



بررسی خصوصیات هیدرولیکی در پرتابه جامی شکل با استفاده از مدل عددی

رامین منصوری^۱، فاضل معافی مکی آبادی^۲، مسعود بهشتی راد^۳، علی کاربخش^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۳

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

پرتاب کننده های جامی یکی از انواع مهم مستهلک کننده ها می باشند و نقش استهلاک انرژی جریان در سرریز ها را به عهده دارند. در این پژوهش به بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی پرتابه جامی شکل با مدل عددی فلوئنت پرداخته شده است. در این تحقیق به منظور گسسته سازی محیط شبیه سازی از سه نوع شبکه محاسباتی سازمان یافته (درشت، متوسط و ریز) استفاده شد. به منظور شبیه سازی جریان از مدل های آرام، $k-\epsilon$ (Standard, RNG و Realizable) و مدل $k-\omega$ (استاندارد و SST) استفاده گردید. همچنین به منظور یافتن بهترین شرایط دیواره دو نوع تابع دیواره استاندارد (Standard) و غیرلغزشی (Non equilibrium) مورد بررسی قرار گرفت. معیار مقایسه در این پژوهش نیز پروفیل بالایی جت آب می باشد. نتایج نشان داد شبکه محاسباتی ریز، شرط سرعت ورودی برای مرز ورودی جریان همچنین فشار خروجی برای مرزهایی که با هوا در تماس می باشند، بهترین جواب ها را ارائه می دهد. همچنین تابع دیواره استاندارد نیز برای اثر تابع دیواره انتخاب و مدل آشفته $k-\epsilon$ (Standard) منطبق ترین نتایج با نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین از بررسی جت ریزشی هرچه جت آب به حوضچه نزدیکتر می شود نتایج محاسباتی با نتایج عددی اختلافشان بیشتر می گردد. پروفیل زیرین جت آب حساسیت کمتری نسبت به پروفیل بالایی جت آب نسبت به تغییرات هیدرولیکی دارد. در بررسی فشار نیز مشخص شد نتایج نشان می دهد که مقادیر عددی فشار در عدد فرود پایین اختلاف زیادی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

واژه های کلیدی: پرتابه جامی شکل، مدل آشفتگی، تابع دیواره، فلوئنت، شبکه محاسباتی.

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران، ۰۹۱۳۳۹۸۳۹۰۰ (Ramin_Mansouri@yahoo.com) (نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران (Fazel.Moafi1371@gmail.com)

^۳ استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران (Masood.Beheshti@yahoo.com)

^۴ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران. (dr.karbakhsh@gmail.com)



مقدمه

پرتابه جامی یکی از انواع مستهلک کننده های انرژی جریان که با پرتاب جریان به فاصله ای دور از پای سرریز، که با برخورد جریان آب با هوا و در نتیجه برخورد با پایاب رودخانه همراه می باشد. بدیهی است یکی از موثرترین روش ها برای ورود هوا به جریان آب خروجی از سرریزها پرتاب کردن آن به هوا در مسافتی حتی الامکان دورتر از سازه های اصلی سد با استفاده از سیستم پرتاب کننده جامی در انتهای سرریزها و مجاری تخلیه کننده سد می باشد.

هیدرولیک پرتابه جامی شکل به این صورت است که جریان فوق بحرانی یا زیر بحرانی با عبور از روی آن به داخل حوضچه پایین دست ریزش میکند. وجود پرتابه باعث خواهد شد تا انرژی مخرب آب به سه صورت، اختلاط جریان با هوا، برخورد جریان با کف کانال پایین دست و چرخش آب در حوضچه گردابی از بین برود. لذا استفاده از مستهلک کننده انرژی از نوع پرتاب کننده جامی غالباً اقتصادی ترین طرح برای استهلاک انرژی در سد های بلند محسوب می شود.

ماسون (۱۹۹۳) سیستم استهلاک انرژی ۳۷۰ سد را که از سال ۱۹۵۰ به بعد در ۶۱ کشور جهان ساخته شده اند مرور نمود. این بررسی شامل حوضچه های با بستر سنگی، جام های مستغرق، حوضچه های پرش هیدرولیکی ساده، حوضچه های پرش هیدرولیکی بلوک دار و انواع مستهلک کننده ها بصورت جت آزاد بود او نشان داد به واسطه جریان ورودی با سرعت های زیاد، عملکرد پرتاب کننده جامی، جریان خروجی را در مسافت قابل ملاحظه ای دورتر از سازه های اصلی (سد، سرریز، حوضچه آرامش) در کانال رودخانه ای پایین دست رها می نماید. هورسکی و کابلکا (۱۹۶۱) آزمایش های مربوط به ارتفاع محل پرتاب جت در پرتاب کننده نسبت به ارتفاع سد بر روی مدل های مختلفی انجام دادند و در کلیه حالات ارتفاع بهینه مقطع پرتاب ۰/۵ تا ۰/۶ ارتفاع سد در نظر گرفته شد. دامل و همکاران (۱۹۶۶) در هندوستان، لاریسه و همکاران (۲۰۰۸) نیز با تحقیقات و بررسی های آزمایشگاهی برای مقدار شعاع بهینه پرتاب کننده فرمول هایی ارائه نمودند. آن ها روی شعاع

پرتاب کننده ها مطالعه و آزمایش نموده و توصیه نمودند که برای طول بیشتر مسیر جت پرتابی از جام های بیضی شکل استفاده شود.

بارانی و عباسی (۱۳۸۴) تحقیقاتی در زمینه بهینه سازی شعاع پرتاب کننده جامی داشت که در این تحقیقات با استفاده از روش آنالیز ابعادی و اطلاعات مربوط به آزمایش های مدل هیدرولیکی، رابطه ای برای طراحی شعاع پرتاب کننده جامی شکل ارائه کرد. همچنین شفاعی بجستان و همکاران (۲۰۰۸) در مورد زاویه بهینه پرتابه به روی پرتاب کننده های جامی شکل در انتهای سرریزها تحقیقات آزمایشگاهی انجام دادند، آن ها بیان کردند این زاویه بر روی آبشستگی پایین دست سرریز تاثیر گذار است. در نهایت زاویه ۴۵ درجه را به عنوان زاویه بهینه گزارش نمودند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی در عرصه محاسبات عددی و کامپیوتری، میتوان اکثر فرآیندهای فیزیکی سیالاتی را شبیه سازی کرد که این نیازمند اطلاعات دقیق از فیزیک مسئله و شرایط جریان و نیز کامپیوترهای قوی برای انجام این محاسبات است. که از این طریق میتوان میزان آبشستگی پایین دست پرتابه جامی شکل را با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی تعیین کرد (مهرپژوه، ۱۳۸۷).

