	58.7	0.2633	60.0	0.3126	61.1	0.3621	61.7
30	0	58.32	0.2149	59.1	0.2644	60.6	0.3140	61.6	0.3636	62.0
25	0	59.41	0.2154	60.2	0.2651	61.1	0.3148	62.1	0.3645	62.4
20	0	60.57	0.2185	61.2	0.2689	62.0	0.3193	62.6	0.3697	63.4
15	0	61.46	0.2203	62.3	0.2711	63.1	0.3220	63.8	0.3729	64.2
12	0	62.19	0.2207	63.4	0.2716	64.1	0.3225	64.7	0.3735	65.3
10	0	62.44	0.221	63.8	0.2723	64.4	0.3234	65.2	0.3745	65.9

### ۳- نتایج مربوط به طول پرتابه

بررسی رفتار پرتابه هنگام خروج از پرتاب کننده جامی شکل یکی از مسائل بسیار مهم در طراحی و استفاده از پرتاب کننده جامی شکل می باشد. چنانچه پرتابه به درستی طراحی نشود و جت خروجی در محدوده مورد نظر تخلیه نشود آسیب های جبران ناپذیری به بار خواهد آمد. بطور مثال ممکن است محل برخورد جت ساحل مقابل باشد که در نتیجه باید با هزینه زیادی برای پایداری ساحل انجام شود. از این رو کاهش طول پرتابه در مواردی بسیار اهمیت دارد. به منظور تحقق هدف این پژوهش طول پرتابه در برابر  $Yc/H$  در هشت دبی برای حالت تشکیل پرش هیدرولیکی کلاسیک اندازه گیری شد. در همه ی آزمایش ها که در حضور منحرف کننده صورت گرفتند دو گروه پرتابه ناشی از عبور جت خروجی از روی منحرف کننده و سرریز بدون مانع تشکیل شد که به منظور حفاظت پایین دست که مهم ترین هدف این پژوهش می باشد. بلندترین جت خروجی از دو گروه ایجاد شده به عنوان طول پرتابه اصلی انتخاب شد.

### ۳-۱- نتایج مربوط به طول پرتابه در حالت بدون منحرف کننده (شاهد)

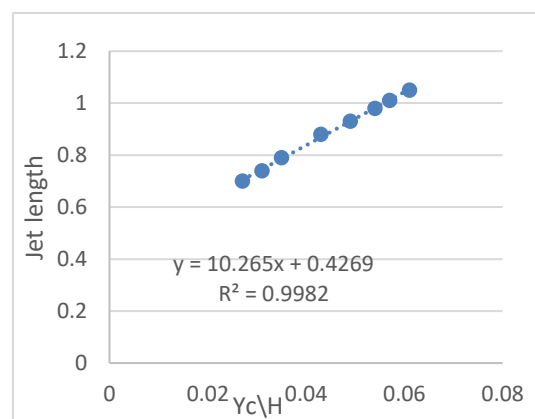


Fig. 19 Jet length in deflector-free experiments versus  $Yc/H$

شکل ۱۹ تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به  $Yc/H$  در حالت بدون منحرف کننده

شکل ۱۹ میزان تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به دبی جریان و  $Yc/H$  را در حالت بدون منحرف کننده یا

همان شاهد نشان می دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول رابطه ای مستقیم بین پارامترهای یاد شده وجود دارد به این معنی که با افزایش دبی جریان نسبت بدون بعد  $Yc/H$  و هم چنین مقدار طول پرتابه افزایش می یابد. که علت آن افزایش دبی ورودی و در نتیجه افزایش عمق آب و کاهش تنش برشی ارزیابی شد. بیشترین میزان طول پرتابه در  $Yc/H$  برابر  $0.061$  معادل  $1.05$  سانتی متر و کمترین طول در  $Yc/H$  برابر  $0.027$  معادل  $0.7$  سانتی متر می باشد.

### ۳-۲- نتایج مربوط به طول پرتابه با حضور منحرف کننده

#### ۳-۲-۱- نتایج مربوط به طول پرتابه در $Lx/L=4/3$

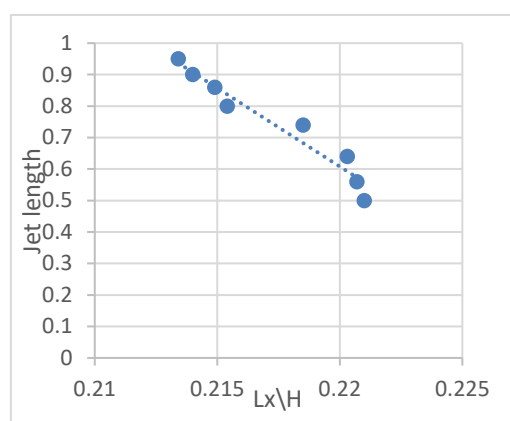


Fig. 20 Jet length in first position versus  $Lx/H$

شکل ۲۰ تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به  $Lx/H$  در حالت نصب شماره ۱

