بررسی افت انرژی در پرتاب کننده جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی در شرایط آزمایشگاهی و عددی

مهدی نیروبخش ،علیرضا مسجدی *۲ ، محمد حیدرنژاد ، امین بردبار ۲

چکیدہ

استفاده از پرتاب کننده مای جامی و مثلثی با اشکال مختلف، بدلیل ایمنی و استهلاک بهتر انرژی جهت محافظت از بستر پایین دست ابنیه مای آبی و همچنین مزایای اقتصادی نسبت به سایر مستهلک کننده مای انرژی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق هدف بررسی افت انرژی جریان عبوری در سرریز جامی دندانه ایی و مثلثی دندانه ایی در شرایط آزمایشگاهی و عددی می باشد. مدلسازی فیزیکی و عددی در یک فلوم مستطیلی بطول ۹ متر، عرض ۵/۰ متر و ارتفاع ۵/۰ متر، سرریز جامی و مثلثی با دندانه با ابعاد مشخص مطابق استاندارد SBR در شدت جریانهای مختلف در شرایط آزمایشگاهی و عددی استفاده شد. میزان افت انرژی در سرریز جامی دندانه ایی ۲۰/۴ درصد و مثلثی دندانه ایی ۸/۴ درصد در شرایط آزمایشگاهی و عددی استفاده شد. میزان افت انرژی در سرریز جامی دار انتهای ۲۰/۴ درصد و مثلثی دندانه ایی ۸/۴ درصد در شرایط آزمایشگاهی و عددی استفاده شد. میزان افت انرژی در سرریز جامی در انتهای ساتاندارد عملکرد مناسب تری نسبت به سرریز جامی دندانه ایی دارد. نتایج پدست آمد، که نشان داد سرریز مثلثی دندانه ایی در زمینه در انتهای سازی عملکرد مناسب تری نسبت به سرریز جامی دندانه ایی دارد. نتایج پدست آمده نشان داد شکل هندسه سرریز و وجود دندانه در انتهای سازه عامل مهم و تاثیرگذاری در میزان انلاف انرژی جریانه ای عبوری از سرریزهای جامی دندانه ایی و مثلثی دندانه ایی دارد بیشتر در پایین دست سازه می شود. پس از تعیین عملکرد بهتر سرریز مثلثی دندانه ایی در اتلاف انرژی، به شبیه سازی عددی سرریز مثلثی دندانه ایی به روش محاسبات عددی در نرم افزار Flow-3 پرداخته شد. نتایج تحلیل نشان داد که میزان اتلاف انرژی در سرریز مثلثی دندانه ایی در محاسبات عددی در نرم افزار Flow-3 پرداخته شد. نتایج تحلیل نشان داد که میزان انلاف انرژی در سرریز مثلثی

کلید واژه: عدد فرود، افت انرژی، سرریز جامی دندانهایی، سرریز مثلثی دندانهایی، Flow- D3

دانشجوی دکتری، گروه سازدهای آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران، تلفن تماس: ۹۹۱۶۶۱۵۵۹۰۰، پست الکترونیک: Niroubskhsh.ni@gmail.com
 ۲*. استاد، گروه علوم مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز. ایران، تلفن تماس: ۹۹۱۶۶۱۸۲۵۷۴، پست الکترونیک: drmasjedi.2007@yahoo.com
 ۳. دانشیار علوم مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران، تلفن تماس: ۹۱۱۳۹۱۹۵۳، پست الکترونیک: mo_he3197@yahoo.com
 ۳. دانشیار علوم مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران، تلفن تماس: ۹۱۱۳۹۱۹۵۳، پست الکترونیک: mo_he3197@yahoo.com
 ۳. دانشیار علوم مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران. تلفن تماس: ۹۱۱۳۹۱۹۵۳۳، ست الکترونیک: asefinn@yahoo.com

