

تأثیر طول آستانه و زاویه در پرتاب کننده‌های مثلثی بر مسیر کلی پرتابه خروجی

منا امیدواری^{۱*} و سید حبیب موسوی چهارمی^۲

^{۱*} دانشجوی دکتری سازه‌های آبی؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران؛
نویسنده مسئول مکاتبات: mona_omidvarinia@yahoo.com
^۲ دانشیار و مدیر گروه سازه‌های آبی؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۶

چکیده

طراحی و انتخاب بهینه سازه‌های آبی از جمله سرریزها نقش مهمی در مدیریت منابع آب و بهره‌برداری آن در بخش کشاورزی دارد. در این تحقیق پرش اسکی در پرتاب کننده‌های 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 باکت مثلثی شکل به جای باکت دایره ای، از نظر تاثیر روی مسیر پرتابه خروجی مورد بررسی قرار گرفته است. 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 عدد فرود مختلف آزمایش‌ها انجام شد. در این تحقیق مسیر کلی تراژکتوری جت خروجی از فلیپ باکت و بیشترین طول طی شده جت هم برای حد بالایی و هم برای حد پایینی، در هر حالت پرتاب کننده مثلثی با زاویه و طول تقریبی های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در حالت کلی ۳ فلیپ باکت مورد استفاده قرار گرفت. فلیپ باکت مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۲ سانتی متر، فلیپ باکت مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه ۷ سانتی متر و فلیپ باکت مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه و طول آستانه ۲ سانتی متر. در نهایت، بیشترین طول طی شده‌ی جت برای پرتاب کننده ۴۵ درجه با طول آستانه ۲ سانتی متر و کمترین برای پرتاب کننده ۴۵ درجه با طول آستانه ۲ سانتی متر می‌باشد. با افزایش زاویه پرتاب کننده ضخامت جت خروجی کاهش پیدا می‌کند. طول آستانه تاثیر کمی بر کاهش یا افزایش طول جت خروجی از پرتاب کننده دارد. به لحاظ عددی با تغییر عدد فرود جریان از ۴/۴۴ به ۶/۴۲ به طور کلی و متوسط برای کلیه حالات پرتاب کننده، مقدار نسبت طول طی شده‌ی حد بالایی و پایینی به ترتیب ۷۲/۵ و ۷۷/۷ درصد افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: پرتاب کننده‌های مثلثی؛ تراژکتوری جت؛ طول آستانه؛ مدل فیزیکی

مقدمه

توجهی برای ایجاد فرسایش و تخریب پی و تکیه‌گاه‌های سد می‌باشد. جریان در پرتابه جامی شکل در طبیعت، به صورت سه بعدی، غیر ماندگار و به شدت آشفته می‌باشد. پرتاب کننده جریان، جت خروجی را از راستای اولیه منحرف می‌کند تا پس از پرتاب شدن به هوا، ضمن استهلاک انرژی در فاصله‌ی مطمئنی دور از سد، سرریز و یا ضمایم آن در پایین دست فرود آید. یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های هیدرولیکی کنترل سرعت جریان می‌باشد.

از مسائلی که در اثر جت ریزشی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی ایجاد می‌شود، استهلاک انرژی و فرسایش می‌باشد. مکانیزم استهلاک انرژی جت آب در پایین دست سدهای بزرگ از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشد. بخصوص در جاهایی که به علت شرایط توپوگرافی دره‌های مرتفع و کم عرضی در پایین دست این سدها وجود دارد. جریان خروجی از سرریزهای این سدها دارای انرژی تخریبی بسیار قابل

Balloffet (۱۹۶۱) دریافت شد در صورتی که نسبت عمق جریان h_0 در باکت به شعاع انحنای نسبتاً کوچک باشد حداکثر هد فشار به طور متوسط ۴ درصد بزرگتر از هد فشار محاسبه شده است. Tierney and Hendeson (۱۹۶۳) 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. Chen and Yu (۱۹۶۵) توزیع فشار در امتداد یک باکت استوانه را با استفاده از معادلات پتانسیل جریان برای زاویه انحراف $۰/۷۵$ و $۰/۹۵$ محاسبه نمودند. نتایج هد فشار حداکثر آنها نزدیک به روش بالوفت (۱۹۶۱) بود. Lenau and Cassidy (۱۹۶۹) روش Chen and Yu را اصلاح نمودند. آنها نشان دادند که اثر ویسکوزیته در جریان باکت ناچیز است. همچنین خلاصه‌ای از توصیه‌های طراحی توسط Mason (۱۹۹۳) ارائه شد، 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. پرتاب کننده‌های جامی هم به صورتی که کانال منشوری مستطیل شکل و هم به صورت جام دارای یک منحرف‌کننده جریان جانبی توسط Hager (۲۰۰۰) 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^۱ در جام‌ها بررسی گردیده است. بر اساس نتایج این محققین مشخص گردیده که ارتفاع امواج نوسانی یا شوک به عدد فرود در پای سرسره و همچنین زاویه پرتاب‌کننده وابستگی شدید دارد. Steiner *et al.*, (۲۰۰۸) توزیع فشار در مستهلک کننده‌های پرش اسکی با جام مثلثی توسط مدل آزمایشگاهی مطالعه

سرعت جریان برای شرایط مختلف طراحی باید در محدوده قابل قبولی قرارگیرد تا از تخریب و خسارات ناشی از آن جلوگیری شود (Chansonh, 2004). در بسیاری مواقع دلایل مختلف از قبیل شیب زیاد عبور آب، انرژی جنبشی بیش از حد جریان وجود دارد که باید از سازه‌های مستهلک کننده انرژی استفاده شود (Rajan and Shivashankara, 1980). معمولی‌ترین روش‌های استهلاک انرژی عبارتند از حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی، جام غلتنانی و جام پرتابی (جنتی، ۱۹۹۰). در حوضچه‌های پرتابی که، جام پرتابی یکی از اجزای آن است، هنگامی که جریان از تند آب 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. در این حالت 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. بخش عظیمی از انرژی جریان با پخش و پراکنده شدن جت خروجی جریان از سازه به صورت پرش اسکی مستهلک می‌شود. بدیهی است هر چه طول طی شده توسط جت بیشتر باشد استهلاک انرژی بیشتری نیز به وقوع خواهد پیوست 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 (بارانی، ۱۳۸۸). پرش‌های اسکی اواسط دهه ۱۹۳۰ در پروژه هیدرولیکی دوردوگنهفرانسه به عنوان یک طرح هیدرولیکی موفق معرفی شدند (مهری، ۱۳۸۵). فشارها روی باکت توسط Balloffet (۱۹۶۱) مشاهده و محاسبه شد. با استفاده از مدل پتانسیل جریان (به عنوان مثال، خطوط جریان متحدالمرکز در باکت)،

¹ The recirculation flow

نمودند و نتیجه گرفتند که پرتاب کننده های مثلثی عملکرد بهتری در میزان استهلاک انرژی جنبشی دارند. Guven and Azamathulla (۲۰۱۲) با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک به بررسی جریان خروجی پایین دست پرتاب کننده های جامی شکل و تاثیر آنها بر آبستگي پایین دست آن پرداختند و بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مدلسازی مشخص نمودند که تکنیک الگوریتم ژنتیک در پیش بینی طول پرتاب جریان و حداکثر عمق آبستگي کارآمد می باشد. با توجه به مراتب فوق هدف بررسی و مقایسه اثر تغییر هندسه پرتاب کننده دایره ای و مثلثی در زوایای مختلف بر میزان استهلاک انرژی جنبشی آب می باشد.

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 آماده گردید که در بخش های بعدی به آن پرداخته می شود.

