بررسی اثر تغییر حالت بلوک‌های سرریزهای دندانه‌دار بر استهلاک انرژی جریان با مدل Flow3D

داود صداقت شایگان*[۱]، محمدرضا روستا [۲]

[۱] استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی رودهن
[۲] کارشناس ارشد عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی رودهن

دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۶، بازنگری: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰، پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۴، نشر آنلاین: ۱۳۹۷/۴/۲۴

چکیده

شوت‌های تند مجهز به بارشکن سال‌ها در پروژه‌های آبیاری بکار رفته‌اند. بسیاری از این ساختارها به‌طور رضایت‌بخشی کار کرده‌اند و پاسخ مقرون به‌صرفه‌ای برای مشکل اتلاف انرژی بوده‌اند. در این سرریزها پایه‌های بارشکن می‌تواند به‌صورت مانع عمل کند و سبب استهلاک انرژی آب شود. بدین‌ترتیب آب در مسیر حرکت خود دارای سرعت نسبتاً کمی خواهد بود. سرعت خروجی کم و اقتصادی بودن را می‌تواند بدون توجه به بلندی آبشار از محاسن این نوع سرریزها دانست. هدف اصلی از این تحقیق، ارزیابی توانایی نرم‌افزار Flow3D در شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از سرریزهای دندانه‌دار می‌باشد. نرم‌افزار Flow3D یک نرم‌افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی است که برای حل مسائل با هندسه پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های سطح آزاد سه‌بعدی غیرماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد. در این تحقیق برای صحت‌سنجی نرم‌افزار به‌منظور تخمین پارامترهای جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار، از نتایج آزمایشگاهی و همچنین جهت شبیه‌سازی پروفیل سطح آب از روش حجم سیال (VOF) استفاده شده و با بررسی نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی دقت مدل ارزیابی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل Flow3D با دقت بالایی می‌تواند جهت شبیه‌سازی جریان عبوری از سرریزهای دندانه‌دار مورد استفاده قرار گیرد. همچنین جریان با دبی‌های مختلف روی شیب مجهز به بارشکن با پنج نوع مانع متفاوت به‌وسیله نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی شد و پس از تحلیل انرژی مستهلک شده مشخص گردید شوت مجهز به بارشکن با بلوک‌های نیم‌دایره افقی بهترین عملکرد را در بین پنج مدل بررسی شده دارا است.

کلیدواژه‌ها: سرریز دندانه‌دار، استهلاک انرژی، شکل بلوک، مدل‌سازی عددی، Flow3D.

۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی، امکانات گسترده‌ای را برای ساخت سدها، سازه‌های آبی و هیدرولیکی، مخازن و کانال‌ها به‌وجود آورده است. برای عبور دادن آب‌های اضافی و سیلاب‌ها از فراز به پایاب سدها از سازه‌ای به نام سرریز استفاده می‌شود. سرریزها و تنداب‌ها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهمی می‌باشند که در پایداری سدها نقش اساسی را ایفا می‌نمایند. در بعضی موارد و در زمانی که شیب برای احداث تندآب بسیار تند است، برای انتقال آب از بالا دست به پایین دست از پایه‌های بارشکن که تأثیر افزاینده‌ای در استهلاک انرژی دارد، استفاده می‌کنند. شوت‌های تند مجهز به بارشکن سال‌ها در پروژه‌های آبیاری بکار رفته‌اند. بسیاری از این ساختارها به‌طور رضایت‌بخشی کار کرده‌اند و پاسخ مقرون به‌صرفه‌ای برای مشکل اتلاف انرژی بوده‌اند. در این سرریزها پایه‌های بارشکن می‌تواند به‌صورت مانع عمل کند و سبب استهلاک انرژی آب شود. بنابراین انرژی بیشتری در انتهای سرریز باید مستهلک شود و در نتیجه سازه مستهلک کننده انرژی با ابعاد کوچکتری مورد نیاز است. بررسی خصوصیات و رفتار جریان در سازه‌های هیدرولیکی از پدیده‌های پیچیده است که استفاده از نرم‌افزار را امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. در تحقیق حاضر برای تشخیص تأثیر شکل، ابعاد و نحوه قرارگیری پایه‌ها در سرریزهای شوت، از مدل Flow3D استفاده شده است.