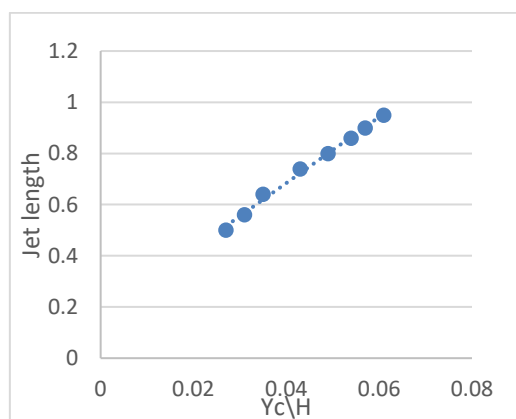
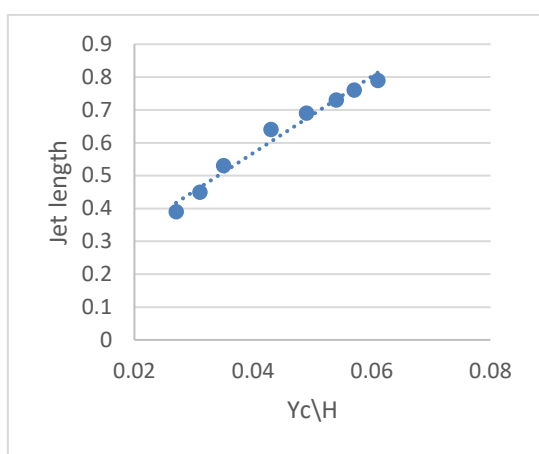


Fig. 21 Jet length in first position versus  $Yc/H$

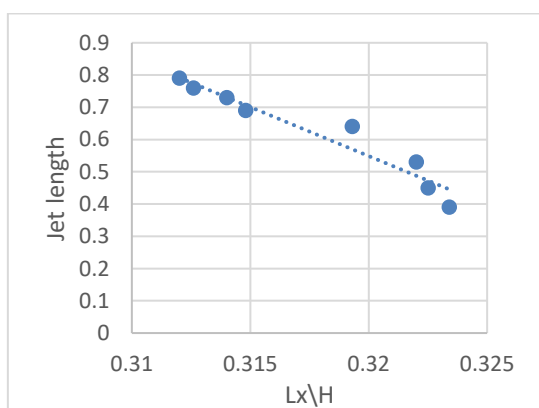
شکل ۲۱ تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به  $Yc/H$  در حالت نصب شماره ۱

داده شده است. در این حالت نیز همانند حالت‌های قبل با افزایش مقدار  $Y_c/H$  و کاهش  $L_x/H$  طول پرتابه نیز افزایش یافته است. با توجه به شکل‌های نشان داده شده بیشترین میزان طول پرتابه در  $Y_c/H$  برابر  $0.061$  و  $L_x/H$  برابر  $0.2627$  معادل  $89$  سانتی متر و کمترین آن در  $Y_c/H$  برابر  $0.027$  و  $L_x/H$  برابر  $0.27234$  معادل  $45$  سانتی متر ارزیابی شده است.

**۳-۲-۳- نتایج مربوط به طول پرتابه در  $L_x/L=6/3$**



**Fig. 24** Jet length in third position versus  $Y_c/H$   
 شکل ۲۴ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $Y_c/H$  در حالت نصب شماره ۳

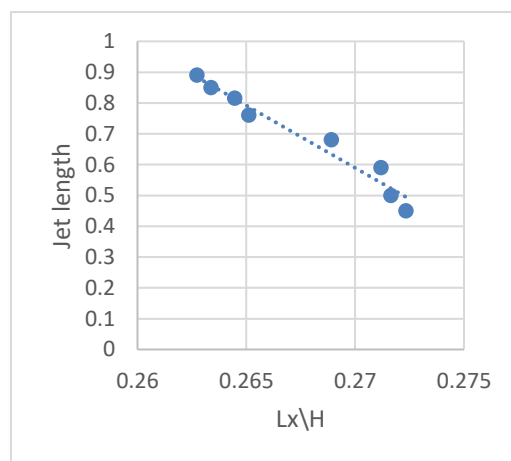


**Fig. 25** Jet length in third position versus  $L_x/H$   
 شکل ۲۵ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $L_x/H$  در حالت نصب شماره ۲