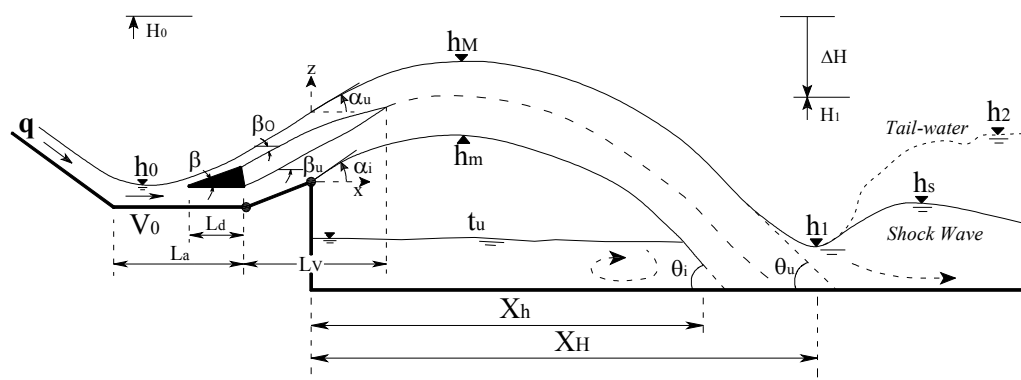
آنالیز ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در تراژکتوری جت موثر می باشند اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای موثر در این آزمایش ها در رابطه (۱) ارائه شده اند.

مواد و روش ها

همانطور که در بخش گذشته بیان شد در این تحقیق به بررسی عملکرد پرتاب کننده مثلثی شکل

$$f(\rho, \mu, g, h_0, V_0, q, L_a, \gamma, w, s, (x_u, z_u), (x_i, z_i), (\alpha_u, \alpha_i), (h_M, h_m), (\theta_u, \theta_i), (X_H, X_h), H_0) = 0 \quad (1)$$



شکل ۱- جت خروجی از پرتاب کننده مثلثی

در رابطه (۱)، ρ جرم حجمی سیال، μ لزجت سیال، g شتاب ثقل، h_0 و V_0 به ترتیب عمق و سرعت در کانال آستانه پرتاب کننده جامی مثلثی شکل، q دبی در واحد عرض^۱، L_a طول کانال آستانه پرتاب کننده جامی مثلثی^۲، γ زاویه مثلث^۳، w

ارتفاع لبه جام، S ارتفاع دراپ از لبه جام تا کف بند پایین دست، (x_u, z_u) مختصات طولی و ارتفاعی حد بالایی فوران بر اساس دستگاه مختصات دکارتی نشان داده شده در شکل (۱)، (x_i, z_i) مختصات حد پایینی فوران بر اساس همین دستگاه مختصات، (α_u, α_i) زاویه شروع حد بالایی و پایینی فوران در

¹Chute Unit Width Discharge

²Approach Canal Length

³Tri-angular Bucket Angle

به اهمیت ارتفاع لبه پرتاب کننده، تاثیر W در محاسبات طول افقی قسمت شیبدار پرتاب کننده $(w/\tan \gamma)$ در مقایسه با طول کانال آستانه لحاظ شده است. از طرفی زوج پارامترهای مربوط به فوران خروجی که به حد بالایی و پایینی آن معروف می‌باشد،

$(x_u, z_u), (x_i, z_i), (\alpha_u, \alpha_i), (h_u, h_i), (\theta_u, \theta_i), (X_u, X_i)$ را می‌توان خصوصیات فوران خروجی^۱ نامید. اندیس u مربوط به فوران حد بالایی و اندیس i مربوط به فوران حد پایینی است. یعنی برای سادگی کلیه پارامترهای فوق با مشخصه زیر نمایش داده می‌شود.

$$P_T(u, i) = \{(x_u, z_u), (x_i, z_i), (\alpha_u, \alpha_i), (h_u, h_i), (\theta_u, \theta_i), (X_u, X_i)\} \quad (2)$$

کانال آستانه پرتاب کننده، h_0 ، استفاده نمود) بیان می‌شود و از این رو رابطه بدون بعد خصوصیات فوران خروجی به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$P'_T(u, i) = \left\{ \left(\frac{x_u}{H_0}, \frac{z_u}{H_0} \right), \left(\frac{x_i}{H_0}, \frac{z_i}{H_0} \right), (\alpha_u, \alpha_i), \left(\frac{h_u}{H_0}, \frac{h_i}{H_0} \right), (\theta_u, \theta_i), \left(\frac{X_u}{H_0}, \frac{X_i}{H_0} \right) \right\} \quad (3)$$

محل پرتاب کننده جامی مثلثی، (h_M, h_m) ماکزیمم ارتفاع حد بالایی و پایینی که برای یکسان سازی نمایه‌ها از این جا به بعد با (h_u, h_i) نمایش داده می‌شود، (θ_u, θ_i) زاویه خاتمه یا برخورد حد بالایی و پایینی فوران به پایین دست، (X_H, X_h) حداکثر طول طی شده حد بالایی و پایینی فوران و این دو پارامتر را هم برای یکسان سازی نمایه‌ها از این جا به بعد بصورت قراردادی با (X_u, X_i) نمایش داده می‌شود، H_0 انرژی اولیه جریان قبل از ورود به پرتاب کننده جامی مثلثی است.

در تحقیق حاضر مقادیر W و S در کلیه آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شده بنابراین در آنالیز ابعادی از S به طور کلی صرف نظر شده ولی با توجه

رابطه بدون بعد $P_T(u, i)$ معمولاً با لحاظ نمودن انرژی ارتفاعی اولیه جریان در بدو ورود به پرتاب کننده مثلثی، H_0 (و یا می‌توان از عمق آب در

با این توضیحات رابطه (۱) را می‌توان بصورت خلاصه‌تر به شکل زیر بازنویسی نمود:

$$f(\rho, \mu, g, h_0, q, L_a, \gamma, w, P'_T(u, i), H_0) = 0 \quad (4)$$

را استخراج نمود. این روابط به صورت زیر می‌باشند:

$$f\left(\frac{\rho q}{\mu}, \frac{q}{\sqrt{gh_0^3}}, \frac{L_a}{H_0}, \frac{L_a \tan \gamma}{w}, \gamma, P'_T(u, i)\right) = 0 \quad (5)$$

است ولی به دلیل تکراری بودن نوشته نشده است.

با استفاده از روش‌های آنالیز ابعادی از قبیل روش π باکینگهام می‌توان روابط بدون بعد مربوطه

البته دو رابطه بدون بعد دیگر نیز قابل استخراج

¹ Properties of Outlet Jet Trajectory Affected to Tri-angular Flip Bucket

آزمایش‌ها در محدوده جریان متلاطم قرار می‌گیرند از عدد رینولدز صرف نظر شده است. براساس آنالیز ابعادی انجام شده، تعاریف صورت گرفته در بندهای گذشته، توابع تعریف شده و اهداف تحقیق پیش رو به لحاظ ریاضی متغیرهای وابسته و مستقل را می‌توان در معادلات زیر جستجو نمود:

$$P'_T(u, i) = f\left(\frac{q}{\sqrt{gh_0^3}}, \frac{L_a \tan \gamma}{w}, \frac{L_a}{H_0}, \gamma\right) \quad (6)$$

این فلوم دارای یک شیرفلکه 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 پ وینت گیج استفاده شد. در شکل (۱) نمایی شماتیک از تجهیزات آزمایشگاهی ارائه شده است. مدل سرریز اوجی شکل طبق استاندارد USBR با ارتفاع ۳۲/۴ سانتی‌متر و طول ۵۲/۴ سانتی‌متر و از جنس فایبرگلاس ساخته شد. مدل پس از ساخت در محلی که ۵/۳۹ متر از مخزن فاصله دارد نصب گردید تا طول لازم برای ایجاد جریان یکنواخت در بالادست تامین گردد.