تاکنون پژوهش‌های وسیعی در این زمینه انجام شده است. از جمله مطالعات آزمایشگاهی می‌تواند به مطالعات Peterka (۱۹۶۴) اشاره کرد. ایشان به بررسی جنبه‌های طراحی هیدرولیکی

ناشر: معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۴۰۷۷

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۳۷۹۴۳۳۹

DOI: 10.22034/CEEJ.2020.13438.1349

آدرس ایمیل: ddshayegan@gmail.com (د. صداقت شایگان)، mohammadrezaroosta87@gmail.com (م. ر. روستا).

تلف‌کننده‌های انرژی پرداخت و بعد از مطالعات گسترده مقادیر آن را استاندارد نمود.

Rhone در سال ۱۹۷۱ در مطالعه‌ای به بررسی امکان اجرائی شدن دراپ مانع‌دار[1] به‌عنوان تلف‌کننده انرژی سرریز پرداخت و در تحقیق خود نشان داد که این سازه برای هر دبی رضایت‌بخش است اما ساختار و محدودیت اندازه هر بلوک می‌تواند مقدار دبی واحد طراحی را کنترل کند. همچنین مدل آزمایش شده این تحقیق نشان داد که دراپ مانع‌دار می‌تواند به جای اتلاف‌کننده-های انرژی سرریز در دبی‌های واحد بزرگ‌تر استفاده شود.

محققینی مانند Peterka (۱۹۷۸)، El-Masry و Sarhan (۲۰۰۰)، El-Masry (۲۰۰۱)، Vischer و Hager (۱۹۹۲) بر روی شکل‌های مختلف بلوک‌ها، آزمایشاتی را انجام دادند که نتایج آن‌ها در سه مورد زیر خلاصه گردیده است:

۱- حالت استوان‌های برای وجه رو به جریان حالت بهینه است.
۲- از یک ردیف بلوک استفاده می‌شود، به‌دلیل این‌که ردیف دوم کارایی کمتری داشته و عملکرد آن متأثر از ردیف اول است.
۳- از بلوک برای اعداد فرود بالای حدود ۴ استفاده نمی‌شود و از مستهلک کننده‌های پرتابه‌ای برای استهلاک انرژی آن‌ها بهره می‌برند.

Rezak و همکاران (۲۰۰۲) اثر بلوک‌های میانی با وجه جلویی شیب‌دار را روی طول پرش هیدرولیکی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که بلوک‌های میانی با وجه شیب‌دار در بالادست آن در کاهش طول پرش هیدرولیکی مؤثرتر از بلوک‌های با وجه عمود و بسترهای زبر است.

Chinnarasri و Wongwises (۲۰۰۶) با انجام مطالعات و مدل کردن انواع مختلف پلکان (افقی، مایل و پلکان با زائده انتهایی) بر روی تندآب با تعداد پلکان مختلف، به بررسی استهلاک انرژی و رابطه آن با عمق بحرانی نسبی پرداختند. نتایج نشان داد که پلکان با زائده انتهایی اثر قابل ملاحظه‌ای نسبت به دو نوع دیگر پلکان بر روی استهلاک انرژی دارد.

Pagliara و Chiavaccini (۲۰۰۶) و Pagliara و همکاران (۲۰۰۹) با ساخت مدل‌ها در شیب‌های مختلف (۴:۱ تا ۴:۴۲) و استفاده از مصالح سنگی با اندازه‌های متفاوت به‌صورت خشکه‌چین به بررسی افت انرژی بر روی شیب‌های سنگی با شیب نسبتاً کم پرداختند. هدف اصلی این مطالعات بررسی آرایش چیدمان سنگ-ها بر پایداری تندآب و نیز استهلاک انرژی سازه بوده است. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که با افزایش اندازه زبری مقاومت جریان زیاد شده و متعاقباً افت انرژی افزایش می‌یابد همچنین با افزایش شیب در آزمایش‌های آن‌ها مقدار افت انرژی کاهش یافت.

کاتورانی و همکاران (۱۳۹۱) اثر مشخصات هندسی مانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در دراپ‌های مانع‌دار را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش مشترک عرض و فاصله مانع، میزان استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد.

