بررسی تأثیر زاویه جام بر ابعاد آبشستگی در پاییندست پرتاب کننده جامی مستغرق سحر پناهی^{(*}، داود فرسادیزاده^۲، علی حسینزاده دلیر^۳، فرزین سلماسی^۴ و امیر حسین ناظمی^۵

چکیدہ

زاویه لبه جام به عنوان پارامتر اصلی طراحی پرتاب کننده جامی مستغرق، نقش به سزایی در استهلاک انرژی و آبشستگی در پاییندست این سازه دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر زاویه جام بر روند آبشستگی، تعیین بهترین زاویه جام و ارایه معادلات رگرسیونی غیرخطی برآورد ابعاد آبشستگی در پاییندست این سازه است. به همین منظور ۶۴ آزمایش در شرایط هیدرولیکی مختلف و روی ۴ مدل آزمایشگاهی با زوایای جام °۳۰، ۵۳۰، ۴۰۵ نجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه جام از °۳۰ به °۴۵ حداکثر عمق حفره، گسترش طولی حفره، ارتفاع پشته بالادست و پاییندست و ارتفاع نسبی موج به ترتیب به مقدار متوسط ۱۵۰٪، ۲۷٪، ۱۱۰۰٪ ۲۴٪ و ۲۲۳٪ افزایش می یابند. بر اساس نتایج این پژوهش زاویه °۳۰ گزینه خوبی برای کاهش حداکثر عمق حفره آبشستگی، حجم آبشستگی، ارتفاع پشتهها و ناهمواری سطح پایاب تا کمینه حد ممکن و زاویه *۴۰ نیز گزینه مناسبی جهت افزایش فاصله ابتدای حفره، عمیقترین نقطه حفره و موج تا بیشینه حد ممکن و زاویه این زوایا دارای فواید کاهش آبشستگی بستر، کاهش خوردگی جام (در اثر گیر افتادن ذرات در عملکرد نامتقارن سرریز) و کاهش اثرات منفی ناهمواری سطح پایاب بر عملکرد تخلیه کنندهها و حشیه رودخانه هستند.

واژههای کلیدی: آبشستگی، پرتاب کننده جامی مستغرق، رگرسیون غیرخطی، زاویه لبه جام، مستهلک کننده انرژی.

ارجاع: پناهی س. فرسادیزاده د. حسینزاده دلیر ع. سلماسی ف. و ناظمی ا. ح. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر زاویه جام بر ابعاد آبشستگی در پاییندست پرتاب کننده جامی مستغرق. مجله پژوهش آب ایران. ۱(۳):۱۸۵–۱۹۹.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۱ - کارشناس ارشد سازههای آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۵- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
 * نویسنده مسئول : <u>panahi7346@yahoo.com</u>

تویستان نستون . ۲۹۰٬۱۱۰٬۹۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۲ تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۹

مقدمه

با احداث سدهای بلند در مسیر رودخانه، تخلیه سیلاب مازاد بر گنجایش مخزن سد به وسیله سرریزها انجام می شود. با توجه به اینکه سرریز جریان را از حالت زيربحرانى به فوقبحرانى تبديل مىكند، انرژى جنبشى جریان در انتهای سرریز بسیار زیاد است و می تواند موجب فرسایش در پاییندست سرریز شود. بنابراین یک سرریز نیاز به سازه مستهلک کننده انرژی در قسمت انتهایی دارد تا انرژی مازاد جریان خروجی با عبور از آن کاهش یافته و میزان فرسایش و آبشستگی در پاییندست سرریز به حداقل برسد. در سالهای اخیر استفاده از پرتاب کنندههای جامی به دلیل مزایای اقتصادی این سازه در مقایسه با سایر مستهلک کنندهها مثل حوضچه آرامش، بیشتر توجه توجه شده است. همچنین پرتاب کننده جامی در حالت مستغرق به دلیل شرایط مناسبتر استهلاک انرژی، آبشستگی کمتری را نسبت به حالت آزاد ایجاد میکند که این مطلب بیانگر اهمیت کاربرد پرتاب کننده جامی مستغرق است. با این وجود عدم کنترل آبشستگی در پاییندست این سازه باعث پیشرفت حفره آبشستگی به سمت سازه، کاهش طول تراوش از مخزن سد و افزایش جریان زیر سازهای شده، می تواند پایداری سد، سرریز و سازههای مجاور را به خطر انداخته و حتی منجر به شکست آنها شود. بنابراین پیشبینی موقعیت و دامنه گسترش آبشستگی در پاییندست این سازه، به خصوص هنگامی که بستر پاییندست آبرفتی باشد ضروری است. با برآورد ابعاد حفره آبشستگی قبل از احداث این سازه، در صورت لزوم می توان از حوضچه کاهش انرژی، سنگ چین یا بلوکهای بتنی به منظور مهار و یا کاهش آبشستگی استفاده کرد و از بروز خطرات احتمالی جلوگیری کرد. تاکنون مطالعات زیادی روی آبشستگی ناشی از جتهای پرتابی انجام شده است. میسن و آروموگام (۱۹۸۵) تمام معادلاتی را که پژوهشگران جهت برآورد حداکثر عمق آبشستگی جتهای پرتابی ارایه کرده بودند، از جمله معادلات ورونزه (۱۹۳۷)، چی و پادیار (۱۹۶۹)، چی وکانگ (۱۹۷۴)، مارتینز (۱۹۷۵)، ماچادو (۱۹۸۰)، سازمان مطالعه و توسعه تجهیزات برق فرانسه (۱۹۸۰)،