حجم آب مازاد در مخازن سدها بوسیله سرریزها تخلیه می گردد. جریان عبوری از سرریزها فوق بحرانی است، در نتیجه سرعت جریان عبوری در انتهای سرریزها بسیار زیاد است، که اگر بستر پایین دست سرریزها از مقاومت لازم برخوردار نباشد میتواند موجب أبشستگی و فرسایش گردد. حفرههای آبشستگی ایجاد شده در پاییندست سازههای هیدرولیکی موجب می شود جریان زیر سازهای افزایش یابد. پیشرفت و حرکت این حفرهها به سمت سازه موجب می شود، پایداری سد، سرریز و سازههای مرتبط، تهدید شده و حتی منجر به شکست آنها گردد. بنابراین یک سرریز نیاز به سازه مستهلک کننده انرژی در قسمت انتهایی دارد تا ازسرعت زیاد جریان خروجی کاسته و میزان آبشستگی و فرسایش را کاهش دهد. امروزه استفاده از پرتابکنندههای جامی و مثلثی در مقایسه با سایر مستهلککنندهها مثل حوضچه آرامش و بلوکهای بتنی به دلیل مزایای اقتصادی بیشتر مورداستفاده قرار میگیرد. غريبوند و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی عددی هيدروليک جريان در سرريزهای خطی، زيگزاگي ذوزنقهاي و کليد پيانويي پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد تطابق خوبی بین مدلسازی عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. ضریب دبی سرریز کلیدپیانویی نسبت به سرریزهای خطی و زیگزاگی ذوزنقهای به ترتیب به میزان ۲۶ و ۲۴ درصد بیشتر بود. باوان (۲۰۱۰) و ماگلا (۲۰۲۰)، نشان دادند پرتاب کنندههای جامی ساده و جامی دندانهایی در حالت مستغرق به دلیل شرایط مناسب هیدرولیکی، استهلاک انرژی بهتری نسبت به حالت آزاد یا فیلپ دارد و آبشستگی کمتری را ایجاد میکند. اسکندری و همکاران (۲۰۲۰)، به مطالعه آزمایشگاهی تاثیر هندسه پايين دست پرتابه جامي شکل بر ميزان آبشستگي پاياب پرداختند، نتايج نشان داد وجود دندانههاي جام اثر زيادي بر عمق آبشستگي دارد. پرتاب کنندههای جامی شکل با دندانههای مستطیلی یک در میان نسبت به حالت بدون دندانه حدود ۱۳ درصد کاهش آبشستگی را سبب میشود. همچنین حداکثر عمق آبشستگی در حالت جام با دندانههای مستطیلی یک در میان در بازه مطلوبتری از سایر نمونهها آزمایشگاهی به وقوع می پیوندد. قنبری و حیدرنژاد (۲۰۲۰)، به تجزیه و تحلیل محاسبات عددی جریان هیدرولیکی در پرتاب کنندههای کلید پیانویی مثلثی و مستطیلی پرداختند. نتایج نشان داد که دادههای مدل عددی به طور مناسب با مدل آزمایشگاهی سازگار بود. ضریب دبی سرریزهای کلید پیانویی مثلثی ۲۵ درصد بیشتر از ضریب دبی پرتاب کنندههای کلید پیانویی مستطیلی بود. وطن دوست و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی جریان بحرانی و ضرایب فشار دینامیکی بر روی پرتاب کنندههای جامی شکل پرداختند. تغییرات فشار یکی از مواردی است که به سازههای هیدرولیکی ضربه وارد میکند. در این مطالعه که بر روی جریان خروجی از

سدهای مخزنی انجام شد، فشار وارده بر روی سه مدل مختلف با اعداد ۵ تا ۱۳ عدد فرود انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که ضرایب نوسانات فشار با افزایش عدد فرود جریان در پرتاب کننده های جامی افزایش می یابد. ژوو و همکاران (۲۰۲۲)، به مطالعه هیدرولیکی زاویه شکل پرتابکننده جامی و تاثیر آن بر الگوی جریان عبوری از پرتابکننده با صفحه پایین جمع شونده پرداختند. نتایج تجربی نشان میدهد که جریان های چرخشی با عرض ثابت با صفحات پایین جمع شده (CFB-R)، WFB-R حداکثر فشار ضربه را در کف استخر به ۷۰ تا ۸۶ درصد از آنچه در ابتدا بود کاهش میدهد. ران و همکاران (۲۰۲۳)، به شبیهسازی عددی زاویه جهش در قوس پرتابکنندههای جامی پرداختند. این تحقیقات نشان داد، درجه انحراف سرعت جریان خروجی در جهت جانبی پرتابکننده در زاویه های مختلف متفاوت است. وی تعدادی معادله برای تعیین زاویه پراگندگی ارائه داد. نیروبخش و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه و ازمایش پایداری سنگچین در پایین دست چهار سرریز جامی ساده، مثلثی ساده، جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی پرداختند. نتایج نشان داد که شکل هندسه و وجود دندانه عامل موثری در پایداری سنگچین دارد، عدد پایداری در سرریزهای دندانهایی ۱۱ درصد و سرریزهای ساده ۷ درصد افزایش داشت. پارسایی و همکاران (۲۰۲۳)، با انجام محاسبات عددی توسط نرم افزار Flow-3D به بررسی تخمین اتلاف انرژی در پرتابکننده های مثلثی و ذوزنقهایی با استفاده از مدل (GMDH) پرداختند. پارامترهای بدون بعد به دست آمده از تحلیل، (Mr) نسبت بزرگنمایی، (Fr) عدد فرود، (Ncy) تعدد چرخه، (ho/P) هد نسبی بالادست به عنوان متغیرهای ورودی استفاده شدند. بررسی ساختار شبکه GMDH نشان میدهد که (ho/P)، (Ncy) و (Mr) نقش های مهمی در شبکه توسعه ایفا میکنند. ده مرده و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی آبشستگی در پایین دست پرتابکننده پلکانی در شرایط آزمایشگاهی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که ابعاد آبشستگی در پایین دست با افزایش عدد فرود و اندازه ذرات رسوبات، كاهش و عمق بحراني كاهش مي يابد. با كاهش عدد فرود ذرات، عمق أبشستگي نسبي، فاصله حداكثر عمق أبشستگي و طول نسبی آبشستگی به ترتیب ۶۸/۶ درصد، ۷۵/۶ درصد و ۷۳/۴ درصد کاهش یافت. لورن و همکاران (۲۰۲۳)، در خصوص عبارات صریح پیشبینی کننده از مدلهای داده محور برای تخمین عمق آبشستگی در پرتابکنندههای جامی اسکی استفاده نمودند. روشهای پیشنهادی، معادلات صریح و واضح با کاربردهای ساده برای تخمین عمق آبشستگی بود. برای ارزیابیهای کمی فرمولهای توسعه یافته، سه معیار آماری رایج، یعنی از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (CC)استفاده شد.