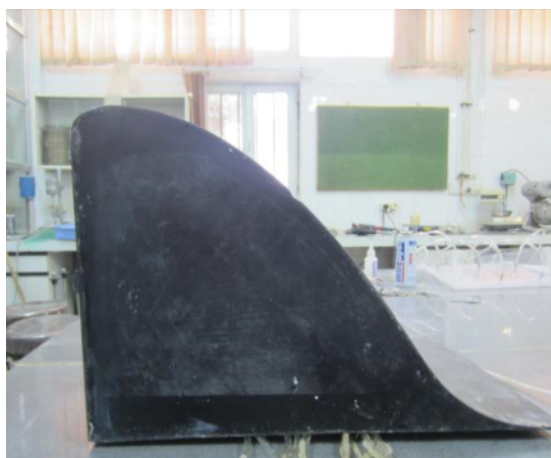
در رابطه (۵)، پارامتر اول عدد رینولدز جریان، پارامتر دوم عدد فرود جریان، پارامتر سوم نسبت طولی کانال آستانه پرتاب‌کننده جامی مثلثی، پارامتر چهارم نسبت بی بعد طول آستانه، پارامتر پنجم زاویه انحراف یا زاویه مثلث پرتاب‌کننده جامی مثلثی، پارامتر ششم خصوصیات فوران خروجی، می‌باشد. در تحلیل‌های این تحقیق به دلیل این که کلیه

مدل آزمایشگاهی

جهت رسیدن به اهداف این مطالعه، آزمایش‌ها در فلومی با طول ۱۵ متر عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه شهیدچمران اهواز انجام شد.

سیستم گردش آب فلوم به صورت مدار بسته می‌باشد و آب مورد نیاز از طریق مخازن مرتبط به تعبیه شده در کنار فلوم، تامین می‌گردد.

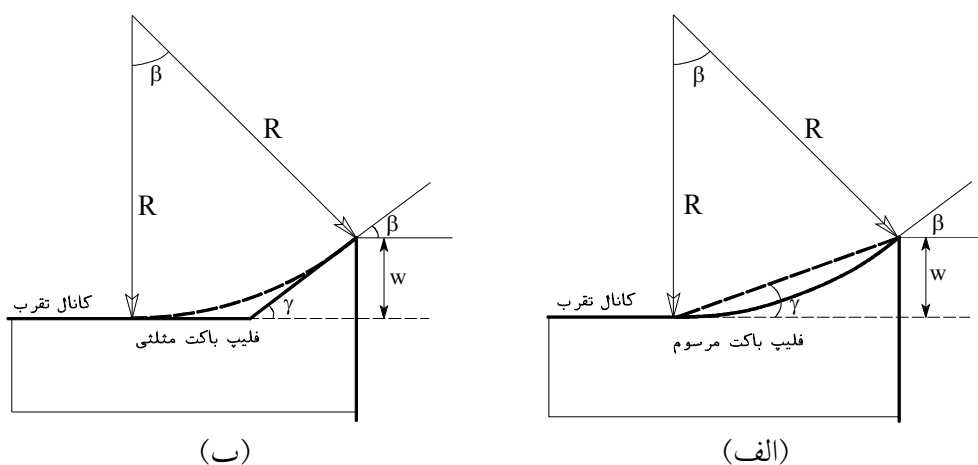
جریان ورودی از طریق پمپ موجود در بالا دست فلوم تامین گشته و میزان دبی جریان بوسیله یک دبی سنج دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه قبلا از ورود جریان به مخزن آرام کننده اندازه‌گیری شد.



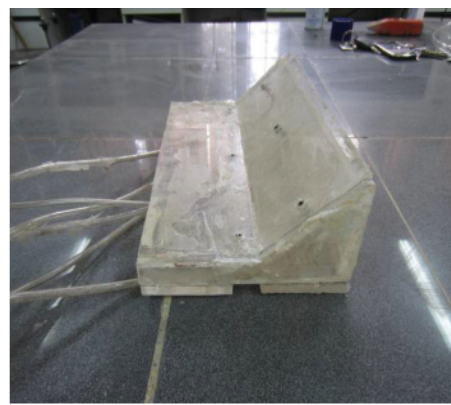
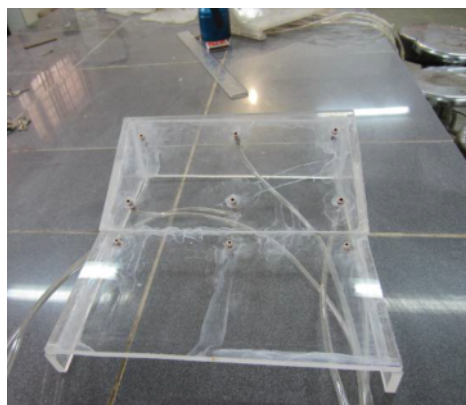
شکل ۲- مقطع طولی سرریز اوجی

بر اساس موارد یاد شده و برای دستیابی به اهداف تحقیق ابتدا پرتاب‌کننده جامی مثلثی با زاویه مثلث ۴۵ درجه مورد توجه قرار گرفت. در ادامه برای بررسی عمیق‌تر موضوع و ارزیابی تاثیر زاویه مثلث بر خصوصیات جریان پرتاب شونده، زاویه ۲۲/۵ درجه نیز ساخته شد. شکل (۴) پرتاب‌کننده‌های جامی مثلثی شکل را نمایش می‌دهد.

جهت طراحی پرتابه مثلثی و به این علت که قابل مقایسه با پرتابه دایره‌ای باشد، از حالت نرمال پرتاب‌کننده جامی شکل که به صورت قطاعی از دایره است ایده گرفته شد. همچنین بر اساس تحقیقات استینر و همکاران (۲۰۰۸) مولفه‌های هندسی مربوطه مطابق شکل (۳) در نظر گرفته شد.



شکل ۳- تبدیل سرریز با پرتاب‌کننده‌های جامی شکل یا معمولی به مثلثی شکل در دو حالت
 الف) $\gamma = \beta/2$ و $w = R(1 - \cos \beta)$ ب) $\gamma = \beta$ و $w = R(1 - \cos \beta)$



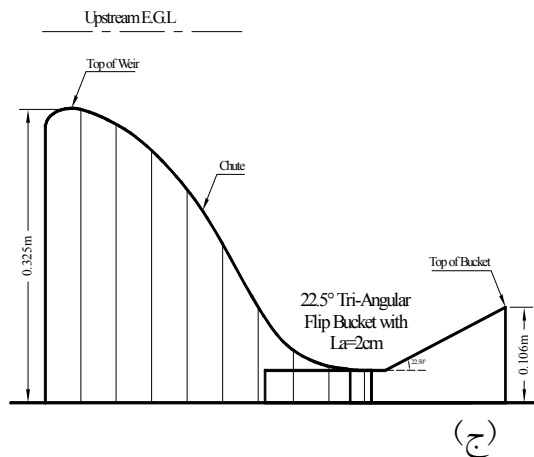
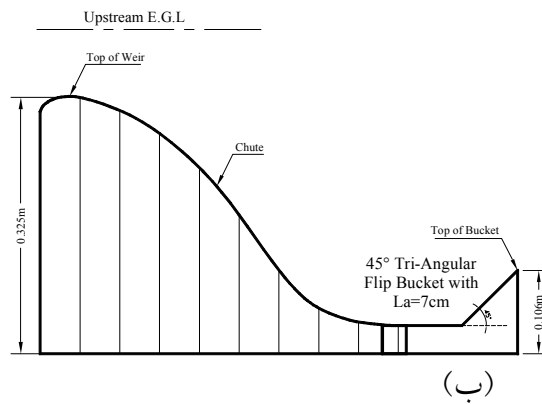
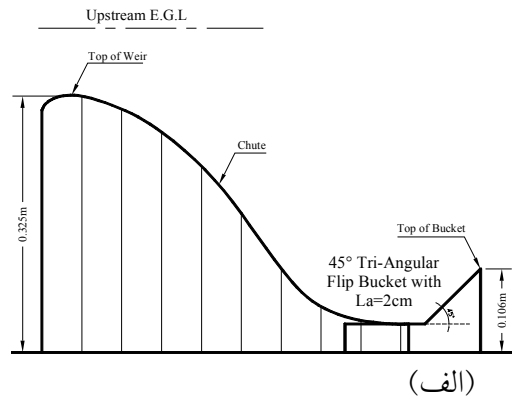
شکل ۴- پرتاب‌کننده‌های جامی مثلثی (الف) زاویه ۴۵ درجه (ب) زاویه ۲۲/۵ درجه