مؤسسه ملی علم و فناوری آزمایشگاهی هیدرولیک ً (۱۹۸۱) را جمع آوری و تجزیه و تحلیل کردند. میسن و آروموگام (۱۹۸۵) به منظور تعیین دقت معادلات مختلف، از ۴۷ داده مدل فیزیکی و ۲۶ داده صحرایی استفاده کرده و نتیجه گرفتند که بهترین جواب برای دادههای مدل آزمایشگاهی را معادلات مارتینز (۱۹۷۵) و چی و کانگ (۱۹۷۴) و سازمان مطالعه و توسعه تجهیزات برق فرانسه (۱۹۸۰) ارایه دادهاند. بر اساس مطالعات میسن و آروموگام (۱۹۸۵)، در نظر گرفتن پارامتر عمق پایاب، باعث افزایش دقت معادلات خواهد شد که فقط شامل پارامترهای دبی جریان، ارتفاع ریزش و اندازه ذرات هستند و به این ترتیب معادله جدیدی ارایه کردند. استرلچاک (۱۹۶۹) آبشستگی پاییندست پرتاب کننده جامی آزاد را بر روی بستر شنی بررسی کرد. نتایج آزمایشهای وی نشان داد که دو و سه برابر کردن دبی موجب افزایش ۵۰ و ۸۰ درصدی عمق حفره آبشستگی می شود. همچنین با افزایش زاویه یرتاب از [°]۳۰ به [°]۴۵ حداکثر عمق آبشستگی ۱۶ درصد افزایش می یابد که ناشی از افزایش مولفه قائم در اثر زاویه تندتر جت هنگام برخورد به پایاب است. عظمتاله و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از شبکههای عصبی مصنوعی، حداکثر عمق آبشستگی یاییندست برتاب کنندههای جامی آزاد را پیشبینی کردند و دریافتند که روش شبکه عصبی مصنوعی پیشبینیهای دقیقتری نسبت به معادلات رگرسیونی و تجربی متداول دارد، همچنین استفاده از اطلاعات شعاع و زاویه جام، اندازه ذرات و عمق پایاب به همراه اطلاعات مورد نیاز معادلات تجربی که دبی در واحد عرض و ارتفاع ریزش میباشند ضروری است و استفاده از متغیرهای بدون بعد نتایج بهتری نسبت به متغیرهای خام میدهد. معادلات ذکر شده در جدول ۱ ارایه شدهاند که q دبی در واحد عرض (متر مكعب بر ثانيه بر متر)، θ زاويه جام (برحسب رادیان)، d₅₀ و d₉₀ قطری که به ترتیب ۵۰ و ۹۰ درصد ذرات از آن کوچکترند، H ارتفاع ریزش، R شعاع جام، Y_t عمق پایاب و D حداکثر عمق آبشستگی از سطح یایاب برحسب متر هستند.

²⁻ Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas Laboratorio de Hidráulica (INCYTH-LHA)

¹⁻ Societe Francaise d'Etudes et de Realisation d'Equipement Electriques (SOFRELEC)

ۑۘۛۛڗۅۿۺڰڔ	سال	معادله
ورونزه	۱۹۳۷	$D = 1.9q^{0.54}H^{0.225}$
چی و پادیار	1989	$D = 2.126q^{0.67}H^{0.18} / d_{50}^{0.063}$
چی و کانگ	1974	$D = 1.663 q^{0.6} H^{0.2} / d_{50}^{0.1}$
مارتينز	۱۹۷۵	$D = 1.5 q^{0.6} H^{0.1}$
ماچادو	۱۹۸۰	$D = 1.35q^{0.5}H^{0.3145} / d_{90}^{0.0645}$
سازمان مطالعه و توسعه تجهيزات برق فرانسه	۱۹۸۰	$D = 2.3q^{0.6}H^{0.1}$
مؤسسه ملی علم و فناوری آزمایشگاهی هیدرولیک	۱۹۸۱	$D = 1.413q^{0.5}H^{0.25}$
میسن و آروموگام	۱۹۸۵	$D = (6.42 - 3.1H^{0.1})q^{(0.6 - 0.0033H)}H^{(0.15 - 0.005H)}Y_t^{0.15}g^{-0.3}d^{-0.1}$ $d = d_{90}$ برای پروتوتیپ $d = d_{50}$ برای مدل
استرلچاک	1989	$\frac{D}{H} = 3.695 (\frac{q^2}{gH^3})^{0.3} (\frac{H}{d})^{0.1} (\theta)^{0.36}$
عظمتاله و همکاران	۲۰۰۵	$\frac{D}{Y_t} = 6.914(\frac{q}{\sqrt{gY_t^3}})^{0.694}(\frac{H}{Y_t})^{0.0815}(\frac{R}{Y_t})^{-0.233}(\frac{d_{50}}{Y_t})^{0.196}(\theta)^{0.196}$