تحقیقات انجام گرفته نشان دهنده اهمیت پرتاب کننده های جامی و مثلثی به منظور انتقال جریان به پایین دست است. وجود دندانه در انتهای پرتاب کننده باعث استهلاک بهتر انرژی و کاهش آبشستگی می شود که موجب محافظت پایین دست پرتاب کننده ها و سازه های مرتبط می گردد. همچنین پرتاب کننده های **جامی دندانه ایی** و مثلثی دندانه ایی با توجه به شکل هندسی از نظر میزان اتلاف انرژی جنبشی عملکرد متفاوتی دارند. در این تحقیق هدف بررسی و تاثیر هندسه سرریز در افت انرژی در شرایط آزمایشگاهی در پرتاب کننده جامی دندانه ایی و مثلثی دندانه ایی، و انتخاب بهترین عملکرد سرریز و محاسبات عددی می باشد. بدین منظور از مدل آزمایشگاهی سرریز جامی و مثلثی با دندانه در انتهای آستانه پرتاب کننده با ابعاد مشخص، مطابق استاند ارد USBR استفاده شد.

مواد و روشها

به منظور بررسی افت انرژی در پرتابکنندههای جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال، رابطه (۱) بین پارامترهای مؤثر بر افت انرژی در حالت تعادل برقرار است:

 $f_1(y_1, v_1, g, y_2, v_2)$ (1)

 y_1 عمق جریان در بالا دست سرریز، V_1 سرعت جریان در بالا دست سرریز، g شتاب ثقل، عمق جریان روی سرریز، و y_2 عمق جریان روی سرریز و V_2 سرعت جریان روی سرریز است. این پارامترها با استفاده از تئوری باکینگهام به صورت رابطه (۲) بدون بعد می شود:

$$f1\left(\frac{\Delta E}{E_1}, \frac{V^2}{gy}\right)$$
 (Y)

. در رابطه فوق $Fr = V^2/gy$ افت نسبی انرژی در سرریز، $\Delta E/E_1$ افت نسبی انرژی در سرریز

برای بررسی اثر هندسه دندانه در انتهای پرتابکننده جامی و مثلثی در اتلاف انرژی از مدل آزمایشگاهی استفاده شد. کلیه آزمایش ها در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیلی به طول ۹ متر، عرض ۵۰ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر انجام شد. آب مورد نیاز این آزمایش ها از طریق مخزن زیرزمینی در فلوم تهیه شد. سیستم چرخش آب در فلوم به صورت مدار بسته بود (شکل ۱). مدل سرریز مثلثی شکل طبق استاندارد USBR با ارتفاع ۴۰ سانتی متر، طول ۵۳/۴ سانتی متر، شعاع قوس سرریز ۱۶ سانتی متر با طول آستانه ۵/۸ سانتی متر ساخته شد. دندانه مورد استفاده در انتهای سرریز طبق استاندارد USBR تعداد ۱۶ دندانه با طول ۸ سانتی متر، عرض ۲ سانتی متر، با فاصله ۱/۲ سانتی متر بصورت مثلثی در انتهای سرریز مثلثی استفاده شد (شکل ۲). کلیه آزمایش ها در این تحقیق در ۵ دبی ۲۰، ۸، ۸ ۱۹ و ۱۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. دبی مورد نظر توسط سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه گیری شد. در ابتدای هر آزمایش سرریز مورد نظر در فاصله شش متری از ابتدای فلوم نصب شد. پس از تنظیم دبی مورد نظر، عمق جریان توسط دریچه در پایین دست به آهستگی کاهش داده شد. در انتهای هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد و آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد. در کلیه آزمایش ها به منظور اندازه گیری عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در پاییندست سرریز، پس از تنظیم دبی توسط شیرفلکه، در حر دبی برای جلوگیری از تغییر پروفیل سطح آب، عمق و سرعت جریان یک متر بالادست سرریزها، اندازه گیری شد، شیرفلکه، در حر دبی برای جلوگیری از تغییر پروفیل سطح آب، عمق و سرعت جریان یک متر بالادست سرریزها، اندازه گیری شد، میوافت که پرش هیدرولیکی بالافاصله پس از محل برخورد جت به کف فلوم تشکیل گردد. هدف از ایجاد این پرش اندازه گیری میانت که پرش هیدرولیکی بالافاصله پس از محل برخورد جت به کف فلوم تشکیل گردد. هدف از ایجاد این پرش اندازه گیری در اندازه گیری نیست. با تشکیل پرش هیدرولیکی ابتدا عمق آب در پایین دست سرریز افزایش یابد. عمق آب پایین دست تا جایی افزایش می افازه گیری نیست. با تشکیل پرش هیدرولیکی برش اندازه گیری شده سپس با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف اندازه گیری نیست. با تشکیل پرش هیدرولیکی ایتدا عمق ثانویه پرش اندازه گیری شده سپس با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف اندازه گیری نیست. با اندازه آن موساحکای، عمق اولیه پرش اندازه گیری شده سپس با فرض ثابت بودن مومنتم در دو طرف