حالت دوم سرسره به همراه پرتاب‌کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه، L_a ، ۷ سانتی‌متر، شکل (۵-ب)، و حالت سوم سرسره به همراه پرتاب‌کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه و طول آستانه، L_a ،

با توجه به برنامه‌ریزی آزمایش‌های این تحقیق سه حالت مد نظر قرار گرفته است. حالت اول سرسره به همراه پرتاب‌کننده مثلثی با زاویه ۴۵ درجه و طول آستانه، L_a ، ۲ سانتی‌متر، شکل (۵-الف)،

۲ سانتی متر، شکل (۵-ج)، می باشد.

توضیح طول بخش شیبدار پرتاب کننده مثلثی در زاویه ۲۲/۵ درجه بیشتر از زاویه ۴۵ درجه خواهد بود.



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

همان طوری که در شکل (۵) مشخص است برای بررسی معنی دار موضوع ارتفاع لبه پرتاب کننده جامی مثلثی شکل در هر سه حالت یکسان و نسبت به کف ۱۰/۶ سانتی متر بالاتر قرار گرفت. با این

نحوه انجام آزمایش بدین صورت بود که ابتدا پمپ روشن می شد، جریان وارد فلوم می گردید، سپس دبی با شیرفلکه مخصوص تنظیم می شد در هر دبی عمق و سرعت جریان در ۱ متر بالا دست سرریزه دلیل این که از تغییر پروفیل سطح آب در بالادست به دور باشد، اندازه گیری می شد. سپس دریچه پایین دست به تدریج بسته می گردید تا عمق آب پایین دست سرریز یا همان عمق پایاب افزایش یابد. عمق پایاب تا جایی افزایش می یافت که پرش هیدرولیکی بلافاصله بعد از محل برخورد جت به کف فلوم تشکیل شود. هدف از ایجاد این پرش اندازه گیری عمق جریان پس از عبور از پرتابه است. لبه پایین دست پرتابه بطور مستقیم قابل اندازه گیری نیست. برای اندازه گیری این عمق، چون جریان بعد از پرتابه فوق بحرانی می باشد با تشکیل پرش هیدرولیکی بلافاصله پس از پرتابه و اندازه گیری عمق ثانویه پرش با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف پرش و صرف نظر از اصطکاک های جزئی، عمق اولیه پرش از رابطه اعماق مزدوج پرش بدست آمد. استینروهمکاران (۲۰۰۸) سپس انرژی دوطرف سرریز با استفاده از اندازه گیری های عمق و سرعت از رابطه برنولی محاسبه و تلفات انرژی در پرتابه های مختلف محاسبه گردید. در هر مرحله متغیرهای مورد اندازه گیری 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 انتهایی سرریز، مسیر پرتابه جت (توسط پوینت گیج و خط کش مسیر پرتابه جت برداشت گردید) و کلیه زوایا و مشخصات پروفیل جت بالایی و پایینی.

شده منطبق بر انتهای لبه پرتاب‌کننده مثلثی شکل برای مسیر پرتابه در حد بالایی به طور تقریب برابر با h_0 و برای حد پایینی برابر با صفر می‌باشد. با تغییر متغیر می‌توان این رابطه را بصورت بدون بعد مطابق با رابطه زیر نوشت:

$$Z_j = 2X_j - X_j^2 \quad X_j \geq 0 \quad (8)$$

که متغیرهای جدید به صورت زیر می‌باشند:

$$X_j = \frac{2x}{h_0 Fr_0^2 \sin(2\alpha_j)} \quad \text{and} \quad Z_j = \frac{z - z_0}{h_j - z_0} \quad (9)$$

که در رابطه (۹) برای حد بالایی مسیر پرتابه h_j برابر با h_u و برای حد پایینی برابر با h_i می‌باشد. از طرفی در فصل دوم نیز اشاره گردید که برای h_u و h_i می‌توان روابط زیر را اثبات نمود:

$$\frac{h_u}{h_0} = 1 + 0.5 Fr_0^2 \sin \alpha_u \quad \text{For Upper Limit of Trajectory} \quad (10)$$

$$\frac{h_i}{h_0} = \frac{1}{2} Fr_0^2 \sin \alpha_i \quad \text{For Inferior Limit of Trajectory}$$

گردید. این اشکال برای حد بالایی و پایینی مسیر پرتابه به صورت جداگانه ترسیم شدند. شکل‌های (۶) الی (۸) برای سه حالت پرتاب‌کننده مسیر پرتابه‌های بدون بعد را برای حدود بالایی و پایینی نمایش می‌دهند.

در این تحقیق ۴ دبی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه برای اجرای آزمایش‌ها به کار گرفته شده اند. لازم به ذکر است در کلیه آزمایش‌های این تحقیق که شامل ۲۳۸ عدد است، منظور از عدد فروود، عدد فروود پای سرریز اوجیمی باشد که برای هر دبی محاسبه گردیده است.

نتایج و بحث

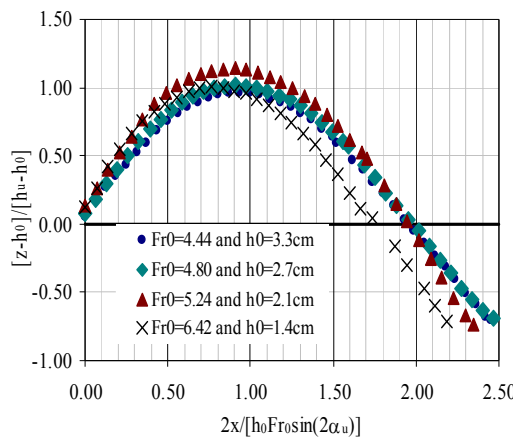
خصوصیات بدون بعد مسیر پرتابه در آزمایش‌های شاهد

معادله مسیر پرتابه (با نمایش راستای Z به عنوان راستای عمودی) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

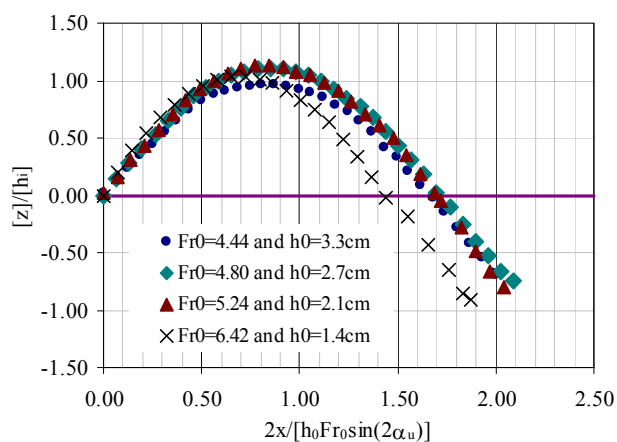
$$x) = z_0 + x \tan(\alpha_j) - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_j} \quad (7)$$