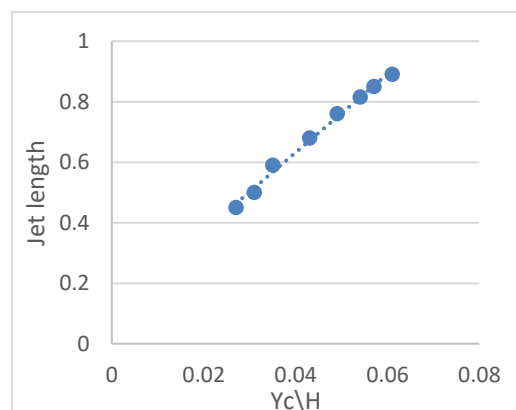
شکل‌های ۲۴ و ۲۵ به بررسی تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به تغییرپذیری‌های  $Y_c/H$  و  $L_x/H$  در موقعیت نصب شماره ۳ در  $L_x/L=5/3$  می‌پردازد. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود ارتباط مستقیمی بین نسبت

شکل‌های ۲۰ و ۲۱ روند تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $Y_c/H$  و  $L_x/H$  را برای موقعیت نصب شماره ۱ در  $L_x/L=4/3$  نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که موقعیت نصب شماره ۱ در  $L_x/L=4/3$  می‌باشد. با توجه به شکل‌ها با افزایش  $Y_c/H$  و کاهش  $L_x/H$  میزان طول پرتابه در همه‌ی آزمایش‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار طول پرتابه در  $Y_c/H$  برابر  $0.061$  و  $L_x/H$  برابر  $0.2134$  معادل  $95$  سانتی متر و کمترین طول در  $Y_c/H$  برابر  $0.027$  و  $L_x/H$  برابر  $0.221$  معادل  $50$  سانتی متر مشاهده گردید.

**۳-۲-۳- نتایج مربوط به طول پرتابه در  $L_x/L=5/3$**



**Fig. 22** Jet length in second position versus  $L_x/H$   
 شکل ۲۲ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $L_x/H$  در حالت نصب شماره ۲



**Fig. 23** Jet length in second position versus  $Y_c/H$   
 شکل ۲۳ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $Y_c/H$  در حالت نصب شماره ۲

در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ میزان تغییرات طول پرتابه خروجی از جام در موقعیت نصب شماره ۲ در  $L_x/L=5/3$  نشان

حالت‌های پیشین (حالت شاهد، ۱، ۲ و ۳) ارتباط مستقیمی بین  $Y_c/H$  و طول پرش هیدرولیکی وجود دارد. لازم به یادآوری است که طول جت خروجی در همه‌ی آزمایش‌های مربوط به حالت ۴ نسبت به آزمایش‌های پیشین کمتر مشاهده شد. بیشترین طول پرتابه در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۶۱ و  $L_x/H$  برابر ۰/۳۶۱۲ معادل ۷۱ سانتی‌متر و کمترین مقدار آن در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۲۷ و  $L_x/H$  برابر ۰/۳۷۴۵ معادل ۳۵ سانتی‌متر گزارش شد.

### ۳-۳- میزان تغییرپذیری‌های طول پرتابه در آزمایش‌های با منحرف کننده در مقایسه با حالت بدون منحرف کننده نسبت به پارامترهای بدون بعد $L_x/H$ و $Y_c/H$

پس از آنکه رفتار جت خروجی از پرتاب کننده در هر آزمایش به تفکیک بحث و بررسی شد حال به منظور دستیابی یک نتیجه‌گیری کلی به مقایسه و تحلیل طول پرتابه‌ها در همه‌ی آزمایش‌ها و جمع بندی کلی ارائه می‌شود. در شکل شماره ۲۸ تغییرپذیری‌های طول پرتابه در برابر  $Y_c/H$  برای تمامی آزمایش‌ها (موقعیت نصب شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و شاهد) رسم و مقایسه شده است. با توجه به شکل می‌توان دریافت که با افزایش  $Y_c/H$  طول پرتابه نیز افزایش می‌یابد. همچنین در یک  $Y_c/H$  ثابت با افزایش فاصله طولی از لبه جام طول پرتابه خروجی کاهش می‌یابد. با مقایسه طول پرتابه خروجی در همه‌ی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین طول پرتابه مربوط به حالت بدون منحرف کننده یا همان حالت شاهد و پس از آن به ترتیب موقعیت نصب شماره ۱ و موقعیت نصب شماره ۲ موقعیت نصب شماره ۳ و در نهایت کمترین طول پرتابه مربوط به موقعیت نصب شماره ۴ می‌باشد. علت اصلی این که پرتاب کننده جامی شکل در حضور منحرف کننده عملکرد بهتری را در کاهش طول پرتابه در مقایسه با پرتاب کننده بدون مانع دارد، در اصل وجود منحرف کننده‌های ضربه گیر در برابر جریان می‌باشد. در واقع برخورد جریان با منحرف کننده‌ها بخشی از انرژی جنبشی را به شدت کم می‌کند. در ادامه روند تغییرپذیری‌های مربوط به طول پرتابه نسبت به

$Y_c/H$  و طول پرتابه و رابطه معکوس با  $L_x/H$  وجود دارد. با افزایش میزان  $Y_c/H$  و کاهش  $L_x/H$  طول پرتابه همچنان افزایش می‌یابد. با بررسی نمودار مشخص شد که بیشترین میزان استهلاك انرژی در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۶۱ و  $L_x/H$  برابر ۰/۳۱۲، معادل ۷۹ سانتی‌متر و کمترین آن در  $Y_c/H$  برابر ۰/۰۲۷ و  $L_x/H$  برابر ۰/۳۲۳۴ معادل ۳۹ سانتی‌متر است.