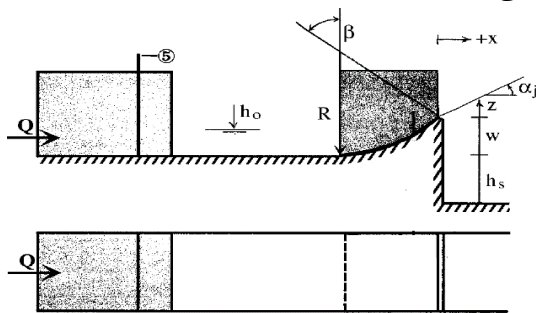
در زمینه مدل سازی عددی نیز تحقیقات زیادی بر روی سازه های هیدرولیکی انجام شده است که از آن ها می توان به تحقیقات نادری راد و همکاران (۱۳۸۶) به وسیله روش حجم محدود و استفاده از نرم افزار Fluent، جریان و میزان استهلاک آن را روی سرریز پلکانی و اوجی بررسی کردند و نشان دادند از طریق مدل سازی عددی به جای مدل سازی فیزیکی می توانیم با هزینه کمتری، سرعت و الگوی جریان را با دقت قابل قبولی بدست آورد.

یونامی (۱۹۹۹) روش مدل سازی عددی دوبعدی برای جریان سرریزها را با متد المان محدود و حجم محدود گسترش داد و از معادلات ناویر-استوکس برای گسترش و ایجاد مدل های دوبعدی و سه بعدی استفاده و به نتایج مطلوبی رسید. جانسون و ساواج (۲۰۰۶) مطالعاتی در مورد فشار و نرخ جریان بر روی نقاط مختلف سرریز اوجی داشتند، برای جریان های تند، کند و متوسط به کمک روش های مختلف از جمله مدل سازی عددی در نرم افزار Flow-3D، مدل فیزیکی و منحنی های طراحی USACE.

مواد و روش‌ها

اطلاعات آزمایشگاهی مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری سرریز جامی شکل توسط جان و هیگر (۲۰۰۰) در فلوم مستطیلی با عرض ۴۹۹ میلی‌متر و عمق ۷۰۰ میلی‌متر با مجموع طول ۷ متر استفاده گردید. کانال دارای آبگذر و دیواره سمت راست PVC و دیواره سمت چپ شیش‌ای بوده و همچنین پرتابه جامی شکل از کانال ورودی با طول یک متر و شعاع R و زاویه انحراف β است. کانال ورودی ۲۵۰ میلی‌متر بالای آبگذر کانال اصلی وارد شده، تخلیه توسط یک جت باکس کنترل شده که در آن میانگین جریان و سرعت و عمق جریان h_0 بصورت مستقل قابل تعیین بوده که گستره عظیمی از اعداد فرود ورودی را شامل است (شکل ۱).



شکل ۱. نمای شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی (جان و

هیگر، ۲۰۰۰)

جان و هیگر (۲۰۰۰) در بررسی آزمایشگاهی خود به مقایسه پروفیل زیرین و روی جت ریزشی پرداخته‌اند و برای این پروفیل رابطه (۱) را ارائه کردند.

$$Y_0 = \tan \alpha_j X - \frac{1}{2} \frac{X^2}{\cos^2 \alpha_j} \quad (1)$$

که پارامترهای رابطه بالا در شکل ۱ مشخص می‌باشند.

مدل‌سازی عددی

در تحقیق حاضر جهت شبیه‌سازی رایانه‌ای از نرم افزار FLUENT استفاده گردید. مدل‌سازی عددی شامل حل عددی معادلات ناویر استوکس است که بر پایه قوانین بقای جرم و اندازه حرکت برای هر سیال استوار می‌باشند. در مدل عددی از طرح گسسته‌سازی معادله فشار به روش

USBR بررسی‌های خود را صورت دادند و در نهایت با ده نرخ مختلف جریان به این نتیجه رسیدند که اختلاف چندانی در داده‌های خروجی از این روش‌ها وجود ندارد.

بحاجانتری و همکاران (۲۰۰۷) مطالعاتی درباره مدل هیدرودینامیکی جریان بر روی سرریز و بررسی آن به کمک مدل سازی عددی به روش حجم محدود داشتند. همچنین با توجه به این مسئله که مدل سازی فیزیکی پرهزینه، زمان بر و طاقت فرسا بوده، بنابراین برای محاسبه عددی دینامیک جریان بر روی سرریز، با متد حجم محدود کد نویسی کردند و در پایان نتایج را با مدل فیزیکی مقایسه و به تطابق خوبی بین نتایج رسیدند.

منصوری و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان مقایسه نتایج عددی و تجربی برای جریان پیچیده با بیش از سه قطره عمودی را به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند و با آزمایشات و توابع تجربی مقایسه نمودند، همچنین به بررسی عمق جریان، از دست دادن انرژی، پروفیل‌های سطح آزاد، سرعت دقیق، فشار و توزیع تنش برشی که از لحاظ آزمایشی سخت بوده پرداختند. بنابراین با استفاده از مدل k-ε استاندارد و عملکرد تابع دیواره استاندارد، بهترین نتایج عددی را با نتایج آزمایشگاهی نشان دادند.

از تحقیقات دیگر در زمینه شبیه‌سازی هیدرولیکی می‌توان به شویل و هوان‌کین (۲۰۰۱)، گیری و همکاران (۲۰۰۴)، ونیوتلی (۲۰۰۸)، وطن‌خواه (۲۰۱۲)، آیدین (۲۰۱۲)، حیدری و برهمند (۱۳۹۵)، عظیمی و شعبانلو (۱۳۹۵)، بغلانی (۱۳۹۰) و غیره اشاره کرد.