در این رابطه برای حد بالایی مسیر پرتابه برابر با α_u و برای حد پایینی برابر با α_i می‌باشد. مقدار Z_0 بر اساس دستگاه مختصات در نظر گرفته

لذا با این تغییر متغیر، صرف نظر از زاویه پرتاب یا شرایط هیدرولیکی پرتاب جریان، می‌توان مسیر پرتابه در حالت‌های مختلف را بر روی یک شکل ترسیم نمود. در این راستا برای هر سه حالت پرتاب‌کننده با زاویه ۴۵ درجه و ۲۲/۵ درجه، مسیر پرتابه بر روی یک نمودار ترسیم

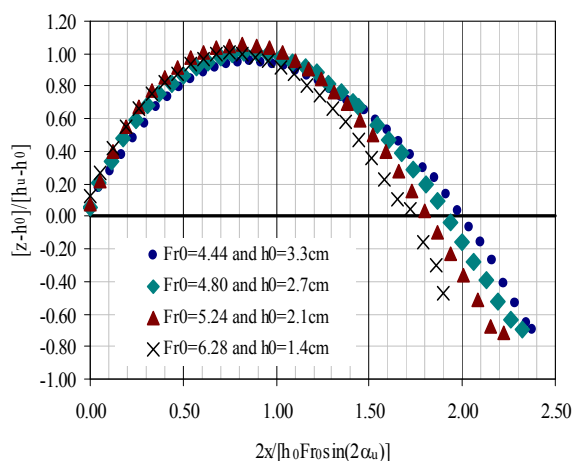


(الف)

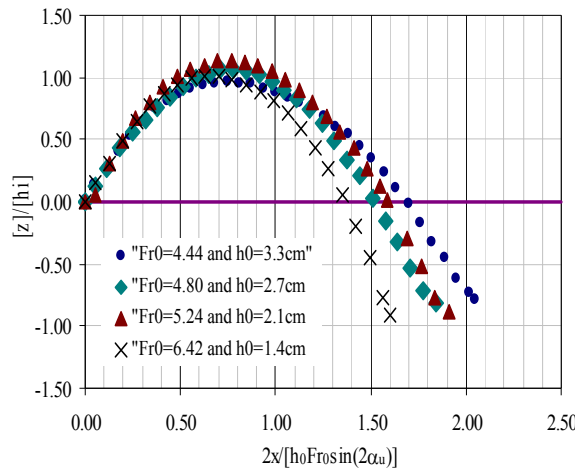


(ب)

شکل ۶- مسیر پرتابه بدون بعد ($L_a = 2\text{cm}$, $\gamma = 45^\circ$) (الف) حد بالایی (ب) حد پایینی

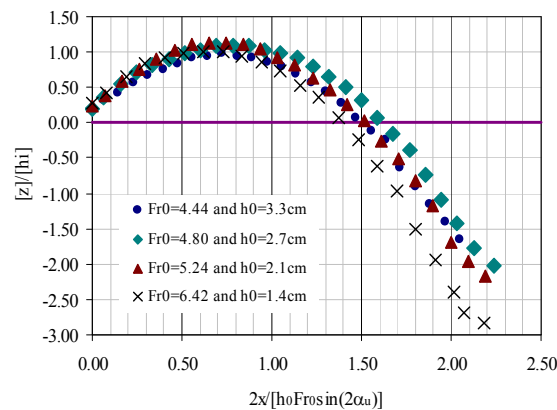
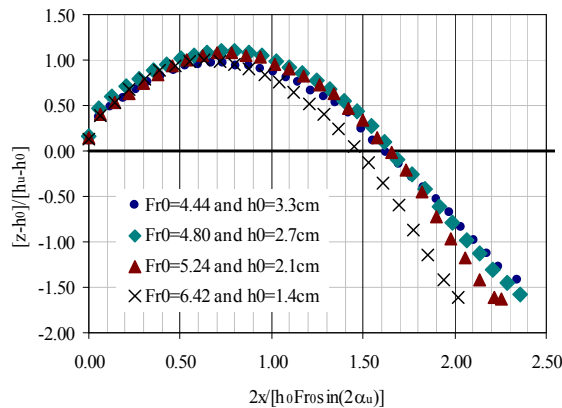


(الف)



(ب)

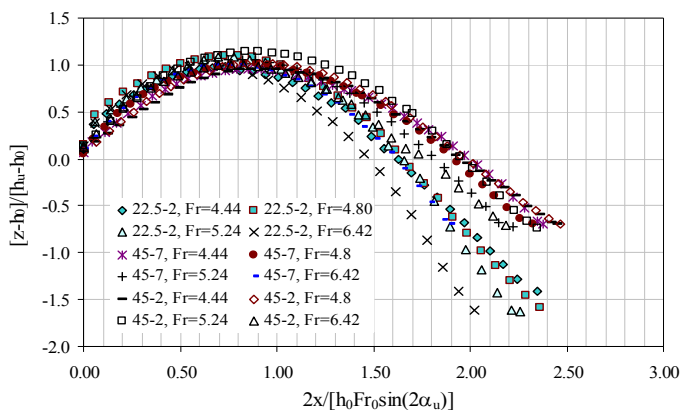
شکل ۷- مسیر پرتابه بدون بعد ($L_a = 7\text{ cm}$, $\gamma = 45^0$) (الف) حد بالایی (ب) حد پایینی



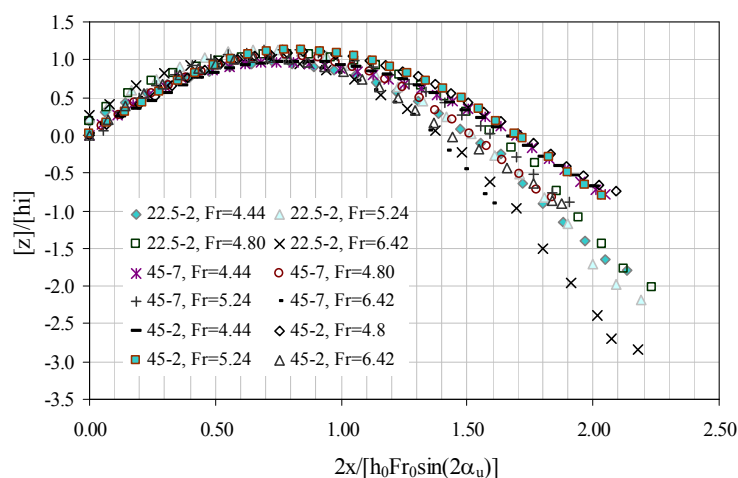
شکل ۸- مسیر پرتابه بدون بعد ($L_a = 2\text{ cm}$, $\gamma = 22.5^0$) (الف) حد بالایی (ب) حد پایینی

صرف نظر از زاویه پرتاب‌کننده، تمامی داده‌های حاصل از برداشت مسیر پرتابه بر روی یک شکل ترسیم شدند که شکل (۹) این موضوع را نمایش می‌دهد.