### ۳-۲-۴- نتایج مربوط به طول پرتابه در $L_x/L=7/3$

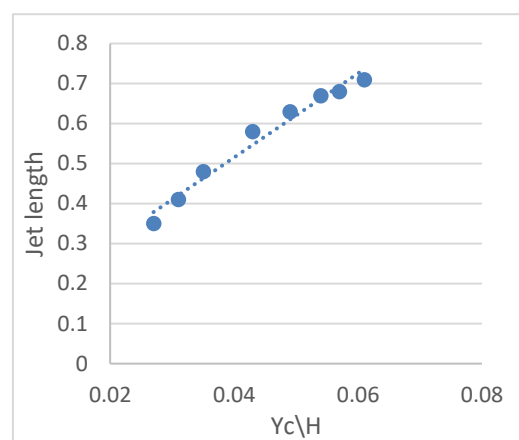


Fig. 26 Jet length in forth position versus  $Y_c/H$

شکل ۲۶ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $Y_c/H$  در موقعیت نصب شماره ۴

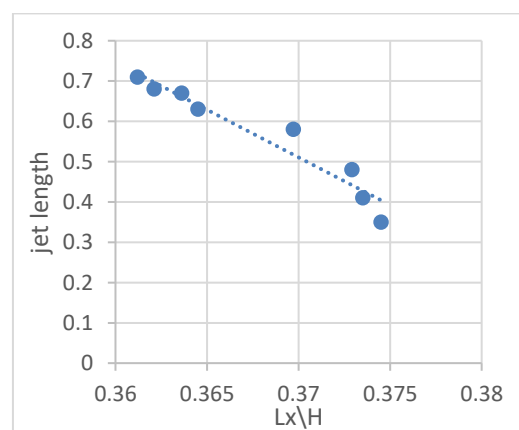


Fig. 27 Jet length in forth position versus  $L_x/H$

شکل ۲۷ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $L_x/H$  در حالت نصب شماره ۴

میزان تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $L_x/H$  و  $Y_c/H$  در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ برای موقعیت نصب شماره ۴ در  $L_x/L=7/3$  نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در حالت شماره ۴ نیز همانند



و کمترین میزان طول پرتابه در حالت نصب شماره ۴ در  $Lx/L=7/3$  و در  $Lx/H$  برابر  $0/3745$  معادل ۳۵ سانتی متر می باشد.

تغییرپذیری های دبی جریان و هم چنین  $Lx/H$  به طور کامل در جدول شماره آورده شده است. بر مبنای اطلاعات مندرج در جدول ۲ و شکل ۲۷ بیشترین طول پرتابه در حالت شاهد در  $Yc/H$  برابر  $0/061$  معادل ۱۰۵ سانتی متر

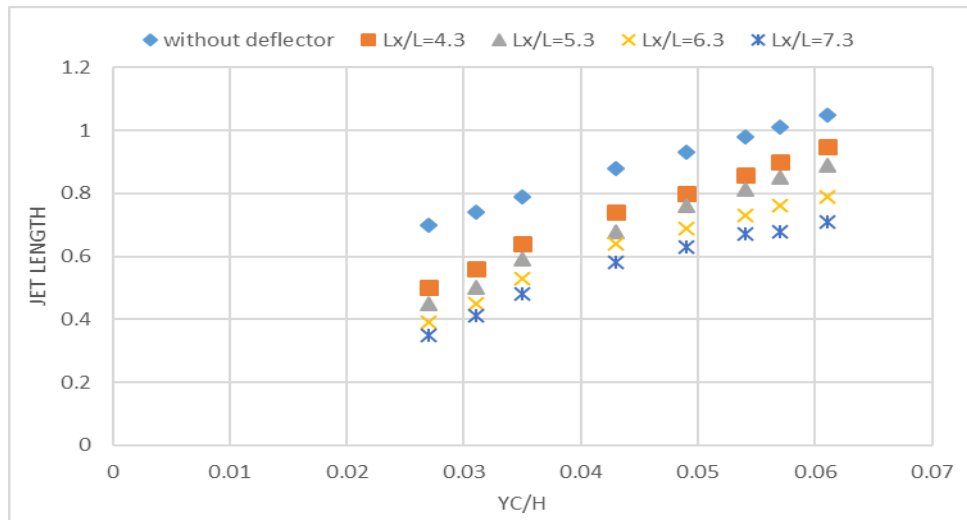


Fig. 28 A general changes of jet length versus  $Lx/H$  in all experiments  
 شکل ۲۸ تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به  $Lx/H$  در همه ی آزمایش ها