جدول ۱- بعضی معادلات موجود برای پیشبینی حداکثر عمق آبشستگی جتهای پرتابی

سرریز اوجی، شوت و پرتاب کنندههای جامی غلتکی از جنس پلیاتیلن و توسط دستگاه برش CNC¹ لیزری با دقت ۰/۱ میلیمتر ساخته شدند. مدل سرریز اوجی بر اساس استاندارد سازمان عمران اراضی ایالات متحده^۲ به عرض ۲۵ سانتیمتر، ارتفاع ۳۵ سانتیمتر، طول ۳۹ سانتیمتر طراحی شد که دارای یک شوت با شیب ۲۰:/۱ و پنجه با شعاع قوس ۱۲ سانتیمتر در انتهای شوت بود. چهار مدل آزمایشگاهی جام با الگوبرداری از پرتاب کننده جامی مستغرق سد گراندکولی (شکل ۱) (که توسط سازمان عمران اراضی ایالات متحده در سال ۱۹۳۳ طراحی و اجرا شد) با شعاع ثابت ۱۲ سانتیمتر و زوایای متفاوت °۳۰ شد) با شعاع ثابت ۱۲ سانتیمتر و زوایای متفاوت °۳۰



شکل ۱- پرتاب کننده جامی مستغرق سد گراندکولی

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر زوایای مختلف لبه پرتاب کننده جامی مستغرق بر ابعاد آبشستگی در پاییندست سازه و تعیین بهترین زاویه برای کاهش ابعاد آبشستگی و ناهمواری سطح پایاب و همچنین استخراج معادلات بدون بعد برآورد ابعاد آبشستگی که کارایی بیشتری نسبت به معادلات با بعد دارند، است. به همین منظور ابتدا با تعیین پارامترهای مؤثر بر آبشستگی و تحلیل ابعادی روی آنها پارامترهای بیبعد به دست آمد. سپس با انجام آزمایشهای متعدد روی مدلهای آزمایشگاهی، دادههای لازم استخراج شد و نمودارهای تأثير زاويه جام بر ابعاد حفره، پشتهها و موج تجزيه و تحلیل شد و روند تغییرات مشخص شد. همچنین به کمک روش آماری و برازش مدلهای چند متغیره، معادلات رگرسیونی غیرخطی بیبعد با بهترین ضریب همبستگی انتخاب شدند و در انتها دقت نتایج به دست آمده با استفاده از دادهها و معادلات یژوهشگران دیگر، ارزیایی شد.

مواد و روشها

آزمایشها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در یک فلوم مستطیلی فلزی- شیشه ای به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر با شیب کف ۰/۰۰۲۲ انجام شد. مدل آزمایشگاهی شامل

¹⁻ Computerized Numerical Controlled (CNC)

²⁻ United State Bureau of Reclamation (USBR)



شکل ۲- مدل آزمایشگاهی سرریز اوجی و پر تاب کنندههای جامی متحرک با زوایای مختلف[°]۳۰، [°]۳۵ و [°]۴۵

ارتفاع کف و لبه جام در تمام مدلها به ترتیب ۴/۴ و ۱۱/۶ سانتیمتر بود و لبه جام با یک شیب منفی ملایم ۱۵° به اندازه ۲۰۰۵ شعاع جام (۶ میلیمتر) پایین آمده و همتراز با مواد بستر قرار می گرفت. برای ایجاد بستر متحرک بعد از پرتاب کننده جامی، ۱/۴ متر از طول فلوم به ارتفاع ۱۱ سانتیمتر از رسوبات یکنواخت شن به قطر متوسط ۳ میلیمتر و انحراف معیار ۱/۳ و چگالی ۲/۵۶ پر شد و بقیه کانال توسط کف کاذب با منطقه مورد آزمایش همتراز شد. شکل ۳ منحنی دانهبندی مواد بستر را نشان میدهد.



برای تعیین زمان تعادل، یک آزمایش ۱۲ ساعته با دبی و عمق پایاب مشخص انجام شد و با اندازهگیری پروفیل طولی آبشستگی (توسط لیمینیمتر) در محور کانال و در زمانهای مشخص از شروع آزمایش، حداکثر عمق آبشستگی در هر زمان معلوم شد. سپس منحنی تغییرات حداکثر عمق حفره آبشستگی نسبت به ارتفاع سرریز در

زاويه لبه جام	دبی در واحد عرض	عمق پاياب	ارتفاع ريزش	شعاع جام	قطر متوسط ذرات			
(درجه)	(متر مكعب بر ثانيه بر متر)	(سانتىمتر)	(سانتىمتر)	(سانتىمتر)	(میلیمتر)			
۳۰°-۴۵°	•/• 187-•/88	8-18	۱۴/۸-۲۲/V	١٢	٣			

جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترهای مختلف

برابر زمان در طول ۱۲ ساعت در شکل ۴ رسم شد. مشاهده این نمودار و نمودارهای دیگر نشان داد که بعد از حدود ۵ ساعت، نرخ افزایش عمق آبشستگی کاهش یافته و تقریبا" به صفر میرسد و آبشستگی به تعادل نسبی میرسد.



مراحل انجام هر آزمایش به ترتیب شامل تنظیم دبی (توسط شیر فلکه و سرریز مثلثی)، تراز کردن سطح بستر (توسط ماله) و تنظیم تراز پایاب (با باز کردن تدریجی دریچه انتهایی کانال) در هنگام شروع آزمایش، اندازه گیری تراز آب بالادست و پاییندست و تراز آب در ورودی جام و روى تقعر جام و ارتفاع موج (توسط سطحسنجها) در حين آزمایش، قطع آزمایش بعد از ۵ ساعت با بستن دریچه و شیر فلکه ورودی کانال و تخلیه آب کانال و در نهایت برداشت پروفیل حفره آبشستگی و پشتههای بالادست و پایین دست با سطحسنج است. با آزمایش هر یک از چهار پرتاب کننده جامی در چهار دبی و چهار عمق پایاب مختلف در مجموع ۶۴ آزمایش انجام شد. که محدوده تغییرات پارامترهای مختلف در جدول ۲ ارایه شده است. مكانيسم آبشستگی پاييندست پرتاب كننده جامی مستغرق ساده و یارامترهای مؤثر بر آبشستگی که شامل مشخصات جریان، مواد بستر و سازه هستند در شکل ۵ دیده و در جدول ۳ معرفی میشوند.