با توجه با شکل‌های (۶) الی (۸) کلیه داده‌های حاصل از برداشت مسیر پرتابه برای آزمایش‌های شاهد بر روی محورهای بدون بعد آورده شده است. برای بررسی بهتر حد بالایی و پایینی،



(الف)



(ب)

شکل ۹- مختصات بدون بعد مسیر پرتابه در آزمایش های شاهد (الف) حد بالایی (ب) حد پایینی

توجهی دارند. این در حالی است که از نقطه اوج به بعد تقابل نیروی اصطکاکی و نیروی وزن بر نیروی مومتم باعث سقوط پرتابه گشته و از آنجایی که در حالت های مختلف پرتابه مقادیر این نیروها متفاوت بوده و شرایط فیزیکی حاکم بر آنها متفاوت می شود مکانیزم پرتابه باید مقداری اصلاح گردد. به خصوص این که در جریان پرتابه آب علیرغم پرتابه یک جسم جامد علاوه بر اصطکاک با هوا، برخورد ذرات سیال به یکدیگر و همچنین پودر شدن آب عامل مهمی در سقوط زودتر جریان آب خواهد شد. به عبارت دیگر در اکثر مواقع در این تحقیق مشخص گردید که با ترسیم رابطه تئوری حرکت پرتابه برای یک جسم جامد

در شکل (۱۰) کلیه داده های مختصاتی برداشت شده برای آزمایش های شاهد به تفکیک مسیر پرتابه برای حد بالایی و پایینی آورده شده است. همانطوری که در این شکل مشاهده می شود، در قسمت رفت، منحنی های جریان هم برای حد بالایی و هم برای حد پایینی مسیر، اختلاف کمی با یکدیگر داشته و این در حالی است که برای قسمت برگشت این اختلاف در حالت های مختلف بیشتر می شود. دلیل اصلی این موضوع به این صورت می باشد که در بخش ابتدایی نیروهای مومتمی جریان باعث پرتاب جت در هوا گشته و تا نقطه اوج با مسیر نیروهای مومتمی بر نیروهای اصطکاکی فزونی قابل

از نظر آماری با توجه به شکل (۴-۵) می‌توان نتایج حاصل از این تحقیق برای را به صورت زیر خلاصه نمود:

$$1.89 \leq X_{\max} = \left[\frac{2x}{h_0 Fr_0^2 \sin 2\alpha_u} \right]_{\max} \leq 2.45 \quad (۱۱-الف)$$

$$0.96 \leq Z_{\max} = \left[\frac{z - h_0}{h_u - h_0} \right]_{\max} \leq 1.14$$

$$1.60 \leq X_{\max} = \left[\frac{2x}{h_0 Fr_0^2 \sin 2\alpha_i} \right]_{\max} \leq 2.24 \quad (۱۱-ب)$$

$$0.97 \leq Z_{\max} = \left[\frac{z_0}{h_i} \right]_{\max} \leq 1.13$$

گردید:

$$z' = ax^2 + bx + c \quad (۱۲)$$

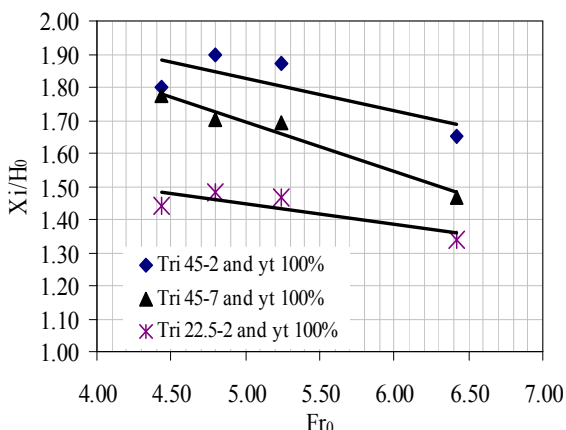
که z' شکل بدون بعد Z بر اساس معادله (۹) برای منحنی برازش یافته می‌باشد. بر اساس محاسبات آماری مقادیر ضرایب برای حد بالایی و پایینی مسیر پرتابه به شرح جدول (۱) برآورد گردید. بر اساس نتایج آماری شکل (۱۰) منحنی برازش یافته بر روی داده‌های حد بالایی مسیر پرتابه را نمایش می‌دهد.

با شرایط اولیه یکسان، بخش برگشت منحنی، سریع‌تر فرونشست می‌یابد. در حالی که در حرکت پرتابه طول طی شده جسم بیشتر می‌باشد.

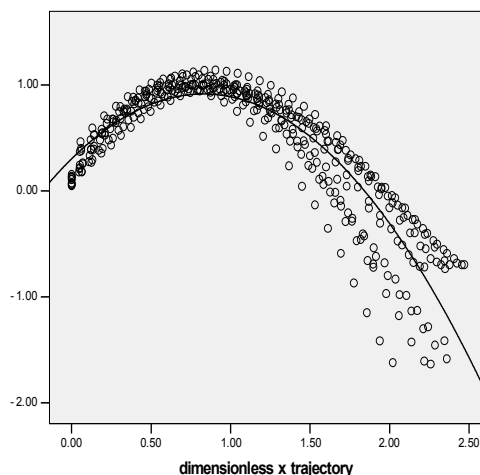
بر اساس روابط (۱۱) مقادیر حداکثر مربوط به مختصات بدون بعد مسیر پرتابه در آزمایش‌های تحقیق حاضر مشخص گردیده است. با توجه به این روبرو می‌توان محدوده پرتابه در شرایط واقعی را محاسبه نمود. بر اساس داده‌های استخراج شده به عنوان روابط بدون بعد مختصاتی برای مسیر پرتابه اقدام به محاسبات آماری گردید. در این راستا با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با توجه به اینکه بهترین رابطه قابل استخراج برای مسیر پرتابه معادله درجه دوم به فرم کلی زیر است معادله برازش داده شده برای کلیه حالات استخراج

جدول ۱- ضرایب و مشخصات آماری معادله برازش بر مسیر پرتابه

ردیف	a	b	c	R ²	RMSE	E
حد بالایی	-۰/۸۹۱	۱/۴۷۶	۰/۳۰۳	۰/۸۲	۰/۲۱	۰/۱۹
حد پایینی	-۱/۵۰۱	۲/۳۱۸	۰/۱۰۸	۰/۸۹	۰/۱۴	۰/۱۵



شکل ۱۱- تغییرات Xi/H_0 و Xu/H_0 نسبت به سایر متغیرهای بدون بعد



شکل ۱۰- منحنی برازش و داده های مسیر پرتابه حد بالایی در آزمایش های شاهد

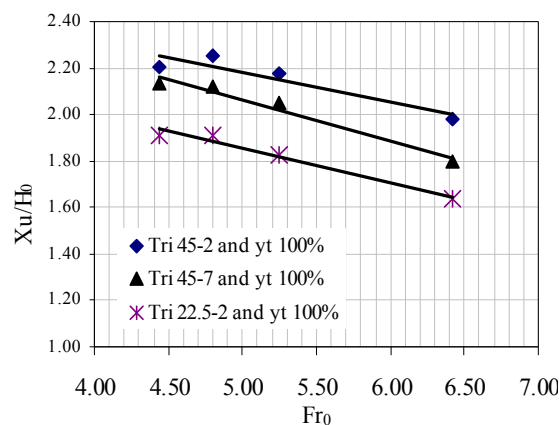
بر اساس شکل (۱۲) تغییرات Xu/H_0 و Xi/H_0 نسبت به عدد فرود در پرتاب کننده در زوایای مختلف آن ترسیم گردیده است. مطابق با شکل (۱۲) با افزایش عدد فرود در کلیه پرتاب کننده های مثلثی نسبت Xu/H_0 و Xi/H_0 کاهش می یابد. از نظر کمی با افزایش عدد فرود جریان از $4/5$ به $6/5$ مقدار Xu/H_0 به طور متوسط $14/3$ درصد کاهش می یابد که این مقدار برای Xi/H_0 به مقدار $13/6$ درصد می باشد. همچنین با توجه به این شکل مشخص است که بیشترین مقادیر طول طی شده بدون بعد مربوط به زاویه پرتاب کننده 45 درجه با کانال آستانه 2 سانتیمتر می باشد. در این راستا نیز به طور متوسط در پرتاب کننده با زاویه 45 درجه و طول کانال آستانه 2 سانتیمتر نسبت به حالت 7 سانتیمتر در یک عدد فرود مشخص، پارامتر Xu/H_0 به مقدار $7/2$ درصد و نسبت به زاویه $22.5/5$ درجه $14/2$ درصد بیشتر می باشد. در سایر حالات نیز می توان با استفاده از مقادیر کمی نتایج مشابهی بدست آورد. در ادامه بررسی مولفه های مختلف مسیر پرتابه و تاثیر متغیرهای مختلف بر آن، اثر همزمان پرتاب کننده طول کانال آستانه و زاویه سازه