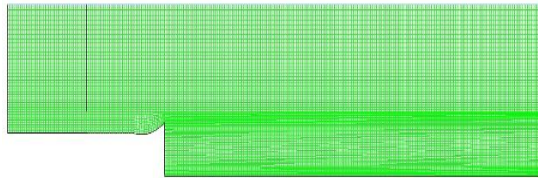
در این تحقیق به مدل‌سازی جریان بر روی پرتابه جامی شکل با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداخته شده است. برای بررسی صحت نتایج حاصل از مدل عددی از نتایج تحقیقات جان و هیگر (۲۰۰۰) استفاده شده است. و پس از صحت‌سنجی نتایج و یافتن بهترین شرایط مدل‌سازی به بررسی خصوصیات جریان مانند پروفیل بالایی و زیرین جت آب و فشار و سرعت بر روی پرتابه جامی شکل پرداخته شده است.

Non-Equilibrium Wall Function و Function

برای یک دبی مورد بررسی قرار گرفت.

شبکه عددی

برای حل عددی لازم است که میدان جریان گسسته گردیده که در این تحقیق میدان محاسباتی شامل مخزن، تامین جریان، کانال‌های بالادست و پایین‌دست و حوضچه آرامش با استفاده از شبکه‌بندی منشوری منظم (structured grid) به کمک نرم افزار Gambit گسسته گردید (شکل ۳).



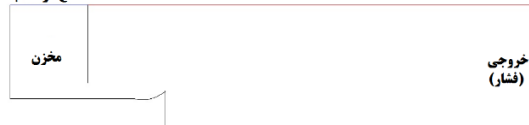
شکل ۳. شبکه بندی پرتابه جامی شکل در نرم افزار گمبیت

در این تحقیق برای یافتن بهترین شرایط مرزی یکی از حالات آزمایشگاهی را انتخاب کرده و با توجه به جدول ۱ مدل‌سازی‌ها بر روی این حالت انجام می‌گیرد. پس از اتمام مدل‌سازی برای هر یک از حالات جدول ۱ نتایج استخراج شده از نرم‌افزار فلونت با نتایج آزمایشگاهی جان و هیگر (۲۰۰۰) مقایسه گردید. در این تحقیق معیار مقایسه نتایج پروفیل بالایی جت آب می‌باشد. در مدل عددی نیز این پروفیل از نرم‌افزار استخراج شد و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید.

PRESTO استفاده شد و با توجه به اینکه جریان به صورت غیر ماندگار مدل‌سازی گردید. از الگوریتم کوپل کننده فشار- سرعت، PISO که برای جریان‌های گذرا (غیرماندگار) توصیه شده، استفاده گردید. به منظور مدل‌سازی تنش رینولدز از مدل‌های آشفتگی استفاده شد. در این تحقیق مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای $k-\epsilon$ (Standard), $k-\epsilon$ (RNG), $k-\epsilon$ (Realizable) مدل $k-\omega$ (استاندارد و SST) مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش حجم سیال (VOF) جهت مدل‌سازی سطح آزاد به کار گرفته شد.

در بالادست پرتابه جامی شکل با قرار دادن یک مخزن به جای در نظر گرفتن عمق و سرعت آب مشخص به عنوان مرز ورودی جریان، با تغییر بازشدگی دریچه و ارتفاع آب داخل مخزن، عمق و سرعت بحرانی هماهنگ با شرایط آزمایشگاهی ایجاد گردید. در مرز فوقانی کانال شرط مرزی فشار و در محل خروجی فلوم نیز شرط مرزی فشار به برنامه معرفی گردید، همچنین اثر سطح آزاد آب با توجه به شرایط مرزی با روش حجم سیال مشخص است (شکل ۲).

سطح آزاد آب

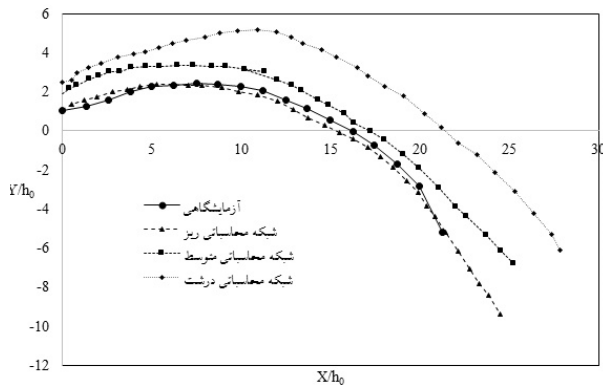


شکل ۲. شرایط مرزی برای پرتابه جامی شکل

در مورد بستر و دیواره‌ها از شرط مرزی غیرلغزشی استفاده شده است. در این شرط مرزی مولفه سرعت موازی دیوار، روی سطح دیوار برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. و به منظور بررسی اثر دیواره‌ها دو نوع تابع Standard Wall

جدول ۱: مشخصات حالت‌های شبیه‌سازی شده

شماره	شرایط مورد بررسی	اندازه شبکه	تابع دیواره	شرایط مرزی ورودی	شرایط مرزی خروجی	مدل
۱	محاسباتی شبکه	شبکه درشت	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard
۲		شبکه متوسط	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard
۳		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard
۴	مدل آشفتگی	شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	Laminar
۵		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard
۶		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	k-ε-RNG
۷		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Realizable
۸		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ω-Standard
۹		شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ω-SST
۱۰	تابع دیواره	شبکه ریز	Standard	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard
۱۱		شبکه ریز	Non-Equilibrium	سرعت ورودی	فشار خروجی	K-ε-Standard



شکل ۴: پروفیل بالایی جت آب برای بررسی استقلال حل از شبکه در شبکه‌های مختلف محاسباتی

سپس ریزترین شبکه که دارای تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی بود انتخاب شد. از شبکه‌های با اندازه سلول‌های مشابه این شبکه برای مدل‌سازی جریان در حالات دیگر استفاده گردید.