شکل ۱. نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲. سرریز جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی

مدلسازی عددی

Flow-3D یک نرم افزار مدل ریاضی با کاربرد وسیع و مناسب برای تحلیل و انالیز مسائل پیچیده سیالات از جمله جریانهای سه بعدی غیرماندگار با اشکال مختلف هندسی می باشد. نتایج بدست آمده از مطالعات انجام شده توسط 3D-Flow بیشترین تطابق را با نتایج حاصل از مدلهای فیزیکی را دارد. روش مورد استفاده در این نرم افزار استفاده از حجم محدود در شبکه بندی منظم مستطیلی است. در یک شبکه منظم به علت استفاده از روش حجم محدود، شکل معادلات مورد استفاده بصورت گسسته شده، نظیر معادلات گسسته شده در روش تفاضل محدود می باشد. در این مطالعه از مدل RNG برای بستن معادلات متوسط گیری شده زمانی رینولدز استفاده شد. برای حل عددی از Flow-3D استفاده شده و معادلات غیر دائم حاکم با روش حجم محدود، حل عددی شده اند. در این نرم افزار الگوریتم جزء سطح/حجم بیانگر مانع (FAVOR) برای تعریف هندسه در روش حجم محدود بکار رفته است. در این

الگوریتم، موانع داخل میدان در سلولهای محاسباتی به صورت مقدار جزء بین صفر و ۱ در نظر می گیرد، به طوری که اگر کل سلول توسط مانع پر باشد، مقدار جزء حجم یا سطح برابر یک خواهد بود. سطح آزاد جریان با استفاده از الگوریتم جزء حجم سیال (VOF) تعیین می شود. عبارتهای سرعت و فشار به صورت ضمنی و با استفاده از مقادیر فشار و سرعت در زمان پیوستگی و مومنتم کوپل می شوند. در این نرم افزار معادلات شبه ضمنی حاصله به صورت تکراری و با استفاده از فنهای معادلات تخفیف حل می شود. در این مطالعه از فن GMRES به عنوان حل گر ضمنی فشار استفاده شد. (ماروز و همکاران ، ۲۰۱۴).

مدلسازی سرریز مثلثی دندانهایی

اولین گام در مدلسازی عددی، کالیبره کردن مدل است. مقصود از کالیبراسیون مدل آن است که تاثیرات عوامل خارجی به حداقل رسانده شود تا شرایط مدل به شرایط واقعی نزدیک تر باشد. به منظور کالیبراسیون و مدلسازی در نرمافزار FLOW-3D نخست باید کلیات مسئله و در ادامه نیز خواص سیال تعیین شوند. بعد از این مراحل نوبت به تولید هندسهی مسئله، شبکهبندی و بررسی شبکهی ایجادشده می رسد. در گام بعد شرایط مرزی تعیین می گردد. سپس خروجی های مورد نیاز تنظیم می شود. در انتها، شبیه سازی آغاز خواهد شد. در شکل (۳) مراحل انجام مدل سازی عددی نشان داده شده است.