لذا با این توضیحات معادله نهایی مسیر پرتابه به صورت بدون بعد برای حد بالایی و پایینی آن به شرح زیر بدست آمد:

$$z' = -0.891X^2 + 1.476X + 0.303 \quad (13)$$

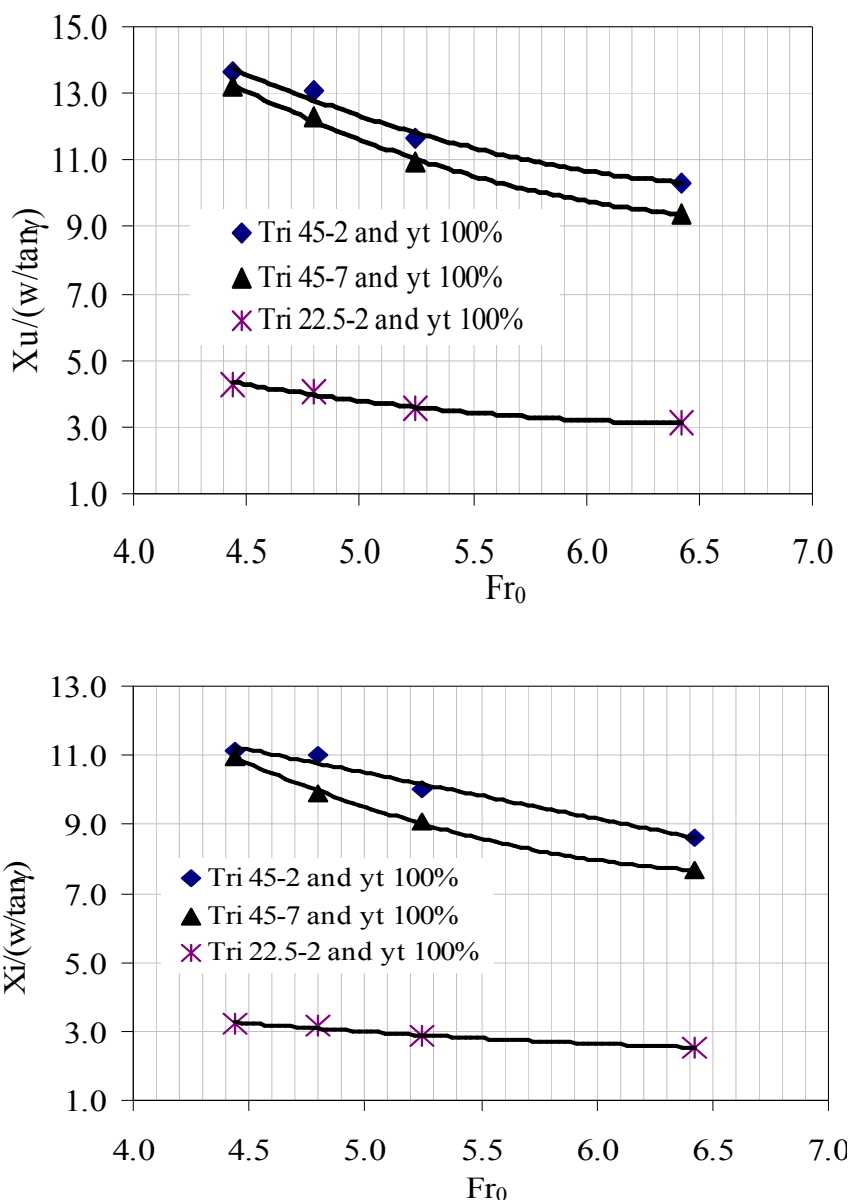
$$z' = -1.501X^2 + 2.318X + 0.108 \quad (14)$$

برای پارامتر X_u و X_i که در واقع طول افقی مسیر طی شده توسط پرتابه برای حد بالایی و حد پایینی هستند نیز این محاسبات صورت پذیرفت که در شکل (۱۱) آورده شده است.



نشان دهنده طول افقی بخش شیبدار مثلث می‌باشد که در ادامه طول کانال آستانه، L_a ، قرار می‌گیرد. شکل (۱۲) این حالت را نمایش می‌دهد:

پرتاب‌کننده به صورت $w/\tan \gamma$ (که w ارتفاع لبه سازه پرتاب‌کننده جریان نسبت به کف آن می‌باشد) در متغیر طول طی شده مسیر پرتابه مورد بررسی قرار گرفت. در واقع رابطه $w/\tan \gamma$



شکل ۱۲- تغییرات $Xu/(w/\tan \gamma)$ و $Xi/(w/\tan \gamma)$ نسبت به عدد فرود

توجه به زاویه نسبتاً کم مثلث) به مراتب بیشتر از حالت ۴۵ درجه می‌باشد، باعث می‌شود که برای هر دوی $Xu/(w/\tan \gamma)$ و $Xi/(w/\tan \gamma)$ کاهش

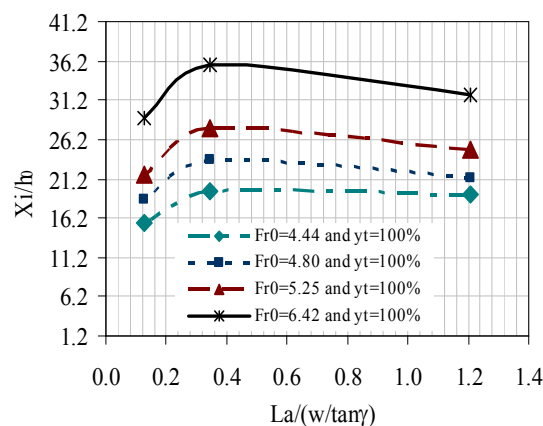
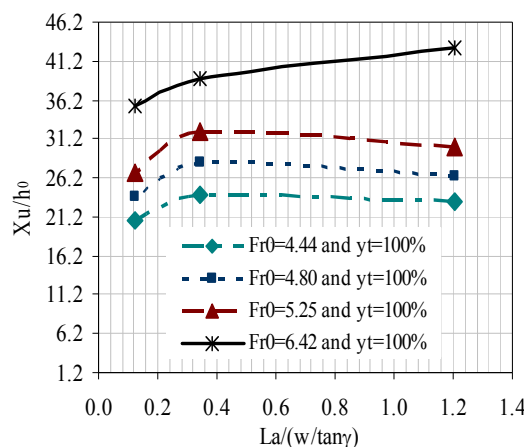
همانطوری که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود برای پرتاب‌کننده مثلثی با زاویه ۲۲/۵ درجه به دلیل اینکه طول بخش افقی قسمت شیبدار (با

با توجه به نتایج و شکل (۱۳) از نظر کمی با افزایش $La/(w/\tan\gamma)$ از ۰/۱۲۶ به ۰/۳۴۵ برای حد بالایی مسیر پرتابه مقدار Xu/h_0 به طور متوسط ۱۷/۶ درصد افزایش یافته و برای حد پایینی این مقدار افزایش بطور متوسط برابر با ۲۶ درصد می باشد که این شرایط نیز نشان می دهد که ضخامت جت پرتابه نسبتاً کاهش یافته است. به لحاظ عددی با تغییر عدد فرود جریان از ۴/۴۴ به ۶/۴۲ به طور کلی و متوسط برای کلیه حالات پرتاب کننده، مقدار نسبت طول طی شده حد بالایی و پایینی به ترتیب ۷۲/۵ و ۷۷/۷ درصد افزایش یافته است.