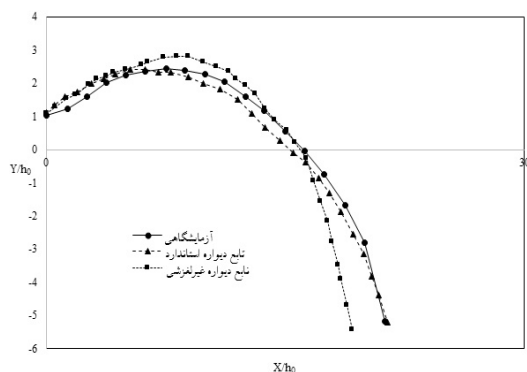
در ادامه با استفاده از شبکه محاسباتی ریز که دارای نوسانات کمتر و تطابق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی داشت. مدل آرام و مدل k-ε سه حالت Standard، RNG و Realizable و همچنین k-ω نیز دو حالت استاندارد و SST مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۵ ارائه شده است.

جان و هیگر (۲۰۰۰) پروفیل بالایی جت آب را در عدد فرود ۴ ($Fr=4$) برای حالات مختلف ارتفاع آب از آزمایش بدست آوردند. در مدل عددی برای تمامی حالات ذکر شده به منظور یافتن بهترین شبکه محاسباتی، شرایط مرزی و مدل آشفتگی نیز حالت فرود برابر با ۴ ($Fr=4$) و عمق جریان برای ۴ ($h_0=4$) انتخاب گردید و تمام شبیه‌سازی‌ها بر روی این شرایط انجام گرفت.

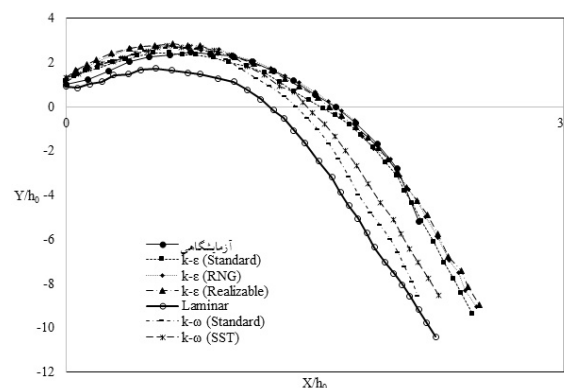
نتایج و بحث

یافتن بهترین شرایط مدل‌سازی

در مرحله نخست برای بدست آوردن بهترین شرایط مدل‌سازی شرایط مختلفی را برای پرتابه جامی شکل بررسی شد و بهترین شرایط برای مابقی مدل‌سازی‌ها استفاده گردید. در اولین قدم برای یک حالت مشخص ($Fr=4$ و $h_0=4$) با استفاده از سه شبکه محاسباتی ریز (۵۷۵۱۲)، متوسط (۳۲۷۲۹) و درشت (۱۸۹۰۱) صحت نتایج و استقلال حل از شبکه تحقیق شد (شکل ۴).



شکل ۶: پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدل سازی به منظور بررسی تابع اثر دیواره



شکل ۵: پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدل های آرام و آشفته از مدل سازی

در نهایت بعد از ۱۱ شبیه سازی انجام شده بهترین شبکه محاسباتی، شرایط مرزی و مدل آشفتگی برای ادامه مدل سازیها بدست آمد. در ادامه تحقیق با شبکه محاسباتی ریز، شرط سرعت ورودی برای مرز ورودی جریان همچنین فشار خروجی برای مرزهایی که با هوا در تماس می باشند، انتخاب گردید. تابع دیواره استاندارد نیز برای اثر تابع دیواره انتخاب و از مدل آشفته (Standard) $k-\epsilon$ در ادامه شبیه سازی استفاده می گردد. این شرایط همانطور که در بالا نشان داده شد بهترین شرایط از نظر نتایج بدست آمده می باشند.

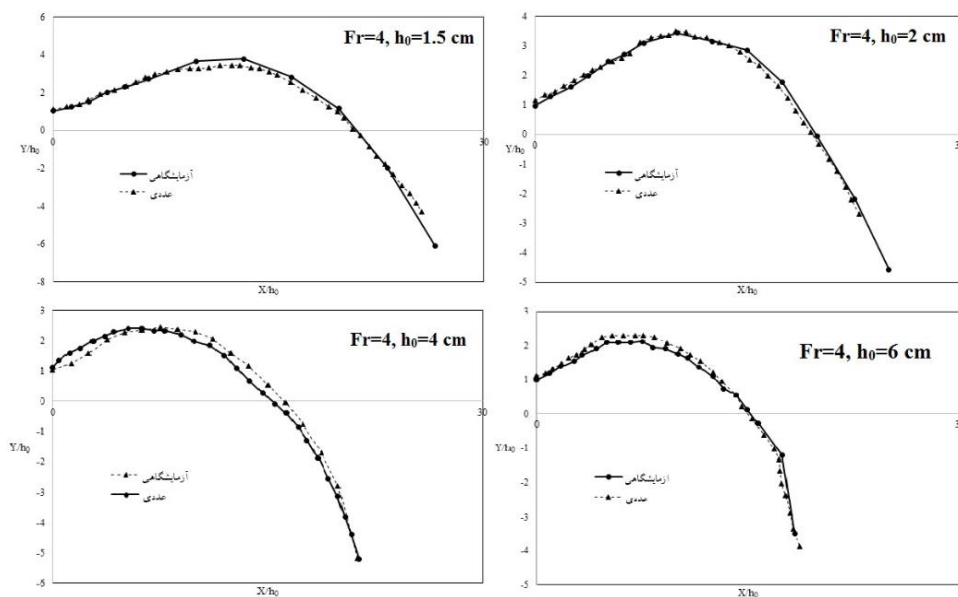
در ادامه به بررسی شرایط مختلف و پارامترهای هیدرولیکی نظیر بررسی پروفیل بالایی جت آب، بررسی پروفیل زرين جت آب و بررسی فشار با شرایط بالا پرداخته شده است و نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است.

بررسی پروفیل بالایی جت آب

پس از یافتن بهترین شرایط مدل سازی، در ادامه تحقیق به بررسی پروفیل بالایی جت آب در حالات مختلف پرداخته می شود. از اینرو در قدم اول برای عدد فرود برابر با ۴، $(Fr=4)$ برای ارتفاعهای مختلف عمق آب (۱/۵، ۲، ۴، ۶ سانتی متر) شبیه سازی صورت گرفت و نتایج با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. نتایج این بررسی در شکل ۷ به ترتیب برای عمق های ۱/۵، ۲، ۴ و ۶ سانتی متر ارائه شده است.