جم و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دندانه‌دار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی پرداختند، در این پژوهش، شوت به‌وسیله بلوک‌های دندانه‌دار از جنس تفلون و با شکل هندسی و چیدمان نوآوری شده پوشش داده شده بود. براساس نتایج آزمایشگاهی، تأثیر مستقیم هندسه زبری روی استهلاک انرژی بررسی گردید، همچنین افزایش میزان استهلاک انرژی به‌دلیل استفاده از چیدمان مختلط بلوک‌ها با اندازه‌های مختلف مشاهده شد.

مطالعات عددی با نرم‌افزار Flow3D در زمینه محاسبات میزان استهلاک انرژی جریان بسیار محدود می‌باشند. در این زمینه می-توان به پژوهش‌های Oertel (۲۰۱۱) اشاره کرد. ایشان با مدل-سازی عددی و مقایسه نتایج آن با مدل آزمایشگاهی سعی در به‌دست آوردن فرمولی برای محاسبه نیروی درگ[2]، ضریب اصطکاک و استهلاک انرژی برای انواع خاصی از سراشیب‌های بلوکی نمود.

شریف‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی عددی پارامترهای مؤثر بر استهلاک انرژی سراشیب‌های بلوکی پرداختند. برای این منظور از نرم‌افزار Flow3D، مدل سطح آزاد VOF و مدل آشفتگی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ LES استفاده شده است. نتایج حاکی از استهلاک انرژی بیشتر برای آشفتگی بیشتر جریان و افزایش آشفتگی با تشکیل جریان برگشتی است. در نتیجه، استهلاک انرژی به‌ترتیب در جریان غیرمستغرق و سپس در حالت‌های تداخل دنباله‌ها و زبری منفرد از جریان مستغرق بیشتر است. برای افزایش بیشتر استهلاک انرژی باید یا تا حد امکان از مساحت مقطع عرضی مؤثر کاست و یا با ثابت نگه‌داشتن مقطع عرضی مؤثر و حجم دبی عبوری و استغراق، عوامل زبری را کاهش داد.

مروری از مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تاکنون مدل-سازی‌های عددی اندکی بر محاسبات میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از سرریزهای دندانه‌دار انجام گرفته است. با وجود توسعه سیستم‌های کامپیوتری و محاسباتی و همچنین وجود پیچیدگی‌های غیرقابل اندازه‌گیری در این مدل آزمایشگاهی، استفاده از شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار Flow3D می‌تواند در بررسی هیدرولیکی چنین جریان‌هایی بسیار مؤثر باشد، ضمن این‌که در طی دو دهه گذشته الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل

1. Baffled apron drop

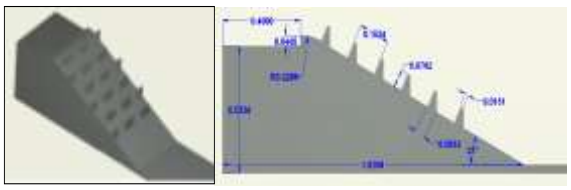
2. Drag force

مسائل پیچیده توسعه پیدا کرده‌اند (به‌طور مثال Saberi و همکاران ۲۰۲۱؛ Sedaghat و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه علاوه بر ارزیابی توانایی نرم‌افزار Flow3D در شبیه‌سازی عددی جریان دو فازی مایع و گاز روی سطوح شیب‌دار با مانع، به بررسی عددی این‌که مدل جدید بلوک‌های طراحی شده قابلیت رقابت با بلوک‌های سرریزهای دندانه‌دار بلوکی طرح USBR از نظر میزان انرژی مستهلک شده را دارا می‌باشند پرداخته می‌شود و نتایج آن با نتایج حاصل از مطالعه آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