شکل ۵- پارامترهای مؤثر در آبشستگی پاییندست پرتاب کننده جامی مستغرق

: دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) g : شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) h_u : ارتفاع پشته بالادست (متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : دبی جریان در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکمت بر متر) : در واحد عرض سریز (متر) : در واحد عرض سریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکی بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمک بر متر) : در واحد عرض سریز (مترمکی بر مترمکی ب مترمکی برمکی برمکی بر مترمکی بر مترمکی برمکی بر مترمکی بر مترمکی برد برد برد. برمکی برد. برمکی برمکی برمکی برمکی برمکی برمکی برمکی برد. ب	جدول ۳- معرفی پارامترهای دخیل در آبشستگی								
۲ : عمق پایاب بلافاصله پس از استهلاک جت (متر) d_{50} : قطر متوسط مواد بستر (متر) L_u : فاصله تاج پشته بالادست از لبه جام (متر) X	q : دبی جریان در واحد عرض سرریز ا	سرریز (مترمکعب بر ثانیه بر متر)	: شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)	h، ارتفاع پشته بالادست (متر) h ارتفاع پشته ا					
	ا عمق پایاب بلافاصله پس از استهلا : Y_t	استهلاک جت (متر)	: قطر متوسط مواد بستر (متر) : قطر م	فاصله تاج پشته بالادست از لبه جام (متر) : L_u					
زاویه لبه جام (رادیان) باردیان) : T : زمان از آغاز آبشستگی (ثانیه) : T_d : ارتفاع پشته پایین دست (متر) : t	(رادیان) : زاویه لبه جام : (T : زمان از آغاز آبشستگی (ثانیه)	h _d : ارتفاع پشته پایین دست (متر)					
: شعاع جام (متر) : فاصله تاج پشته پایین دست از لبه جام (متر) : معام (متر) : شعاع جام (متر) : فاصله تاج پشته پایین دست از لبه جام (متر) : شعاع جام (متر) : ش	R : شعاع جام (متر)		D : حداکثر عمق آبشستگی نسبت به سطح پایاب (متر)	لبه جام (متر) : فاصله تاج پشته پایین دست از لبه جام (متر) L L_d					
فخامت تیغه آب ورودی به جام (متر) به جام (متر) : حداکثر عمق آبشستگی نسبت به تراز اولیه بستر L_e : طول کل محدوده آبشستگی (متر) D	ضخامت تیغه آب ورودی به جام : D_1	ه جام (متر)	d _s : حداکثر عمق آبشستگی نسبت به تراز اولیه بستر (م ت ر)	طول کل محدوده آبشستگی (متر) : طول ک					
به) بسرعت جریان قبل از ورود به جام و در تراز پایاب (متر بر $L_s = L_s$ فاصله حداکثر عمق آبشستگی از لبه جام (متر) ($L_e - X_2$): گسترش طولی پشته پایین دست V	V ₁ : سرعت جریان قبل از ورود به جاه ثانیه)	به جام و در تراز پایاب (متر بر	فاصله حداکثر عمق آبشستگی از لبه جام (متر) $:L_s$	سترش طولی پشته پایین دست (L_e-x_2) : (متر)					
ا : ارتفاع ریزش یا اختلاف بین رقوم آب مخزن و پایاب (متر) X_1, X_2 نقطه ابتدا و انتهای حفره (متر) اس h_w : ارتفاع نسبی موج (متر) .	H : ارتفاع ريزش يا اختلاف بين رقوم	، رقوم آب مخزن و پاياب (متر)	نقطه ابتدا و انتهای حفره (متر) X_1, X_2	ارتفاع نسبی موج (متر) : ا h_w					
ب ، $ ho_s$ ، $ ho_s$ ، $ ho_w$ ، L_w : لزجت آب ،جرم حجمی آب، جرم حجمی مواد (X_2-X_1) : گستوش طولی حفرہ (متر) . L_w : فاصله موج از لبه جام (متر) تر	نازجت آب ،جرم حج: الم الم $ ho_s$ ، $ ho_w$ ، μ بستر	رم حجمی آب، جرم حجمی مواد	(متر) : گسترش طولی حفره (متر) ($X_2 - X_{ m l}$	فاصله موج از لبه جام (متر) : فاصله موج ا					

آناليز ابعادى

ابعاد حفره آبشستگی شامل $D_{,s}$, X_{1} , X_{2} , X_{1} , L_{s} , D ابعاد L_{a} , h_{u} , h_{u} , h_{u} می شامل h_{w} , h_{w} کو ابعاد موج شامل h_{w} , h_{u} مال موج شامل L_{w} و ابعاد موج معادله ۱ نمایش داده می شوند. با توجه به این که شعاع جام ثابت می باشد و ابعاد آب شستگی در زمان تعادل مد نظر است، پارامترهای R و آب منستگی در زمان تعادل مد نظر است، پارامترهای R و T حذف می شوند. با انتخاب سه متغیر تکراری T معادله ۲ و با روش باکینگهام پارامترهای بی بعد طبق معادله ۲ به دست می آیند.