همانطور در شکل مشاهده می شود مدل آرام پروفیل بالایی جت آب را بسیار از حالت آزمایشگاهی پایین تر نشان می دهد. دلیل این رخداد این است که در مدل آرام معادلات آشفتگی حل نمی گردند. از آنجایی که در سازه پرتابه جامی شکل اغتشاش بسیار زیاد بوده است، مدل آرام نمی تواند این جریان را به خوبی مدل سازی کند. در زمانی که از مدل آرام استفاده شد عمق مرده در پشت جت آب در حوضچه بیشتر از مقدار آزمایشگاهی است و این عمق زیاد باعث می گردد که جت را به سمت پایین بکشد.

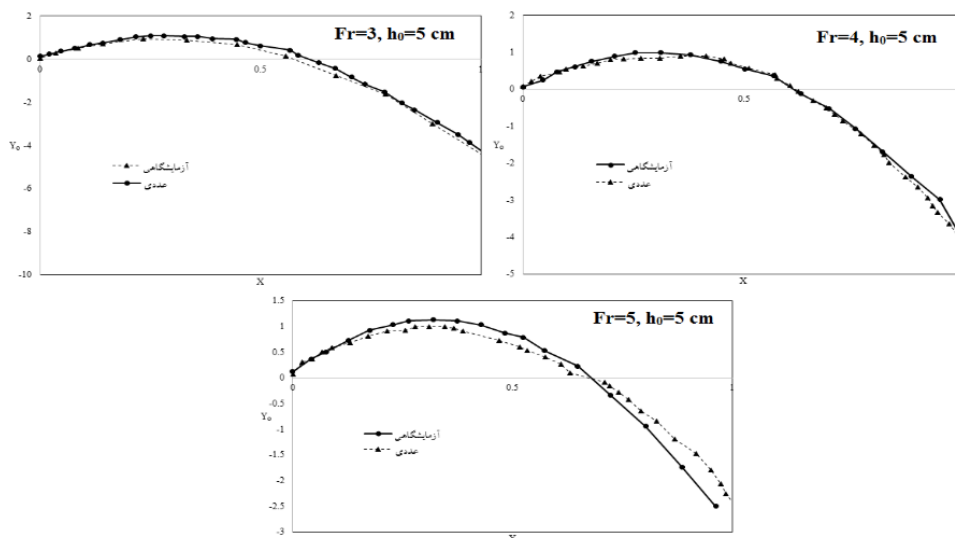
از دیگر بررسی صورت گرفته در این تحقیق می توان به بررسی اثر دیوارهها اشاره کرد که این اثر دو حالت استاندارد و غیر لغزشی (Non Equilibrium) مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه اثر دیواره برای یافتن بهترین شرایط مرزی دیواره همانند حالات قبل پروفیل بالایی جت آب در دو حالت تابع دیواره استاندارد و غیر لغزشی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می گردد. نتایج حاصل از این مقایسه در شکل ۶ ارائه شده است. همانطور که از نتایج مشخص است تابع دیواره استاندارد نتایج بسیار نزدیکتری به نتایج آزمایشگاهی را نشان می دهد. از آنجایی که تابع دیواره غیرلغزشی با تاثیر ترم دما بر دیواره همراه می باشد هرچه به سمت حوضچه جت آب نزدیک تر می شود، اختلاف بین نتایج مدل سازی و نتایج آزمایشگاهی بسیار زیاد می گردد. با توجه به مرور منابع در این زمینه تابع دیواره غیرلغزشی برای حالات تحت فشار که دما در جریان تاثیر گذار می باشد کاربرد دارد. از اینرو در این تحقیق از تابع دیواره استاندارد برای ادامه شبیه سازیها در این تحقیق استفاده می گردد.



شکل ۷: پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدل سازی برای ترازهای مختلف آب بالادست

بر شرایط مدل سازی است. به منظور این بررسی سه عدد فرود (۳، ۴ و ۵) برای عمق آب بالادست (h_0) برابر با ۵ سانتی متر نتایج به ترتیب در شکل ۸ ارائه شده است. در این شکل محور افقی $X = x / (h_0 Fr_0^2)$ و محور قائم $Y_0 = (y_0 - h_0) / (y_M - h_0)$ است. که x و y_0 مقادیر افقی و عمودی مختصات، Fr_0 فرود در بالادست و y_M ماکزیمم ارتفاع جت آب است.

همانطور که از شکل ۷ مشاهده می گردد، با افزایش عمق آب در بالادست نقطه اوج جت پایین می آید و محل برخورد جت به پاشنه پرتابه جامی شکل نزدیک تر می گردد. نتایج عددی بدست آمده تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. نتایج بالا مربوط به عدد فرود برابر با ۴ بوده است. از اینرو در ادامه برای مقادیر فرود متفاوت نیز شبیه سازی عددی صورت گرفت و نتایج با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. این مقایسه نشان دهنده تاثیر افزایش و کاهش عدد فرود



شکل ۸: پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدل سازی برای عدد فرود متفاوت

اختلافشان بیشتر می گردد. از آنجایی که رابطه (۱) از تمامی داده های آزمایشگاهی بدست آمده است بنابراین این

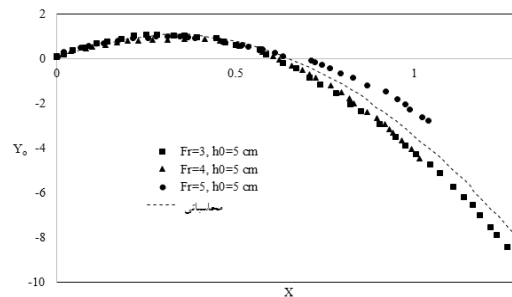
همانطور که از شکل ۹ مشاهده می گردد هرچه جت آب به حوضچه نزدیکتر می شود نتایج محاسباتی با نتایج عددی

بررسی نتایج می‌توان گفت که مدل‌سازی عددی نتایج قابل قبولی در مقایسه با محاسباتی ارائه می‌دهد.