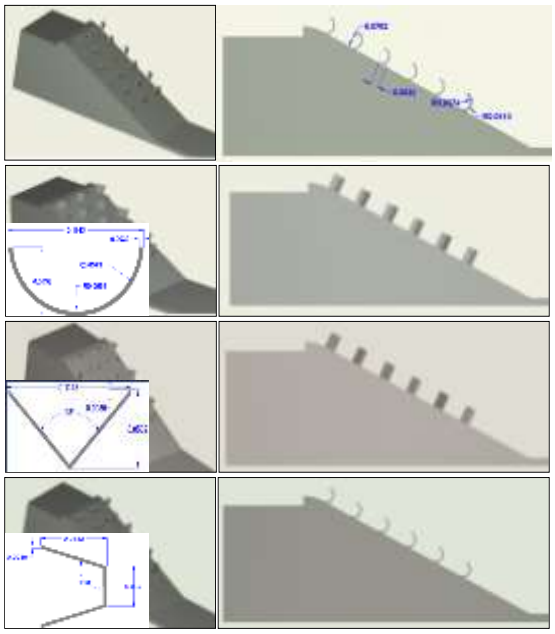
در این تحقیق جهت شبیه‌سازی الگوی جریان در سرریزهای دندانه دار از داده‌های آزمایشگاهی Peterka استفاده شده است. این آزمایشات در کانالی با شیب ۴:۲ با طول ۱ متر، عرض ۱۹۲/۲ متر با بستر بتنی و دیواره‌هایی به ارتفاع ۴ متر انجام شده است. بعد از مدل‌سازی‌های انجام شده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، برای بررسی عددی تأثیر شکل پایه‌ها بر روی الگوی جریان و میزان استهلاک انرژی، ابعاد و فاصله پایه‌ها را تغییر داده و مدل‌سازی‌های دیگر انجام شده است. شکل (۱) مدل نوع سرریز دندانه‌دار به‌کار رفته در شبیه‌سازی عددی جهت واسنجی مدل ارائه شده است.



شکل ۱- مدل سرریز دانه‌دار بکاررفته در مدل‌سازی عددی جهت واسنجی

همچنین شکل (۲) مدل‌های به‌کار رفته در شبیه‌سازی جهت بررسی عددی تأثیر شکل پایه‌ها بر الگوی جریان و میزان استهلاک انرژی را نمایش می‌دهد.

محدوده داده‌های آزمایشگاهی به‌کاررفته در مدل‌سازی‌های انجام شده برای واسنجی مدل، در جدول (۱) و همچنین مشخصات دیگر مدل‌سازی‌های انجام شده جهت بررسی شکل پایه‌ها بر میزان استهلاک انرژی در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- مدل‌های سرریز دندانه‌دار بکاررفته در مدل‌سازی جهت بررسی تأثیر شکل پایه‌ها بر الگوی جریان و میزان استهلاک انرژی

جدول ۱- محدوده داده‌های آزمایشگاهی بکار رفته جهت واسنجی مدل‌سازی

شماره تست	حالت پایه‌ها	دبی (m3/s)	عرض سرریز (m)	فاصله و عرض پایه‌ها (m)
۱	مستطیلی قائم	۰/۰۰۴۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۲	مستطیلی قائم	۰/۰۰۷۷۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۳	مستطیلی قائم	۰/۰۱۰۵۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۴	مستطیلی قائم	۰/۰۱۳۲۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳

جدول ۲- مشخصات شبیه سازی انجام شده جهت بررسی شکل پایه‌ها بر میزان استهلاک انرژی در سرریزهای دندانه‌دار

شماره تست	حالت پایه ها	دبی (m^3/s)	عرض سرریز (m)	فاصله و عرض پایه‌ها (m)
۱	نیم‌دایره قائم	۰/۰۰۷۷۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۲	نیم‌دایره قائم	۰/۰۱۰۵۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۳	نیم‌دایره افقی	۰/۰۰۷۷۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۴	نیم‌دایره افقی	۰/۰۱۰۵۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۵	مثلثی افقی	۰/۰۰۷۷۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۶	مثلثی افقی	۰/۰۱۰۵۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۷	چندوجهی قائم	۰/۰۰۷۷۴	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳
۸	چندوجهی قائم	۰/۰۱۰۵۷	۰/۵۷۱۵	۰/۱۱۴۳