$$\varphi = f_1(q, Y_t, \theta, H, D_1, g, \rho_w, \rho_s, \mu, d_{50}, R, T)$$
(1)

 $\varphi/Y_t = f_2(q/\sqrt{gY_t^3}, H/Y_t, D_l/Y_t, d_{50}/Y_t, (\rho_s - \rho_w)/\rho_w, \mu/\rho q, \theta)$ (Y) $+ q_2(g/\sqrt{gY_t^3}, H/Y_t, D_l/Y_t, d_{50}/Y_t, (\rho_s - \rho_w)/\rho_w, \mu/\rho q, \theta)$ (Y) $+ q_2(g/g + q_1) + g_1 + g_2(g/g + q_1) + g_1 + g_1$

 $SN = V_1 / \sqrt{g(s_s - 1)d_{s0}}$ به دست میآید که عدد $SN = V_1 / \sqrt{g(s_s - 1)d_{s0}}$ پایداری نامیده میشود ($V_1 = \sqrt{2gH}$). با توجه به اینکه در این پژوهش فقط یک نوع مواد بستر استفاده شده لذا پارامتر $(p_s - \rho_w) / \rho_w = S - 1$ ثابت بوده و حذف میشود (S چگالی ذرات بستر میباشد). بنابراین معادله آب شستگی به صورت زیر ساده میشود. $\phi / Y_t = f_3(Fr_t, SN, \theta, H / Y_t, d_{50} / Y_t)$ (\mathfrak{m}) $(\mathcal{L}_s / Y_t, n D / Y_t$ ($\mathcal{L}_s / Y_t, n h_u / Y_t$...

نتايج و بحث

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود هیدرولیک پرتاب کننده جامی مستغرق بر اساس تحمیل پرش هیدرولیکی به جریان روی برآمدگی منحنی شکل جام و تحت استغراق شدید پایاب می باشد که موجب شکل گیری موج در سطح آب، جریان غلتکی زیرگرد روی بستر ایجاد آبشستگی در پاییندست میشود.

آمیختن جریان ها به شکل غلتک موجب استهلاک انرژی و

پاییندست جام و جریان غلتکی روگرد در سطح آب روی جام میشود که تلاطم و اصطکاک داخلی ناشی از در هم



شکل ۶- الگوی جریان و مکانیسم آبشستگی پرتاب کننده جامی مستغرق

شکل ۷ نمودار تأثیر زاویه جام بر پروفیل طولی آبشستگی در یک شرایط ثابت جریان است. برای تعیین روند قطعی و قابل تعمیم تغییرات در شرایط متفاوت دبی و پایاب، نمودارهای بیبعد تأثیر زاویه جام بر ابعاد آبشستگی در شکلهای ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و برای تعیین مقدار متوسط تغییرات، نمودارهای میلهای متوسط درصد مقدار متوسط تغییرات، نمودارهای میلهای متوسط درصد مقدار متوسط تغییرات، نمودارهای میلهای متوسط درصد مدم ۲۰۳ به ۵۴ با میانگین گیری از دادههای پانزده آزمایش نمودارهای بیبعد شکلهای ۸ تا ۱۱ نشان میدهد که با افزایش زاویه جام از °۳۰ به ۵۴ پارامترهای حداکثر عمق آبشستگی، گسترش طولی حفره و پشته پاییندست، ارتفاع پشته بالادست و پاییندست و ارتفاع موج روند کاملا" افزایشی دارند.

مقدار متوسط این تغییرات در نمودارهای میلهای شکل ۱۲ قابل مشاهده است به طوری که با افزایش زاویه جام از °۳۰ به °۴۵ حداکثر عمق آبشستگی به طور متوسط ۱۵۰ درصد، گسترش طولی حفره به طور متوسط ۲۷ درصد، ارتفاع پشته بالادست به طور متوسط ۱۰۲ درصد، ارتفاع پشته پاییندست به طور متوسط ۲۴ درصد، گسترش طولی پشته پاییندست به طور متوسط ۲۲ درصد درصد و ارتفاع نسبی موج به طور متوسط ۲۱۳ درصد افزایش مییابند. در حالی که پارامترهای محل وقوع

حداکثر عمق آبشستگی و فاصله موج روند افزایشی-کاهشی دارند و نمودار آنها به شکل سهمی است. به طوری که با توجه به نمودارهای میلهای شکل ۱۲، محل وقوع حداكثر عمق آبشستگی، با افزایش زاویه جام از °۳۰ به °۴۰، ابتدا ۱۹ درصد افزایش و سپس با افزایش زاویه از [°]۴۰ به [°]۴۵، ۵ درصد کاهش می یابد. بنابراین عمیق ترین نقطه حفره، در زاویه [°]۳۰ در نزدیک ترین فاصله به لبه جام و در زاویه^{° ۴۰} در دورترین فاصله از لبه جام ایجاد می شود. بر اساس نمودارهای میلهای شکل ۱۲، فاصله موج از لبه جام، با افزایش زاویه از °۳۰ و رسیدن به ۳۵° و ۴۰° به طور متوسط ۴ درصد افزایش یافته سپس ۳۰ درصد کاهش می یابد. بنابراین موج در زوایای °۳۵ و °۴۰ در دورترین فاصله و در زاویه °۴۵، در نزدیکترین فاصله به لبه جام تشکیل می شود. بنابراین نتایج نشان میدهد که حفره آبشستگی در زاویه جام ۴۰°، در دورترین فاصله از لبه جام و در زاویه جام ۴۵°، در نزدیکترین فاصله به لبه جام شروع می شود. همچنین با افزایش زاویه از [°]۳۰ به [°]۴۵، فاصله انتهای حفره به طور متوسط ۲۰ درصد افزایش می یابد، فاصله تاج پشته بالادست به طور متوسط ۹ درصد کاهش می یابد، فاصله تاج پشته پاییندست به طور متوسط ۳۷ درصد افزایش می یابد و طول کل محدوده آبشستگی نیز به طور متوسط ۵۷ درصد افزایش می یابد.