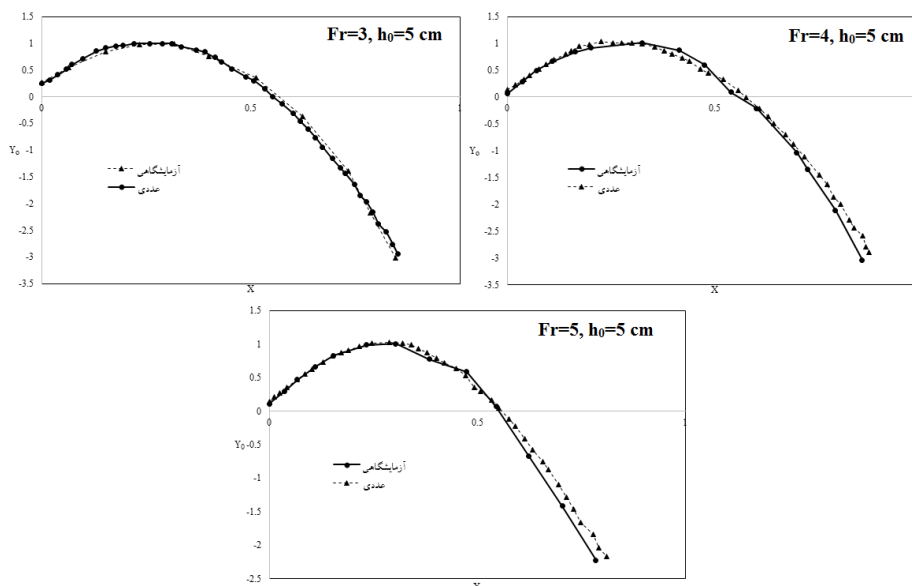
بررسی پروفیل زیرین جت آب

در بررسی پروفیل زیرین جت آب نیز همانند حالت قبل برای حالات مختلف شبیه‌سازی هیدرولیکی صورت گرفت و در نهایت نتایج عددی بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. به منظور بررسی پروفیل زیرین سه حالت $(Fr=3, h_0=5 \text{ cm})$ ، $(Fr=4, h_0=5 \text{ cm})$ و $(Fr=5, h_0=5 \text{ cm})$ مدل‌سازی شدند و نتایج آن‌ها در نقایسه با نتایج آزمایشگاهی در شکل ۱۰ ارائه شده است.

اختلاف مخصوصاً در نزدیکی حوضچه که رفتار جت آب بستگی به آب موجود در حوضچه دارد طبیعی است. با



شکل ۹: پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و محاسباتی (رابطه ۱)



شکل ۱۰: پروفیل زیرین جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدل‌سازی برای ترازهای مختلف آب بالادست

همانطور که مشاهده می‌شود نتایج عددی با رابطه (۱) از تطابق زیادی برخوردار هستند. و می‌توان گفت که پروفیل زیرین جت آب حساسیت کمتری نسبت به پروفیل بالایی جت آب نسبت به تغییرات هیدرولیکی دارد.

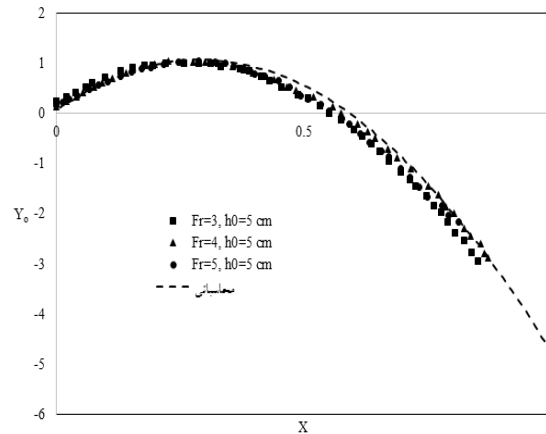
با توجه به نتایج مشخص است که افزایش عدد فرود تأثیری در نتایج شبیه‌سازی ندارد. از اینرو می‌توان گفت در فرودهای متفاوت نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی مشاهده می‌گردد. همچنین مشاهده می‌شود. افزایش عدد فرود تأثیری بر محل برخورد جت آب در حوضچه آرامش ندارد.

با توجه به رابطه (۱) که منحنی تراژکتوری پروفیل بالایی و پایین جت آب در پرتابه جامی شکل است، نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای جت زیرین نیز با این رابطه مقایسه گردید که در شکل ۱۱ نتایج این مقایسه آورده شده است.

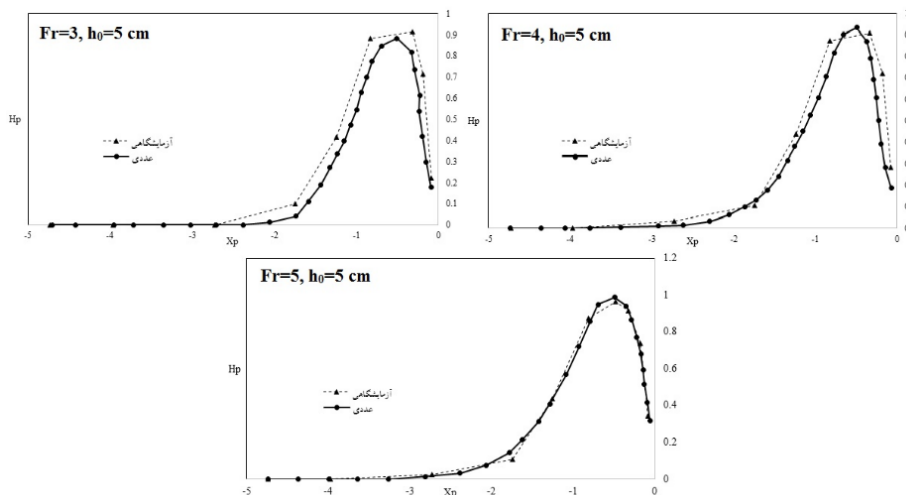
بررسی فشار

در سازه‌هایی که جریان آب در آن‌ها جاری است بحث فشار به دو بخش فشار هیدرواستاتیکی و فشار هیدرودینامیکی تقسیم می‌گردد.