Simulation Manager	Model Setup	Analyze	Display		
General	Physics	Fluids Meshing & Ge	ometry Output	Numerics	
Finish time 50 Number of cycles 20	00000000			Interface tracking Free surface or sh No sharp interface	r sharp interface Number of fluids r sharp interface Two fluids
Additional finish Mentor options No mentor help Offer suggestion	condition			Flow mode Incompressible Compressible Steady-state acce (Non-physical t	Units Simulation units SI recelerator ral transients)

۱–۳– وارد کردن اطلاعات زمان

imulation Manager	Model S	ietup	Analyze	Display		
General	Physics	Fluids	Meshing & Geomet	ry Output	Numerics	
Finish time Number of cycles	50 200000000				Interface tracking Free surface or sharp interface No sharp interface 	Number of fluids
Additional fin	ish condition				Flow mode Incompressible Compressible	Units Simulation units SI
 No mentor h Offer sugge 	elp stions				Steady-state accelerator (Non-physical transients)	Temperature unit Celsius

۲–۳– وارد کردن واحد شبیهسازی



مدل عددی Flow-3D یک شبکه ساختاری سه بعدی، متشکل از سلولهای مکعب مستطیلی برای میدان مورد نظر است، که ابتدا با استفاده از نرم افزار Autocad یک فایل st مدل سرریز مثلثی دندانه ایی سه بعدی منطبق بر مشخصات مدل آزمایشگاهی تهیه شد (شکل ۴). سپس نتایج حاصل به نرم افزار Flow-3D برای تولید شبکه با به کارگیری دو ابزار مناسب VOF و FAVOR و تعیین مرزها و شبکه محاسباتی داده شد. پس از ورود داده های هندسی به محیط نرم افزار و تعیین مرزهای کانال اصلی و فرعی، محدوده مورد نظر با استفاده از روش های VOF و FAVOR شبکه بندی شد. ابعاد بهینه شبکه بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته برای انجام محاسباتی انتخاب شده و شبکه میدان به گونه ای تنظیم شد که خطوط شبکه متعامد باشند. برای انجام محاسبات در این محدوده مش بندی در قسمتهایی از پرتاب کننده که برداشت داده انجام شد. اندازه مش ها ریزتر و در قسمتهایی که برداشت صورت نگرفت محدوده مش بندی درشت ر انتخاب شده و شبکه میدان به گونه ای تنظیم شد که خطوط شبکه متعامد باشند. برای انجام محاسبات در این محدوده مش بندی درشت ر انتخاب شده و شبکه میدان به گونه ای تنظیم شد که محلوط شبکه متعامد باشند. برای انجام محاسبات در این محدوده مش بندی در قسمتهایی از پرتاب کننده که برداشت داده انجام شد. اندازه مش ها ریزتر و در قسمتهایی که برداشت صورت نگرفت مده در جیت معادی آن حداکثر ۵۰ سانتی متر بود که مش بندی بر این اساس انجام شد. به طور میانگین مجموع تعداد مش بندی ایجاد شده در جهت طول، X تعداد 13.768 در جهت عرض، Y تعداده 5.75663 و در جهت ارتفاع، Z تعداد 2.191 می مدل ها می باشد. پس از تولید شبکه محاسباتی، شرط مرزی و شرایط اولیه، شبیه سازی جریان آب انجام شد. (جدول ۱).





جدول ۱. اطلاعات مش بندی سرریز مثلثی دندانهایی

Maximum Adjacent Cell Size Ratio	Maximum Cell Size	Minimum Cell Size	Total Number of Real Cells	Block	Subject	No.
١/٧٣٠٢۵	°/°417V°7	৽/৽৽١۶٩٩٩٨	7/10	١	Х	
1/09221	•/••°COVIFT	•/•• ४ ९९९९	٧A	١	Y	١
1/51590	•/• \ \7۶٩٨	•/••44	۶۸	١	Z	

مدل آشفتگی و شرایط مرزی برای نزدیکی نتایج به مقادیر آزمایشگاهی شبکه میدان در این تحقیق به صورت یکنواخت و ابعاد شبکه تا حدی ریز در نظر گرفته شد تا از طولانی شدن زمان انجام محاسبات جلوگیری گردد. متوسط زمان برای شبیه سازی هر دبی به طور متوسط ۲۴ ساعت بود. برای حل معادلات ناویر استوکس از مدل آشفتگی RNG استفاده شد. شرایط مرزی مطابق (شکل ۶). بصورت زیر تعریف شد: شرط مرزی بالا.Pressure شرط مرزی پایین: Wall، شرط مرزی ورودی: Volume Flow Rate و شرط مرزی خروجی:Outflow در نظر گرفته شد. همچنین دیواره جریان در چپ و راست الالا انتخاب شد. از پارامترهای ضریب زبری و مدل آشفتگی برای نزدیکی نتایج مدلهای فیزیکی و نرم افزاری استفاده شد. در ابتدا، نتایج آزمایش ها در حالتهای مختلف زبری و آشفتگی RNG داشته است. فیزیکی مقایسه و بررسی شد. نتایج مقایسه مدلهای آشفتگی نشان داد که نزدیکترین نتایج را مدل آشفتگی RNG داشته است.