شکل ۷- تغییرات پروفیل طولی آبشستگی برای زوایای مختلف جام در یک دبی و عمق پایاب ثابت



 (L_s) شکل ۸- نمودارهای بیبعد تأثیر زاویه جام بر حداکثر عمق حفره (d_s) و محل وقوع حداکثر عمق حفره (





 (L_e-x_2) شکل ۹- نمودارهای بیبعد تأثیر زاویه جام بر گسترش طولی حفره (x_2-x_1) و گسترش طولی پشته پاییندست

 (h_d) شکل ۱۰- نمودارهای بیبعد تأثیر زاویه جام بر ارتفاع پشته بالادست (h_u) و ارتفاع پشته پاییندست (h_d)

www.SID.ir







شکل ۱۲- نمودارهای میلهای متوسط درصد تغییرات ابعاد حفره، پشتهها و موج با افزایش زاویه از [°]۳۰ به [°]۴۵

www.SID.ir

علاوه بر تحلیل کیفی دادهها، تحلیل کمی نیز با نرمافزار آماری SPSS انجام شد و معادلات رگرسیونی غیرخطی چند متغیره برای برآورد حداکثر عمق حفره (D/Y_t) ، محل وقوع حداکثر عمق حفره (L_s/Y_t) ، گسترش طولی حفره T_s/Y_t محدوده آبشستگی حفره (L_c/Y_t) و ارتفاع مطلق موج (h_w/Y_t) به صورت زیر به دست آمد که ضریب همبستگی بالا و خطای میانگین کم نشان دهنده دقت بالای این معادلات است در حالی که معادلات به دست آمده برای برآورد ابعاد پشتهها از دقت کمتری برخوردار بودند.

$$D/Y_t = 0.1524(q/\sqrt{gY_t^3})^{0.313}(SN)^{1.415}(\theta)^{0.672}$$

$$r = 0.95 \ AE\% = 4.45$$
(f)

$$T = 0.95, AE\% = 4.45$$

 $L_{s}/Y_{t} = 0.4477(q/\sqrt{gY_{t}^{3}})^{0.618}(H/Y_{t})^{-0.323}(SN)^{1.481}(\theta)^{0.39}$ r = 0.943, AE % = 4.77 (Δ)

$$(x_2 - x_1)/Y_t = 0.0011535(q/\sqrt{gY_t})^{1.019}(H/Y_t)^{-0.545}(SN)^{4.746}(\theta)^{0.544}$$
(§)

$$r = 0.989, AE\% = 4.26$$

$$L/V = 76.033(a/\sqrt{aV^3})^{1.62}(SN)^{0.461}(\theta)^{0.993}$$

$$L_e/Y_t = 76.033(q/\sqrt{gY_t})^{12}(SN)^{124}(\theta)^{124}$$
(Y)

$$r = 0.985, AE\% = 6.4$$

$$h_{w}/Y_{t} = 0.040272(q/\sqrt{gY_{t}^{3}})^{0.097}(H/Y_{t})^{-0.153}(SN)^{1.803}(\theta)^{0.492}$$

$$r = 0.929, AE\% = 2.85$$
(A)

برای صحتسنجی نتایج، مقادیر دیده شده حداکثر عمق
آبشستگی در این پژوهش، با مقادیر برآورد شده با
معادلات پژوهشگران در جدول ۱ مقایسه شد. برای تعیین
دقت معادلات مختلف، از توابع خطا شامل متوسط نسبت
عمق آبشستگی محاسبه شده به عمق آبشستگی
مشاهده شده
$$(\overline{D_p/D_o}) = m$$
 و ضریب تغییرات آن، جذر
میانگین مجذورات خطا و درصد خطای میانگین در جدول

رگرسیونی غیرخطی، ورونزه (۱۹۳۷)، ماچادو (۱۹۸۰)، سازمان مطالعه و توسعه تجهیزات برق فرانسه (۱۹۸۱)، مارتینز (۱۹۷۵) و چی و پادیار (۱۹۶۹) دارای کمترین درصد خطای میانگین هستند و بعد از معادله رگرسیونی غیرخطی، معادله ورونزه (۱۹۳۷) با کمترین مقدار توابع خطا، دارای بهترین تطابق بین مقادیر برآورد شده و مشاهدات میباشد. معادله ورونزه (۱۹۳۷) برای ذرات بستر با قطر متوسط کمتر از ۵ میلیمتر به دست آمده و استفاده از این معادله توسط سازمان عمران اراضی ایالات متحده (۱۹۷۳) و سازمان استاندارد هندوستان ٔ (۱۹۸۵) توصیه شده است. در شکل ۱۳ مقادیر حداکثر عمق آبشستگی محاسباتی توسط معادلات مختلف با مقادیر مشاهداتی مقایسه شد و اکثر دادهها در دامنه خطای ۳۰± درصد قرار گرفتند. همچنین به منظور بررسی دقیقتر معادله ۴، از پنج داده مشاهداتی حداکثر عمق آبشستگی در مطالعات امانیان (۱۹۹۳) برای حالت آزاد استفاده شد. حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادلات مختلف و درصد خطای میانگین هر معادله در جدول ۵ ارایه شده است. با توجه به اینکه معادله ۴، حداکثر عمق آبشستگی را برای حالت مستغرق برآورد مىكند، بنابراين مقادير برآورد شده توسط اين معادله کمی کوچکتر از مقادیر مشاهداتی امانیان در حالت آزاد هستند. با این وجود مقادیر نزدیک بوده و مقایسه درصد خطای میانگین معادلات مختلف، نشان دهنده دقت قابل قبول این معادله در برآورد حداکثر عمق آبشستگی است.