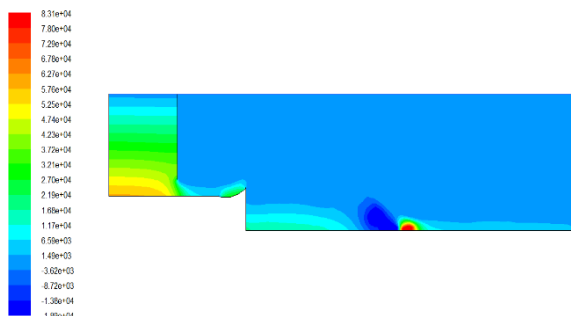
با توجه به اندازه‌گیری فشار در کف کانال بالادست تا محل پرتابه در مدل آزمایشگاهی، در مدل عددی نیز برای حالات مختلف شبیه‌سازی نیز فشار در همان محل اندازه‌گیری شد و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. شکل ۱۲ برای سه مقدار متفاوت عدد فرود مقایسه این نتایج را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر عددی فشار در عدد فرود پایین اختلاف زیادی با نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین از طرف دیگر با افزایش مقدار عددی فرود تطابق بین نتایج آزمایشگاهی و عددی زیاد می‌گردد.



شکل ۱۱: پروفیل زیرین جت آب در حالت آزمایشگاهی و محاسباتی (رابطه ۱)



شکل ۱۲: توزیع فشار در کف پرتابه جامی شکل در حالت آزمایشگاهی و مدل‌سازی برای عددهای فرود متفاوت



شکل ۱۳: توزیع فشار هیدرواستاتیکی ($Fr=5, h_0=5 \text{ cm}$)

همانطور که از شکل مشخص می‌باشد در محل بخورد جت آب به کف حوضچه فشار بیشترین مقدار می‌باشد.

در ادامه تحقیق با توجه به مدل عددی که مورد بررسی قرار گرفته است توزیع هر دو نوع فشار با استفاده از نرم افزار فلوئنت استخراج شده است. شکل ۱۳ توزیع فشار هیدرواستاتیکی و شکل ۱۴ توزیع فشار هیدرودینامیکی استخراج شده از فلوئنت را نشان می‌دهد.

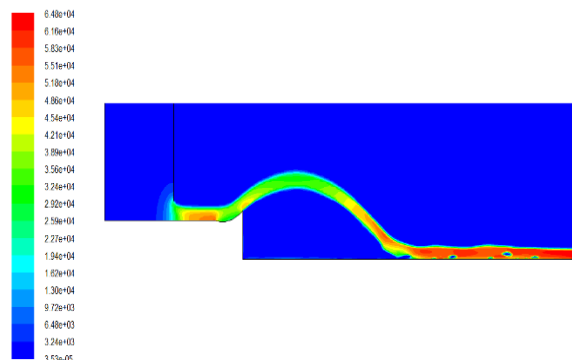
جت آب نزدیک تر می شود، اختلاف بین نتایج مدل سازی و نتایج آزمایشگاهی بسیار زیاد می گردد. با توجه به مرور منابع در این زمینه تابع دیواره غیرلغزشی برای حالات تحت فشار که دما در جریان تاثیر گذار می باشد کاربرد دارد. از اینرو در این تحقیق از تابع دیواره استاندارد برای ادامه شبیه سازی ها در این تحقیق استفاده شد.

با توجه به نتایج پروفیل بالایی جت آب در حالت آزمایشگاهی و مدلسازی برای حالات مختلف مشخص است که افزایش عدد فرود تاثیری در نتایج شبیه سازی ندارد. از این رو می توان گفت در فرودهای متفاوت نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی مشاهده می گردد. همچنین مشاهده می شود. افزایش عدد فرود تاثیری بر محل برخورد جت آب در حوضچه ارامش ندارد. همچنین می توان گفت که مدلسازی عددی نتایج قابل قبولی در مقایسه با محاسباتی ارائه می دهد. در ادامه نتایج بررسی پروفیل زرين جت آب نشان داد که که پروفیل زرين جت آب حساسیت کمتری نسبت به پروفیل بالایی جت آب نسبت به تغییرات هیدرولیکی دارد.

نتایج حاصل از فشار جت پرتابی به این شکل بود که بیشترین فشار هیدرودینامیک در محل برخورد جت با کف حوضچه است. از آنجایی که فشار هیدرودینامیک تابع سرعت جریان است هرچه جریان سرعتش بیشتر شود فشار هیدرودینامیک نیز بیشتر می گردد. مقادیر عددی فشار در عدد فرود پایین اختلاف زیادی با نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین از طرف دیگر با افزایش مقدار عددی فرود تطابق بین نتایج آزمایشگاهی و عددی زیاد می گردد.

نتایج نشان داد شبکه محاسباتی ریز، شرط سرعت ورودی برای مرز ورودی جریان همچنین فشار خروجی برای مرزهایی که با هوا در تماس می باشند، بهترین جوابها را ارائه می دهد. همچنین تابع دیواره استاندارد نیز برای اثر تابع دیواره انتخاب و مدل آشفته $k-\epsilon$ (Standard) منطبق ترین نتایج با نتایج آزمایشگاهی دارد.

همچنین در روی پرتابه نیز همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شد افزایش فشار تا نزدیکی انتهای پرتابه دیده می شود. در این حالت مطابق شکل ۱۴ فشار هیدرودینامیک تابع جت آب است همانطور که در شکل مشخص می باشد بیشترین فشار هیدرودینامیک در محل برخورد جت با کف حوضچه است. از آنجایی که فشار هیدرودینامیک تابع سرعت جریان است هرچه جریان سرعتش بیشتر شود فشار هیدرودینامیک نیز بیشتر می گردد.



شکل ۱۴: توزیع فشار هیدرودینامیکی ($Fr=5, h_0=5 \text{ cm}$)

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد در بررسی شبکه محاسباتی با ریز کردن شبکه نوسان سطح آب کمتر می شود و دقت محاسبات بیشتر می گردد. اما از آنجایی که ریز شدن شبکه باعث افزایش زمان مدل سازی می گردد، لذا می بایست قبل از شروع شبیه سازی بهینه ترین شبکه که هم از دقت مناسبی برخوردار باشد و همچنین زمان مدل سازی کمتری داشته باشد انتخاب گردد. با توجه به بررسی نتایج از شبکه های محاسباتی ریز، متوسط و درشت و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی، شبکه ریز که دارای نوسانات کمتر و تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی داشت انتخاب شد.