جدول ۳ تغییرپذیری های طول پرتابه نسبت به  $Lx/H$  در همه ی آزمایش ها

Table 3 A general changes of jet length versus  $Lx/H$  in all experiments

Q(lit/s)	Without deflector		First position		Second position		Third position		Forth position	
	$Lx/H$	jet length(m)	$Lx/H$	jet length(m)	$Lx/H$	jet length(m)	$Lx/H$	jet length(m)	$Lx/H$	jet length(m)
35	0	1.05	0.2134	0.95	0.2627	0.89	0.312	0.79	0.3612	0.71
33	0	1.01	0.214	0.9	0.2633	0.85	0.3126	0.76	0.3621	0.68
30	0	0.98	0.2149	0.89	0.2644	0.815	0.314	0.73	0.3636	0.667
25	0	0.93	0.2154	0.8	0.2651	0.76	0.3148	0.69	0.3645	0.63
20	0	0.88	0.2185	0.74	0.2689	0.68	0.3193	0.64	0.3697	0.58
15	0	0.79	0.2203	0.64	0.2711	0.59	0.322	0.53	0.3729	0.48
12	0	0.74	0.2207	0.56	0.2716	0.5	0.3225	0.45	0.3735	0.41
10	0	0.7	0.221	0.5	0.2723	0.45	0.3234	0.39	0.3745	0.35

که در آن:  $\frac{\Delta H}{H_0}$  افت انرژی نسبی،  $\frac{v^2}{gH}$  نسبت سرعت نزدیک شونده به مانع ها به شتاب ثقل و عمق آب در مخزن،  $\frac{Lx}{H}$  نسبت فاصله طولی از لبه جام به عمق آب در مخزن و  $\frac{Yc}{H}$  نسبت عمق بحرانی بر تاج سرریز به عمق آب در مخزن می باشد. میزان پارامترهای این رابطه در جدول زیر آورده شده است.

### ۳-۳-۱- استخراج رابطه ها

### ۳-۳-۱-۱- استهلاك انرژی

به منظور بررسی اثر متقابل و ارتباط بین فراسنجه های استخراج شده از تحلیل ابعادی با استهلاك انرژی رابطه ی شماره ۷ با استفاده از رگرسیون غیر خطی نرم افزار spss25 پس از تحلیل های زیادی به دست آمد:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = A \left(\frac{v^2}{gH}\right)^m + B \left(\frac{Yc}{H}\right)^n + C \left(\frac{Lx}{H}\right)^z \quad (7)$$

جدول ۴ پارامترهای برآورده شده با استفاده از رگرسیون غیر خطی

Table 4 Estimated parameters by non-regression analysis

Parameter estimation						
$R^2$	$z$	$n$	$m$	$C$	$B$	$A$
0.979	0.203	-0.146	3.406	29.545	24.366	0.446
0.977	0.203	-0.146	3.409	29.11	24.109	0.446

مشاهده‌ای و محاسبه‌ای بدست آمده است. پس از تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار spss این همبستگی معادل ۹۷/۹ درصد گزارش شد.

در ادامه مقایسه میزان استهلاک انرژی در حالت آزمایشگاهی و محاسبه‌ای در شکل شماره ۲۹ آورده شده است. با توجه به شکل همبستگی خوبی میان حالت

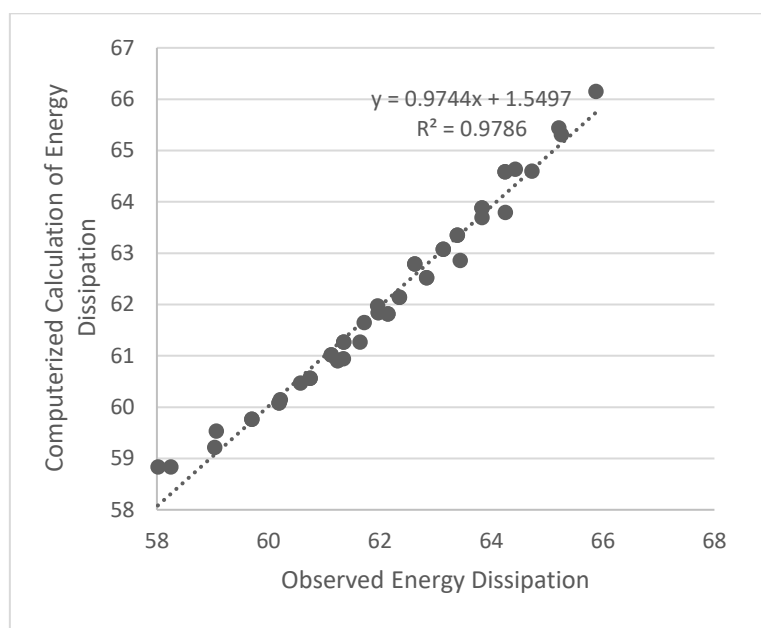


Fig. 29 Comparison of observed energy dissipation versus computed one

شکل ۲۹ مقایسه هدروری انرژی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای

که در آن،  $\frac{L}{L_{max}}$  طول پرتابه به بیشینه طول برداشت شده،  $\frac{v^2}{gH}$  نسبت سرعت نزدیک شونده به منحرف کننده ها به شتاب ثقل و عمق آب در مخزن،  $\frac{L_x}{H}$  نسبت فاصله طولی از لبه جام به عمق آب در مخزن و  $\frac{Y_c}{H}$  نسبت عمق بحرانی بر روی تاج سرریز به عمق آب در مخزن می‌باشد. میزان پارامترهای این رابطه در جدول ۴ آورده شده است.

### ۳-۱-۲- طول پرتابه

به منظور بررسی اثر متقابل و ارتباط بین فراسنجه‌های استخراج شده از تحلیل ابعادی با طول نسبی رابطه‌ی شماره ۸ با استفاده از رگرسیون غیر خطی نرم‌افزار spss25 پس از بررسی روابط مختلف به دست آمد:

$$\frac{L}{L_{max}} = \left(\frac{v^2}{gH}\right)^m + A \left(\frac{Y_c}{H}\right)^n - B \left(\frac{L_x}{H}\right)^z \quad (A)$$

جدول ۵ تغییرپذیری‌های طول پرتابه نسبت به  $L_x/H$  در حالت نصب شماره ۲

Table 5 Jet length in second position versus  $(L_x/H)$

Parameter estimation					
$R^2$	$z$	$n$	$m$	$B$	$A$
0.943	0.424	2	2	1.464	160.442
0.939	0.301	2	2	1.4	161.00

مشاهده می‌شود. میزان این همبستگی با استفاده از روش‌های آماری ۹۴/۳ بدست آمده است.

میزان استهلاک انرژی در حالت آزمایشگاهی و محاسبه‌ای در شکل زیر آورده شده است. با بررسی شکل شماره ۳۰ همبستگی خوبی میان حالت مشاهده‌ای و محاسبه‌ای

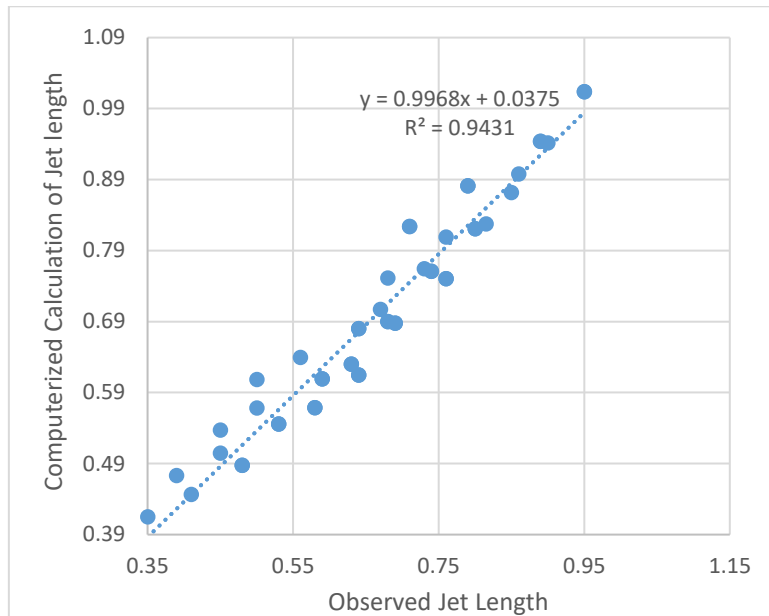


Fig. 30 Comparison of observed jet length versus computed one

شکل ۳۰ مقایسه طول پرتابه مشاهده‌ای و محاسبه‌ای

پایین دست پرتاب کننده‌ها قرار داد که خود نیازمند مدل فیزیکی برای تعیین دقیق موقعیت و ابعاد هواده می‌باشد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

به منظور بررسی تاثیر موقعیت منحرف کننده بر میزان استهلاک انرژی و نیز طول پرتابه، این تحقیق انجام شد و نتایج زیر حاصل گردید:

- بطور کلی نصب منحرف کننده باعث افزایش استهلاک انرژی و کاهش طول پرتابه می‌شود. و این افزایش و کاهش با افزایش دبی منجر به کاهش پارامتر بدون بعد  $Lx/H$  و هم چنین میزان استهلاک انرژی می‌گردد.
- با افزایش فاصله طولی منحرف کننده ها از لبه جام، هدررفت انرژی به دلیل افزایش ارتفاع پرتاب جت ها و نیز افزایش سطح تماس جت‌های خروجی با هوای پیرامون ( به عنوان عامل مقاوم در برابر حرکت) به طور قابل ملاحظه ای افزایش می‌یابد.