نتیجه گیری

بازوی صعودی تراژکتوری هم برای حد بالایی و هم برای حد پایینی مسیر، اختلاف کمی با یکدیگر داشته و این در حالی است که در بازوی نزولی این اختلاف در حالت های مختلف بیشتر می شود. علت این امر تاثیر متوم در بازوی صعودی و غلبه نیروهای اصطکاک و وزن در بازوی نزولی بازوی نزولی می باشد. بیشترین طول طی شده ی جت برای پرتاب کننده ۴۵ درجه با طول آستانه ۲ سانتی متر و کمترین برای پرتاب کننده ۴۵ درجه با طول آستانه ۲ سانتی متر می باشد. با افزایش زاویه پرتاب کننده ضخامت جت خروجی کاهش پیدا میکند. طول آستانه تاثیر کمی بر کاهش یا افزایش طول جت خروجی از پرتاب کننده دارد. با کاهش $La/(w/\tan\gamma)$ که در واقع مربوط به هندسه پرتاب کننده است، جریان روی پرتاب کننده توسعه کامل نخواهد یافت و عمل پرتاب جریان با حداکثر ظرفیت رخ نخواهد داد. حال با افزایش پارامتر هندسی پرتاب کننده در واقع شرایط برخاست جت فراهم شده و باعث افزایش

قابل ملاحظه ای نسبت به حالت ۴۵ درجه داشته باشند. لذا در شکل (۱۳) در واقع تاثیر زاویه پرتاب کننده برای طول طی شده مسیر پرتابه کاملاً واضح می باشد. از نظر کمی به طور متوسط برای نسبت طول طی شده مسیر حد بالایی در زاویه ۴۵ درجه نسبت به زاویه ۲۲/۵ درجه، مقادیر در حدود ۳/۶۷ برابر می باشد، در حالی که برای مسیر حد پایینی این افزایش در حدود ۳/۲ برابر می باشد. در ادامه برای بررسی بهتر اثر طول کانال آستانه از پارامتر بدون بعد $La/(w/\tan\gamma)$ استفاده گردید. برای این منظور پارامترهای شاخص مسیر پرتابه در مقابل این پارامتر ترسیم گردیدند. شکل (۱۳) تغییرات Xu/h_0 و Xi/h_0 را نشان می دهد.



شکل ۱۳- تغییرات طول طی شده مسیرهای پرتابه (الف) حد بالایی (ب) حد پایینی

- Genetti A.J. 1990. Engineering and Design Hydraulic Design of Spillways. U.S. Army Corps of Engineers Washington. DC.
- Guyen, 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.
- Hager W.H. 1992. Energy Dissipators and Hydraulic Jump. Water Science and Technology Library. Kluwer Academic Pub, Netherlands. 627pp
- Juon R. and Hager W.H. 2000. Flip Bucket Without and With Deflectors. Journal of Hydraulic Engineering. 126(11):837-845.
- Lenau C.W. and Cassidy J.J. 1969. Flow through spillway flip bucket. Journal of Hydraulic Division, ASCE. 95 (5): 633-648.
- Mason P.J. 1993. Practical guidelines for the design of flip bucket sand plunge pools. Water Power and Dam Constr. U.K. 45(9):40-45.
- Peterka A.J. 1983. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. Bureau of Reclamation, Denver. 244pp
- Rajan B.H and Shivashankara K.N. 1980. Design of trajectory buckets. Irrigation and Power, 37(1): 63-76.
- Shafai-Bejostan M. and Neisi K. 2009. A new roughened bed hydraulic jump stilling basin. Asian journal of Applied Sciences, (1): 436-445.
- Steiner, R., Heler, V., Hager, W.H. and Minor, H.E. 2008. Deflector ski jump hydraulic. Journal of hydro-technology, 8: 917-923.
- Tierney, D.G. and Hendeson, F.M. 1963. "Flow at the toe of a spillway." La Houille Blanche, Grenoble, France, 18(1): 42-50.
- Vischer D.L. and Hager W.H. 1995. Energy dissipaters. IAHR Hydr. Struct. Des. Manual 9. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- پارامترهای مسیر پرتابه خواهد شد. در دبی های کمتر و یا به عبارتی در اعداد فرود بیشتر طول طول جت خروجی از پرتاب کننده کمتر است. به طور کلی با افزایش عدد فرود، طول جت کاهش می یابد. از نظر کمی با افزایش $La/(w/\tan\gamma)$ از $0/126$ به $0/345$ در حد بالایی مقدار Xu/h_0 به طور متوسط $17/6$ درصد و برای حد پایینی بطور متوسط 26 درصد افزایش یافته است. همچنین با تغییر عدد فرود جریان از $4/44$ به $6/42$ به طور متوسط در کلیه حالات پرتاب کننده، نسبت طول طی شده حد بالایی و پایینی به ترتیب $72/5$ و $77/7$ درصد افزایش یافته است.

منابع مورد استفاده

- بارانی، عباسی پروین. ۱۳۸۸. استهلاك انرژی در سازه‌های هیدرولیکی (مطالعه میدانی سازه‌های مستهلك کننده انرژی). جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، ۲۳۰ صفحه.
- 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.
- Balloffet A. 1961. Pressures on spillway flip buckets. Journal of Hydraulic Division, ASCE. 87(5): 87-98.
- Chanson, R. 2004. The Hydraulics of Open Channel Flow An Introduction. Elsevier Butterworth heinemann. 496pp
- Chen T-C. And Yu Y-S. 1965. Pressure distribution on spillway flip buckets. Journal of Hydraulic Division, ASCE. 91(2): 51-63.
- Chow V.T. 1959. Open-channel hydraulics. McGraw Hill Book Company, New York. 700pp



Effect of approach length and angle of ski jump on the outlet trajectory

Mona Omidvari Nia^{1*} and Seyed Habib Musavi-Jahromi²

1*) Ph.D Candidate of ShahidChamran University, Ahwaz, Iran;
corresponding author email: mona_omidvarinia@yahoo.com

2) Associate Professor and head of department of Hydraulic structure, ShahidChamran University, Ahwaz, Iran.

Received: 06-01-2012

Accepted: 21-04-2012

Abstract

Design and optimum selection of the hydraulic structures characteristics, plays very important role in water resources management in agricultural sector. In this study, ski jump of triangular flip bucket is investigated. To process the project, a physical model including a flume and an ogee weir were designed and constructed. Three flip bucket including a flip bucket with 45 degree angle and 2 cm length, flip bucket with 45 degree angle and 7 cm length and a flip bucket with 22.5 degree angle and 2 cm length. Four discharges and their corresponding Froude number were considered. The length of trajectory, upper and lower limits of jet flow were then measured and the required data were collected. The results indicated that increasing of bucket angle causes the thickness of jet trajectory increases. It is shown that Flip bucket with 45 degree angle and 7 cm length of the approaching canal is more effective than the others. It is further shown that the length of approaching canal has no significant role on the jet trajectory. Moreover, it is revealed that the angle of the bucket plays a significant role on the jet trajectory's characteristics. Increasing Froude number from 4.44 to 6.42 lead to upper and inferior of jet trajectory to be increased to 72.5 and 77.7 percents, respectively.

Keywords: approach length; jet trajectory; physical model; tri-angular Flip bucket