با بررسی تابع دیواره نتایج مشخص است تابع دیواره استاندارد نتایج بسیار نزدیکتری به نتایج آزمایشگاهی را نشان می دهد. از آنجایی که تابع دیواره غیرلغزشی با تاثیر ترم دما بر دیواره همراه می باشد هرچه به سمت حوضچه

منابع

بارانی غ ع، عباسی ی، ۱۳۸۴. بهینه سازی پرتاب کننده جامی شکل مسطح با استفاده از روش آنالیز ابعادی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۷ لغایت ۱۹ آبان ماه.



- بغلانی ع، ۱۳۹۰. شبیه سازی فرسایش و انتقال رسوب در محل تلاقی آبراهه ها با استفاده از روش حجم های محدود. فصلنامه مهندسی منابع آب ایران. ۴(۱۰): ۱-۱۲.
- حیدری فهونده ا، و برهمند ن، ۱۳۹۵. کاربرد شبیه آشفستگی مرسوم و روش جزء حجم سیال (VOF) در پیش بینی نیمرخ های سطح آب در پرش آبی بر روی بسترهای موجدار سه گوشه ای. مجله مهندسی منابع آب، ۹(۲۸): ۳۳-۴۶.
- عظیمی ح، و شعبانلو س، ۱۳۹۵. مطالعه ای عددی بر روی جریان عبوری از داخل مجاری دایروی دارای سرریز جانبی. مجله مهندسی منابع آب، ۹(۳۱): ۲۱-۳۴.
- مهرپژوه آ، ۱۳۸۷. تخمین میزان آبشستگی پایین دست پرتابه جامی شکل توسط شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران، ۱۱۰ص.
- نادری راد ا، طالب بیدختی ن، و نیک سرشت ا ح، ۱۳۸۶، مقایسه استهلاک انرژی در سرریز پلکانی با سرریز اوجی (صاف) بوسیله روش عددی VOF، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده فنی-مهندسی عمران.
- Aydin MC. 2012. CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir. *Advances in Engineering Software*. 45: 159-166.
- Bhajantri MR, Eldho TI, Deolalikar PB, 2007. Modeling Hydrodynamic Flow over Spillway Using Weakly Compressible Flow Equations. *Journal of Hydraulic Research*, 45(6):844 – 852.
- Choi W, Hwan Kin M, 2001. *Free-Surface Fluid Flows over Spillway*. Chicago, IL 60606, U.S.A.
- Damel HJ, Schirmerr A, Busch KF, 1966. Analysis of Flows with Initial Unknown Discharge. *Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 103(3): 213-232.
- Giri S, Shimizu Y, Surajate B, 2004. Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-like Flume with Spurs. *Flow Measurement and Instrumentation*. 15:301-309.
- Hureski A, Kableka M, 1961. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computers and Structures*. 39: 201-218.
- Joun R, Hager W, 2000. Flip Bucket Without and with Deflectors. *Journal of Hydraulic Engineering*. 126(1):837-845.
- Johnson M, Savage MB, 2006. Physical and Numerical Comparison of Flow over Ogee Spillway in the Presence of Tail water. *Journal of Hydraulic Engineering*. 132(12):1353-1357.
- Mansouri R, Ziaei AN, Hinkelmann R, 2014. Comparison of numerical experimental and empirical results for flows over vertical drops. *Progress in Computational Fluid Dynamics*. 14(2):118-130.
- Mason PJ, 1993. *Practical Guide Lines for the Design of Flip buckets & Plung Pools*. *Water Power & Dam Construction*, September-October.
- Larese A, Rossi R, Onate E, Idelshon SR, 2008. Validation of the Particle Finite Element Method (PFEM) For Simulation of Free Surface Flows. *Journal of Engineering Computations*. 25(4):385-425.
- Shafae Bajetan M, Parvishi A, Musavi Jahromi SH, 2008. Impact of Lip Angle of Flip Bucket Energy Dissipater on Scour Hole. 3rd Iasme / Wseas Int. Conf. On Water Resources, Hydraulics & Hydrology. University of Cambridge, UK, Feb. 23-25.
- Vatankhah AR, 2012. New solution method for water surface profile along a side weir in a circular channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 138(10):948-954.
- Venutelli M. 2008. Method of solution of non-uniform flow with the presence of rectangular side weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134(6):840-846.



Investigation of Hydraulic properties in Flip Bucket Using Numerical Model

Ramin Mansouri*^۱, Fazel Moafi^۲, Masood Beheshtirad^۳, Ali Karbakhsh^۴

Abstract

Flip bucket are one of the most important types of Energy depreciations and it play the role of energy depreciation in Spillway. In this research, the hydraulic flow characteristics of a flip bucket are investigated with FLUENT model. In this study, three types of computational grid (coarse, intermediate, and fine) were used to discriminate the simulation environment. In order to simulate the flow, the $k-\varepsilon$ (Standard, RNG, Realizable) and $k-\omega$ (standard and SST) models were used. Also, in order to find the best wall function, two types, standard wall and non-equilibrium wall function were investigated. The comparison criterion in this study is also the trajectory profile of jet water. The results show that the fine computational grid, the input speed condition for the flow input boundary, and the output pressure for the boundaries that are in contact with the air, provide the best possible results. Also, the standard wall function is chosen for the effect of the wall function, and the turbulent model $k-\varepsilon$ (Standard) has the most consistent results with experimental results. When the jet is getting closer to end of basin, the computational results increase with the numerical results of their differences. The lower profile of the water jet has less sensitivity to the hydraulic jet profile than the hydraulic jet profile. In the pressure test, it was also found that the results show that the numerical values of the pressure in the lower landing number differ greatly in experimental results.

Key words: Flip bucket, turbulence model, wall function, fluent, computational grid.

^۱Assistant Professor in Hydraulic Structures. Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Sirjan Branch, Iran,
09133983900, (Ramin_Mansouri@yahoo.com) (*Corresponding Author)

^۲Studentt in Hydraulic Structures. Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Sirjan Branch, Iran

^۳Assistant Professor in Watershed. Engineering Department, Islamic Azad University, Sirjan Branch, Iran,

^۴Assistant Professor in Hydraulic Structures. Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Sirjan Branch, Iran,