شکل ۶. شرایط مرزی ایجاد شده سرریز مثلثی دندانهایی

نتایج مدلسازی آزمایشگاهی سرریز جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی و عددی

آزمایشات در شرایط ازمایشگاهی در پنج دبی۷، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه و در مدل عددی در ۴ دبی ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. سپس میزان اتلاف انرژی در سرریز **جامی دندانهایی** و مثلثی دندانهایی محاسبه گردید. (جدول ۲). در (شکل ۷) الگوی شبیهسازی سرعت و فشار جریان در سرریز مثلثی دندانهایی در مدل عددی نشان داده شد.

(ΔE)/E. (%)	E E 1 (M)	E 1 (M)	V 1 (M/S)	E. (M)	V. (M/S)	Fr	V (M/S)	y 2(cm)	y 1(cm)	FR 2	V 2 (M/S)	H (cm)	h. (cm)	Q (l/s)	نوع سرريز
٧۵	۰/۳۱۸	۰/۱۰۸	١/٣٨	•/47	۰/۰۳۳	۴/۳	١/٣٧	۵/۸	1/1	•/٣۵	1/1	۲/۶	47/8	٧	
٧۴	°/٣٢ °	•/111	١/۴	۰/۴۳	۰/۰۳۷	4/4	1/01	۶/۲	1/10	۰/۳۶	•/٢٧	۳/۱	477/1	٨	جامى دندانەايى
۷۲	۰/۳۱۴	۰/۱۲۰	1/44	۰/۴۳	0/0¥9	۴/۵	١/۶۵	٧	1/80	•/٣V	۰/٣	٣/٣	۴٣/٣	١٠	آزمايشات
۶٩	۰/٣٠١	۰/۱۳۵	1/0٣	۰/۴۴	•/•۵۵	۴/۸	١/٧٨	٧/٩	1/07	۰/۳۸	•/٣٢	۳/۶	43/8	١٢	فيزيكى
۶v	۰/۲۹۵	۰/۱۴۵	1/07	•/44	•/•ŶA	۵/۵	۲/۱۳	Λ/Λ	1/99	۰/۳۹	۰/۳۵	k	**	۱۵	
٧A	۰/٣٣	۰/۰۹۳	1/77	•/47	۰/۰۳۳	۴/٣	1/47	۵/۵	1/1	۰/۳۵	1/1	۲/۶	47/8	٧	
VV	۰/٣٣	٥/٥٩٧	1/29	۰/۴۳	0/0 <i>m</i> V	4/4	1/01	۵/۹	1/74	۰/۳۶	۰/۲۷	٣/١	421	٨	مثلثى دندانهايي
V۵	۰/٣٣	∘∕∖∘∨	۱/۳۵	۰/۴۳	•/•¥9	۴/۵	1/80	$\hat{\mathbf{r}}/\mathbf{V}$	1/49	•/YV	۰ /٣	٣/٣	۴٣/٣	١٠	ازمايشات
٧۴	۰/۳۲	۰/۱۱۵	1/44	°/44	•/•۵۵	۴/۸	١/٧٨	٧/۴	1/14	۰/۳۸	۰/۳۲	۳/۶	43/8	١٢	فيزيكى
٧٠	۰/۳۱	۰/۱۳	1/47	•/44	•/•۶٨	۵/۵	۳/۱۳	Λ/Δ	۲/۰۵	৽/٣٩	۰/۳۵	۴	**	۱۵	
٩٥	•/47	•/• \	•/۵۶	•/40	o/o¥1	۴/۵	1/81	٩/١	٣/۴	۰/۳۷	۰/۲۸	٣/٩	۴۵/V	٨	
٨٩	۰/۴۱	•/•۵۲	• /۵۸	°/¥۶	•/• ۴ ٣	4/9	1/80	۶/۵	٣/۶	৽/٣٩	۰/۳۱	4/14	48/7	١٠	مثلثی دندانهایی
٨۶	۰/۴۱	•/• ۵ ٨	• / \$	۰/۴V	∘/∘۵۵	۴/٩	1/9٣	٧/٢	٣/٩	۰/۴	۰/۳۴	۴/۱۷	46/0	١٢	fiow- 3d ران شده اصلی
٨۵	۰/۴	۰/۰۶۱	۰/۶۱	۰/۴۸	0/099	۵/۶	۲/۱۵	Λ/Υ	۴/٣	۰/۴۱	۰/٣٧	۴/۶	41/1	۱۵	

جدول ۲. آزمایشات هیدرولیکی سرریز جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی در شرایط آزمایشگاهی و محاسبات عددی

شکل ۷. الگوی شبیه سازی سرعت و فشار جریان در سرریز مثلثی دندانهایی

نتایج حاصل از مدلسازی آزمایشگاهی در سرریزهای جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی نشان داد با افزایش عدد فرود در سرریز، افت انرژی کاهش مییابد. وجود دندانه در قسمت انتهای سرریزهای جامی و مثلثی باعث شکسته و فشرده شدن بیشتر خطوط جریان عبوری و به تبع آن افزایش سرعت در لحظه پرتاب و در نهایت موجب اتلاف نسبی انرژی بیشتر می شود. متوسط میزان اتلاف انرژی در سرریز جامی دندانهایی ۷۱/۴ و مثلثی دندانهایی در شرایط آزمایشگاهی ۷۴/۸ درصد بدست آمد که نشان داد سرریز مثلثی دندانهایی در زمینه اتلاف انرژی به دلیل شکل هندسی مناسب، عملکرد بهتری نسبت به سرریز جامی دندانهایی دارد. (شکل ۸).