#### ۴- پدیده حفره‌زایی یا جدار خوردگی

در سرریز سدهای بلند و در موقعیت‌هایی که سرعت جریان به ۱۸ تا ۲۰ متر برثانیه برسد، در اثر کوچکترین بازدارنده، خطوط جریان از مرز جدا شده و فشار موضعی منطقه جدایش به فشار بخار آب کاهش می‌یابد که در نتیجه آب تبخیر و حباب‌های توخالی شکل می‌گیرند. منفجر شدن این حباب‌ها در پایین دست (منطقه با فشار مثبت) منجر به ایجاد ضربه شدیدی به بستر سرریز می‌شود که تداوم آن باعث خوردگی و تخریب بستر سرریز می‌شود. استفاده از سامانه هواده‌ی و افزایش فشار موضعی موثرترین راه برای رویارویی با پدیده حفره‌زایی می‌باشد. سرریز مورد استفاده در این بررسی از سرریزهای کوتاه بوده که بیشینه سرعت به حدود ۸ متر برثانیه رسیده در نتیجه رخداد پدیده حفره زایی در اثر وجود منحرف کننده ممکن نیست و مورد بررسی قرار نگرفته است. بدیهی است در سرریز سدهای بلند ضرورت دارد تا این مسئله بررسی شود و در صورت وجود سرعت‌های بالا می‌توان هواده را در

g	شتاب ثقل ( $m^2s^{-1}$ )
$\rho$	جرم حجمی آب ( $kgm^{-3}$ )
$\Theta$	زاویه منحرف کننده
$\mu$	گرانروی پویایی آب ( $kgm^{-3}$ )
$\sigma$	کشش سطحی ( $Nm^{-1}$ )

### ۶- سپاسگزاری

هزینه‌های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است که از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

### ۷- منابع

Akbari, Gh.H, Esfahani, M.R., Roshan, R. and Soltani Samani, A. (2011). Laboratory study of the effect of flow changes and runoff depth on the maximum scour depth, Proceeding of the 10th Iranian Hydraulic Conference, University of Guilan. (in Persian)

Barani, A. and Bahrami, Gh.A. (2009). Numerical study of the trend of changes in air concentration in the currents passing through the shot, Proceeding of the 8th International Congress of Civil Engineering, Kerman Shahid Bahonar University, Iran. (in Persian)

Balloffet, A.J. (1961). Pressures on Spillway Flip Buckets. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 87(5), 87-89.

Chanson, H. (2004). The Hydraulics of open channel flow: An introduction. Elsevier Butterworth Heinemann, 496p.

Chen, T.C. and Yu, Y.S. (1965). Pressure Distribution on Spillway Flip Bucket. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 95(2), 51-63.

Coyne, A. (1951). Observation sur les déversoirs en saut de ski, in Transactions of the 4th congress of ICOLD, New Delhi, Vol. 2, Report 89, 737-756.

Daneshfaraz, R., Ghaderi, A., Akhtari, A. and Di Francesco, S. (2020) On the Effect of Block Roughness in Ogee Spillways with Flip Buckets, Journal of Fluids, 5(4), 182.

Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B. and Piroton, M. (2010). Experimental investigation of the effect of flip bucket splitters on plunge pool geometry. Journal of Wasser Wirtschaft, 4, 108-110.

• کمترین میزان استهلاك انرژی مربوط به آزمایش شاهد در  $Yc/H$  برابر  $0.27/0.0$  معادل  $57/3$  درصد و بیشترین میزان هدر رفت انرژی مربوط به موقعیت نصب شماره ۴ در  $Lx/L=7/3$  و در  $Yc/H$  برابر  $0.61/0$  و نیز  $Lx/H$  برابر  $0.3745/0$  معادل  $65/9$  درصد می‌باشد.

• طول پرتابه خروجی از جام با افزایش دبی جریان و نیز افزایش نسبت  $Yc/H$  افزایش می‌یابد.

• در همه آزمایش‌ها با کاهش میزان  $Lx/H$  طول پرتابه افزایش می‌یابد.

• همچنین در یک  $Yc/H$  ثابت با افزایش فاصله طولی منحرف کننده از لبه جام طول پرتابه به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

• بیشترین طول پرتابه در حالت بدون مانع یا شاهد در  $Yc/H$  برابر  $0.61/0$  معادل  $105$  سانتی متر و کمترین میزان آن در موقعیت نصب شماره ۴ در  $Lx/L=7/3$  و در  $Yc/H$  برابر  $0.27/0$  و  $Lx/H$  برابر  $0.3745/0$  معادل  $35$  سانتی متر مشاهده شد که نشان دهنده  $70\%$  کاهش طول پرتابه نسبت به حالت شاهد است.