۴ استفاده شد. همانطور که دیده می شود معادلات

ضريب تغييرات	متوسط نسبت عمق آبشستگی محاسبه شده به مشاهده شده	جذر ميانگين مجذورات خطا	درصد خطای میانگین	معادلاتط
۵/۸۴۵	•/૧૧૧	•/• • ٩	4/874	معادله رگرسیونی غیرخطی
14/148	۱/۰ ۷۵	•/• 44	17/777	ورونزه (۱۹۳۷)
10/414	۱/ • ۹۳	•/• 78	14/184	ماچادو (۱۹۸۰)
14/998	۰/۸۹۲	٠/•٣	۱۴/۸۷۶	سازمان مطالعه و توسعه تجهیزات برق فرانسه (۱۹۸۰)
14/844	۰/۵۳۲	•/• ٣۶	١٧/۶λ۵	مارتينز (۱۹۷۵)
۱۵/۲۰۳	1/148	۰/۰۳۵	\Y /YYA	چی و پادیار (۱۹۶۹)
14/947	۰/۷۳۵	•/• ۴٩	87/28V	میسن و آروموگام (۱۹۸۵)
14/182	۰/۷۳۶	• / • ۵ I	28/810	چين (۱۹۷۳)
١٣/• ٨٧	۰/۷۳	•/• ۴٩	۲۶/۹۹۱	عظمتاله و همکاران (۲۰۰۵)
14/844	1/778	•/• ۵	۲۷/۶۵۶	موسسه ملی علم و فناوری آزمایشگاهی هیدرولیک (۱۹۸۱)
1./418	1/828	•/• ۵۶	37/887	استرلچاک (۱۹۶۹)
14/142	। /٣٩٩	•/•۶٩	۳۹/۸۵۱	چي و کانگ (۱۹۷۴)

جدول ۴- مقایسه مقادیر توابع خطای معادلات مختلف در برآورد حداکثر عمق آبشستگ

1-BIS: Bureau of Indian Standards



شکل ۱۳– مقایسه مقادیر مشاهداتی حداکثر عمق آبشستگی با مقادیر بر آورد شده توسط معادلات مختلف

دبی در واحد عرض (فوت مکعب بر ثانیه بر فوت)	ار تفاع ریزش (فوت)	عمق پاياب (فوت)	قطر متوسط ذرات بستر (فوت)	زاویه لبه جام (درجه)	حداکثر عمق آبشستگی مشاهده شده در مطالعات امانیان (۱۹۹۳) (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادله ماچادو (۱۹۸۰) (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادله ورونزه (۱۹۳۷) (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادله سازمان مطالعه و توسعه تجهیزات برق فرانسه (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآوردشده توسط معادله این پژوهش (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادله چی و پادیار (۱۹۶۹) (فوت)	حداکثر عمق آبشستگی برآورد شده توسط معادله چی و کانگ (۱۹۷۴) (فوت)
١/٧١	٣/۴٨۴	۰/۹۶۱	•/•۴١	۲۲/۵	۲	۲/۳۲	۲/۳۴	۲/۵۲	1/41	۲/۷۱	۲/۸۴
۱/۱۰۱	۳/۷۶	۰/۵۳۵	•/•۶٧	۲۲/۵	1/61	١/٨٦	١/٨٨	١/٩۵	•/٧١	١/٩٨	۲/۱۱
1/1+1	٣/٣٣	۰/۹۶۱	•/•۶٧	۲۲/۵	١/٣٧	١/٧٩	١/٨٣	١/٩٣	۱/۰۵	1/94	۲/•۶
١/٧١	٣/۴۶	•/٩٧۴	•/•۶٧	۳.	1/98	۲/۲۶	۲/۳۴	۲/۵۲	1/78	۲/۶۳	۲/۷
١/۴	۳/۵۷	•/٧٩۴	•/•۶٧	40	1/17	۲/•۷	۲/۱۱	۲/۲۴	۱/۴۵	۲/۳۱	۲/۴۱
درصد خطای میانگین						۲ • /۶	۲۲/۹	٣ • /۴	۳۱/۷	34/16	41/4

جدول ۵- دقت معادلات مختلف در بر آورد حداکثر عمق آبشستگی برای داده های مشاهداتی امانیان (۱۹۹۳)

نتيجهگيرى

نتایج نشان داد که با افزایش زاویه جام از "۳۰ به "۴۵، حداکثر عمق آبشستگی به میزان قابل توجه ۱۵۰ درصد افزایش یافته و ۲/۵ برابر میشود و گسترش طولی حفره ۲۷ درصد افزایش مییابد که با افزایش حجم آبشستگی، افزایش ارتفاع پشته بالادست به میزان ۱۱۰ درصد، افزایش ارتفاع پشته پاییندست به میزان ۲۴ درصد و افزایش طول کل محدوده آبشستگی به میزان ۷۵ درصد همراه است. در زاویه "۴۵، حفره آبشستگی در نزدیکترین فاصله به لبه جام شروع میشود و پشته بالادست بیشترین ارتفاع و کمترین فاصله از لبه جام را دارد، بنابراین احتمال ورود و گیر افتادن ذرات بستر درون