شکل ۸ تلفات نسبی انرژی در سرریز جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی

پس از تحلیل و آنالیز دادههای آزمایشگاهی و تعیین عملکرد بهتر سرریز مثلثی دندانهایی در اتلاف انرژی، به شبیهسازی عددی سرریز مثلثی دندانهایی و بررسی و تحلیل اطلاعات به روش محاسبات عددی در نرم افزار Flow-3D *پرداخته* شد. نتایج تحلیل نشان داد که میزان اتلاف انرژی در سرریز مثلثی دندانهایی در محاسبات عددی ۸۷/۵ درصد بود که نشان دهنده همسو بودن و صحت آزمایشات انجام شده با شرایط آزمایشگاهی میباشد. (شکل ۹).

شکل ۹. نمودار اتلاف انرژی در شرایط آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی

مقايسه نتايج تحقيق حاضر با تحقيقات ديگر

شکل (۱۰) مقایسه نتایج تلفات انرژی براساس عدد فرود، با نتایج تحقیقات محققین دیگر نظیر، استینر و همکاران (۲۰۰۸)، امیدواری نیا و موسوی (۲۰۱۴)، نشان داد، با افزایش عدد فرود سرعت جریان بیشتر شده و افت نسبی انرژی جریان کاهش مییابد. نتایج نمودار شکل (۱۰) نشان داد تلفات انرژی این تحقیق با نتایج تحقیق سایر محققین در شرایط ازمایشگاهی و عددی همسو و

شکل ۱۰. مقایسه افت انرژی در تحقیق حاضر با نتایج محققین دیگر در شرایط ازمایشگاهی و عددی

نتيجه گيري نهايي

در این مطالعه به بررسی میزان افت انرژی در شرایط آزمایشگاهی در سرریزهای جامی دندانهایی و مثلثی دندانهایی در پنج دبی ۷، ۸ ۱۰ ۲۱ و ۱۵ لیتر بر ثانیه پرداخته شد. بررسی اطلاعات محاسبه شده نشان داد، متوسط میزان اتلاف انرژی در حالت آزمایشگاهی در سرریز جامی دندانهایی ۲۱/۴ و مثلثی دندانهایی ۸۴/۸ درصد بدست امد، که نشان داد سرریز مثلثی دندانهایی در زمینه اتلاف انرژی بدلیل شکل هندسی مناسب عملکرد بهتری نسبت به سرریز جامی دندانهایی دارد. همچنین به منظور مقایسه و صحت آزمایشات انجام شده، میزان افت انرژی در سرریز مثلثی دندانهایی در چهار دبی ۸ ۱۰ ۲۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه با انجام محاسبات عددی توسط نرم افزار Brow-3D انجام شد. میزان اتلاف انرژی در سرریز مثلثی دندانهایی توسط نرم افزار Flow-3D، با انجام محاسبات عددی ۲۰ میزیز جامی و مثلثی، عامل مهم و تاثیر

نشریه علوم آب و خاک

گذار در میزان اتلاف انرژی جریان عبوری در پایین دست سرریز دارد که میتواند نقش مهمی در محافظت سازههای مرتبط و