### ۵- فهرست نشانه‌ها

H	ارتفاع آب در مخزن (m)
H0	انرژی اولیه (J)
H1	انرژی ثانویه (J)
L	طول منحرف کننده (m)
Lx	فاصله طولی (m)
Q	دبی جریان ( $m^3/s$ )
R	شعاع جام (m)
Re	عدد رینالدز
V	سرعت نزدیک شونده به جام (m/s)
V1	سرعت در پایین دست (m/s)
Va	سرعت آب در مخزن (m/s)
We	عدد وبر
Yc	عمق بحرانی در تاج سرریز (m)
Z0	فاصله کف مخزن تا خط مبنا (m)
Z1	فاصله کف فوم در پایین دست تا خط مبنا (m)

- and Drainage Structures Engineering Research, 21(78), 117-138. (in Persian)
- Navaei, B., Daneshfaraz, R. and Akhtari, A. (2016). Experimental Study of Flip Bucket Effect at the End of Ogee Spillway on Energy Dissipation and Jet Length. *Water and Soil Science*, 26(2), 133-142. (in Persian)
- Novak, P., Mofat, A.I.B., Nalluri, C. and Naranayan, R. (2006). *Hydraulic structures*, Spon, London, 725p.
- Omidvarinia, M. and Moosai-Jahromi, S.H. (2013). Comparison of energy losses in circular and triangular Flip bucket Spillway. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 37(1), 133-142. (in Persian)
- Rajan, B.H. and Shivashankara Rao, K.N. (1980). Design of Trajectory Bucket. *International Journal of Water and Energy*, 37(1), 36-76.
- Rajaratnam, N. (1976). *Turbulent Jets, Developments in Water Science, Volume 5*, Elsevier, 303p.
- Sadeghi, M. and Moosavi-Jahromi, S.H. (2014). Effect of deflector on flip bucket spillway with approaching channel on jump length and energy losses, *Iranian Water Research Journal*, 8(15), 63-71. (in Persian)
- Safavi, Kh., Khorasani Zadeh, A., and Ghafoori, S. (2010). Considerations in the design of throwing cups downstream of free fall jets. *Proceeding of the 9<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference*, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Steiner, R., Heller, V., Hager, W.H. and Minor, H.E. (2008). Deflector ski Jump Hydraulics. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(5), 571-562.
- Tierney, D.G. and Henderson, F.M. (1963). Flow at the toe of a spill way, *La Houille Blanche*, Grenoble, France, 18(1), 42-50.
- Wilson, L.V. (1953). *Hydraulic Studies of the Ski-Jump Spillway for Cleveland Dam*. Bureau of Reclamation, Report no. HYD-369, Denver, Colorado.
- Heller, V., Hager, W.H. and Minor, H.E. (2005). Ski jump hydraulics. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(11), 837-845.
- Heller, V., Hager, W.H. and Minor, H.E. (2006). Closure to Ski Jump Hydraulics, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1115-1117.
- Joun, R. and Hager, W.H. (2006). Flip Bucket with and without Deflector. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(11), 837-845.
- Karimi-Pashaki, M.H., Shafaei-Bejestan, M. and Moosavi-Jahromi, S.H. (2010). Analytical study of biphasic flow simulation models in jet launch from Flip Bucket, *Zanjan 2<sup>nd</sup> National Conference on Dam Construction*. (in Persian)
- Lashkarara, B., Fathimoghadam, M. and Kashefipour, S.M. (2008). Predicting scour rate downstream of the throwing cup overflow by neural network, *The 3<sup>rd</sup> Water Resources Management Conference*.
- Lenua, C. and Cassidy, J.J. (1969). Flow through spillway Flip bucket. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 95(5), 633-648.
- Lucas, J., Hager, W. and Boes, R. (2013). Deflector Effect on Chute Flow. *American Society of Civil Engineering*, 9(2), 161-169.
- Mason, P.J. (1993). Practical Guidelines for the Design of Flip Bucket and Plunge pool. *Journal of Water Power and Dam Construction*, 45(9) 40-45.
- Mason, P.J. (1984). Erosion of Plunge Pools Downstream of Dams due to the Action of free Trajectory of jets. *Journal of Civil Engineering Water Maritime Energy*, 78(4), 523-537.
- Momeni-Vesalian, R., Moosavi-Jahromi, S.H. and Shafaei-Bejestan, M. (2006). Scouring caused by rectangular jets downstream of cup-shaped projectiles. *Proceeding of the 7<sup>th</sup> International River Engineering Seminar*, Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Persian)
- Mirsalari, F. and Shafaei-Bejestan, M. (2020). Investigating the effect of the number of triangular deflectors on energy dissipation and projectile length in flip bucket spillway. *Journal of Irrigation*