جام در صورت عملکرد نامتقارن سرریز بیشتر خواهد بود. در زاویه ⁶۵ ارتفاع پشته پاییندست حداکثر است و احتمال تأثیر منفی بر عملکرد تخلیه کنندهها وجود خواهد داشت. همچنین در زاویه ⁶۵ موج دارای بیشترین ارتفاع و کمترین فاصله از لبه جام است که موجب ناهمواری بیشتر سطح پایاب و تشدید ورود مواد به درون جام و ایجاد جریانهای گردابی در حاشیه پاییندست رودخانه خواهد شد. بنابر موارد ذکر شده، زاویه ⁶ ۳۰ گزینه خوبی جهت کاهش حجم آبشستگی و ابعاد آن شامل حداکثر عمق حفره، ارتفاع پشتهها، گسترش طولی حفره و طول کل محدوده آبشستگی و همچنین کاهش ناهمواری سطح پایاب و دور نمودن پشته بالادست از لبه جام است.

- Chee S. P. and Kung T. 1974. Piletas de derrubio autoformadas. 6th Latin American Congress of the International Association for Hydraulic Reasearch. Bogata. Cholumbia.
- Chee S. P. and Padiar P. V. 1969. Erosion at the base of flip buckets. Engineering Journal. Novamber. 52(11):22-24.
- 7. Doddiah D. 1960. Study of bucket type energy dissipators with speshial reference to surge characteristics. Irrigation and Power . CBIP (India). July.
- 8. Hiranandani M. G. and Wadekar G. T. 1962. Spillways and energy dissipators-Hydraulic model investigation. CWPRS Tech. Memo. Hyd1. April.
- INCYTH LHA. Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas Laboratorio de Hidráulica 1981. Estudio sobre modelo del aliviadero de la presa casa de piedra. Informe Final. DOH-044-03-82. Ezeiza. Argentina.
- Machado L. I. 1980. Formulas para calcular o limite da erosao em leitos rochosos ou granulares. XIII Seminario Nacional de Grandes Barragems. Rio de Janeiro. Brazil. Apr. 35-52.
- Martins R. B. F. 1975. Scouring of rocky river beds by free jet spillways. International Water Power and Dams Construction. England. Apr. 27(4):152-153.
- Mason P. J. Arumugam K. 1985. Free jet scour below dams and flip bucket. J. Hyd. Eng. ASCE. 111(2):220-235.
- Peterka A. J. 1983. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Engineering Monograph. No. 25. U.S.Bureau of Reclamation. Chap. 7:91-125.
- 14. SOFRELEC. 1980. Societe Francaise d'Etudes et de Realisation d'Equipement Electriques. Kandadji Dam. Niger. 3rd Phase Design Report. Paris. France. Feb.
- Strelchuck D. L. 1969. Scour at the base of spillway buckets. M.S Thesis. University of Windsor. Ontario.
- Veronese A. 1937. Erosion de fondo a valle di uno scarico. Annali dei Lavori Pablicci. Italy. Sept 75(9):717-726.

اما باید توجه داشت که در زاویه جام «۳۰، حداکثر عمق حفره در نزدیکترین فاصله به لبه جام ایجاد میشود و زاویه جام «۴۰ گزینه مناسبی برای افزایش فاصله ابتدای حفره و کف حفره (عمیقترین نقطه حفره) تا حداکثر مقدار ممکن است. همچنین زوایای «۳۵ و «۴۰ گزینههای فوبی جهت دور کردن موج از جام تا حداکثر حد ممکن هستند و با اثرات مفیدی در کاهش آبشستگی و خوردگی جام همراهند. زوایای ذکر شده مطابق با نظر هیراناندانی و وادکار (۱۹۶۲) و دادیاح (۱۹۶۰) که زوایای کوچکتر از «۴۵ و بین زوایای «۳۰ تا «۴۰ را به دلیل فواید کاهش آبشستگی توصیه کردند، است. معادلاتی برای برآورد ابعاد آبشستگی در بسترهای کاملا" آبرفتی ارایه شد که دارای دقت خوبی بودند و معادله ورونزه (۱۹۳۷) با شد که دارای دقت خوبی بودند و معادله ورونزه (۱۹۳۷) با پژوهش نشان داد.

سپاسگزاری

از دانشگاه تبریز و اساتید محترم گروه مهندسی آب برای فراهم کردن امکانات این پژوهش تشکر میشود.

منابع

- Amanian N. 1993. Scouring Below a Flip Bucket Spillway. Ph.D. Thesis. Utah State University. Logan. Utah.
- Azmathullah H. Md. Deo M. C. and Deolalikar P. B. 2005. Neural networks for estimation of scour downstream of ski-jump bucket. J. Hyd. Eng. ASCE. 131(10):898-908.
- BIS. Bureau of Indian Standards. 1985. Criteria of Hydraulic Design of Bucket Type Energy Dissipators. BIS: 7365-1985. New Delhi. India.
- Chain M. W. 1973. Scour at downstream end dam in Taiwan. Proc. IAHR Symp. On River Mechanics. Bangkok. Thailand. Vol I. A13:1-6.