منابع

- Gharibvand, R., M. Heidarnejad, H. A. Kashkoli, H. Hasounizadeh, and A. A. Kamanbedast. 2018. Numerical analysis of flow hydraulic in trapezoidal labyrinths and piano key weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 64: 64-70. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.10.011.
- 2. Bhavan, M., and B. Shahzafar Marge. 2010. Burea of indian standards Central for hydraulic design of bucket type energy dissipators (Second Revision ed.). New Delhi: Bureau of Indian Standards.
- Dah-Mardeh, A., G. Azizyan, M.S. Bejestan, A. Parsaie, and S.H. Rajae. 2023. Laboratory investigation of scour downstream of the Stepped spillway. Water Resources Management. <u>https://doi.org/10.1007/s11269-023-03587-</u> w.
- Eskandari, A., M. Heidarnejad, A. Masjedi, M. Purmohammadi, and A. Kamanbedast. 2020. Experimental investigation on the effect of different dentate shapes and configurations on scour dimension downstream of flip buckets. Water SA [Online]. 463: 458–464. 10.17159/wsa/2020.v46.i3.8656. ISSN 1816-7950.
- 5. Ghanbari, R. and M. Heidarnejad. 2020. Experimental and numerical analysis of flow hydraulics in triangular and rectangular piano key weirs. Water Science, DOI: 10.1080/11104929.2020.1724649.
- 6. Magela, P. G. 2020. Spillway design step by step (1st ed.). CRC Press. doi:10.1201/9780367816902.
- 7. Marusi, M., R. Roshan, and H. Sarkardeh. 2014. Flow 3D design and analysis, Translation. Iran: Fadak Isatis Publications.
- 8. Melville, B.W., S.Van Balleggoov, S.E. Coleman, and B.Barkdoll. 2007. Riprap size selectin at wing-wall abutments. ASCE.J. Hydraul. Eng. 133(11): 1265-1269.
- Niroubakhsh, M., A.Masjedi, M. Heidarnejad, and A. Bordbar. 2023. Investigation of riprap stability at downstream of spillway flip bucket without and with energy dissipators. Water science 2024, vol. 38, NO. 1, 65– 76. https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2300210.
- 10. Omidvarinia, M., and S.H. Mousavi Jahromi. 2014. Comparison of energy losses in circular and triangular cup launchers. Scientific Journal of Agriculture, Volume 37, Number 1, Spring. 133-142. (In Persian).
- 11. Parsaie, A., S. Dehdar-Behbahani, A. Anil Chadee, AH. Haghiabi. 2023. Estimating the energy dissipation of flow passing over triangular and trapezoidal plan weirs using the GMDH model. Water Practice & Technology Vol 18 No 5, 1115 doi: 10.2166/wpt.2023.073.
- 12. Ran, Y.B., C. Liu, J.Deng, W.R. Wei, and Q. Long. 2023. Numerical simulation study on spread angle in oblique cut flip bucket. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 17(1): 2236673.
- 13. Shafagh Loron, R., M. Samadi, and A. Shamsai. 2023. Predictive explicit expressions from data-driven models for estimation of scour depth below ski-jump bucket spillways. Water Supply 23 (1), 304–316.
- 14. Steiner, R., V. Heler, W.H. Hager, and H.E Minor. 2008. Deflector Ski Jump Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134. No.5. pp. 571-562.
- 15. Vatandoust, H., H. Yarmohammadi, and M. Kavianpour. 2021. Investigation of supercritical flow and shape of flip bucket spillways on coefficients of dynamic pressure. Journal of Energy Resources Technology, 143(6), 061301.
- 16. Zhou, M., J. Zhang, W. Xu, and X. Li. 2022. Hydraulics of Wedge-shaped Flip Bucket to Investigate Flow Pattern with Retracted Bottom Plate. KSCE Journal of Civil Engineering, 26(11), 4552-4562.

۱۵

Investigating the energy loss in the dentated flip bucket and dentated triangular sill spillways in laboratory and numerical conditions

M. Niroubakhsh¹, A.Masjedi²*, M. Heidarnejad³, A. Bordbar⁴

Received:

Accepted:

Abstract

The used of flip bucket and triangular launchers with different shapes has been given more attention due to safety and better energy consumption to protect the downstream bed of water structures, as well as economic benefits compared to other energy consumers. In this research, in order to investigate the energy loss of the passing flow in the dentated flip bucket and dentated triangular sill spillways in laboratory and numerical conditions. Physical and numerical modeling was used in a rectangular flume with a length of 9 meters, a width of 0.5 meters and a height of 0.5 meters, flip bucket and triangular spillways with dentated with specific dimensions according to the USBR standard in different discharges intensities in laboratory and numerical conditions. The amount of energy loss in the dentated flip bucket spillway was 71.4% and the dentated triangular sill spillway was 74.8% in laboratory conditions, which showed that the dentated triangular sill spillway has a better performance in terms of energy loss than the flip bucket and triangular spillway. The results obtained showed that the shape of the spillway geometry and the presence the dentated at the end of the structure is an important and influential factor in the amount of energy loss of the currents passing through dentated flip bucket and dentated triangular sill spillways, which causes more broken and compressed flow lines and, as a result, an increase in speed at the moment. The launch and finally the relative loss of energy is more downstream of the structure. After determining the better performance of the dentated triangular sill spillway in energy loss, the numerical simulation the dentated triangular sill spillway was done using the numerical calculation method in Flow-3D software. The results of the analysis showed that the amount of energy loss in the dentated triangular sill spillway in the numerical calculations was 87.5%, which indicates the alignment and correctness of the tests performed with the laboratory conditions.

Keywords: Froud number, energy loss, dentated flip bucket, dentated triangular sill, Flow-3D software

¹ Phd Student, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

^{2*} Corresponding Author and Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. drmasjedi.2007@yahoo.com

³ Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

⁴ Assistance Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.