۲-۱- نرم‌افزار Flow3D

نرم‌افزار Flow3D یک مدل مناسب برای حل مسائل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این نرم‌افزار از روش حجم محدود برای حل معادلات حاکم بر جریان با استفاده از شبکه‌بندی منظم و روش حجم سیال برای محاسبه سطح آزاد آب در مجاری باز استفاده می‌کند. این مدل قابلیت تحلیل یک، دو و سه‌بعدی میدان جریان را دارد. معادلات پایه مورد استفاده در این مدل، معادلات ناویر استوکس[3] هستند و از پنج مدل آشفتگی طول اختلاط پرانتل، یک معادله‌ای k- ε، دو معادله‌ای RNGk-ε و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) در حل خصوصیات جریان‌های آشفته استفاده می‌کند. مدل Flow3D درمقایسه با سایر مدل‌های موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، دارای دامنه وسیعی از کاربردها و قابلیت‌هاست، کاربردوست بوده و رابط گرافیکی بسیار قوی دارد که کار با آن را آسان‌تر می‌کند.

۲-۱-۱- مشخصات میدان حل

شرایط مرزی مورد استفاده در مدل و محدوده آن‌طوری است که مرز بالادست به‌صورت دبی ورودی، مرز پایین دست به‌صورت مرز خروجی، مرز در بستر به‌صورت شرایط دیواره و مرز سطح آب به‌صورت شرایط تقارن انتخاب شده است (جدول (۳)).

یکی از مهم‌ترین نکاتی که بایستی در شبیه‌سازی عددی مورد توجه قرار گیرد، شبکه‌بندی مناسب برای حل دقیق معالالت حاکم است. ساختن شبکه مناسب برای میدان حل معادلات، دقت محاسبات، همگرایی و زمان محاسبات را تحت تأثیر قرارمی‌دهد. در کلیه مدل‌های عددی صورت گرفته، ابعاد شبکه طوری تعیین شد که پارامترهای کنترل شبکه از قبیل حداکثر نسبت ابعاد شبکه در راستای طولی و عمقی و ضریب نسبت ابعاد شبکه در راستاهای مختلف و در مجاورت یکدیگر مناسب انتخاب شده باشد. برای نتایج دقیق و مؤثر، مقدار هر یک از دو پارامتر فوق باید به عدد ۱ نزدیک بوده و مقدار نسبت ابعاد شبکه در مجاور یکدیگر از ۱/۲۵ و همچنین نسبت ابعاد شبکه در راستاهای مختلف از ۳ نباید بیشتر باشد. در شبیه‌سازی الگوی جریان در سرریزهای دندانه‌دار، مش‌بندی شبکه جریان، به‌صورت سه‌بعدی، ابعاد شبکه در هرسه بعد غیریکسان و بین ۰/۰۰۷تا ۰/۰۱۲ متر و همچنین تعداد کل مش برای هر مدل‌سازی تقریباً ۱۵۰۰۰۰۰ سلول در نظرگرفته شده است.

در مدل‌سازی عددی پدیده‌های هیدرولیکی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در واسنجی، انتخاب بهترین مدل تلاطمی به‌منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر پدیده هیدرولیکی می‌باشد.

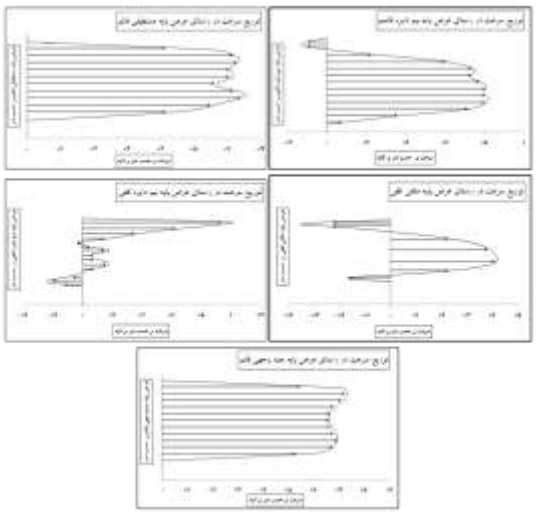
در این تحقیق به‌منظور واسنجی مدل و شبیه‌سازی جریان، مدل-های تلاطمی k-ε، RNGk-ε و LES مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۳- شرایط مرزی اعمال شده در نرم‌افزار

ورودی کانال	خروجی کانال	دیواره‌های کناری کانال	کف کانال	سقف کانال
دبی ورودی	جریان خروجی	دیوار	دیوار	تقارن

۳- نتایج و بحث

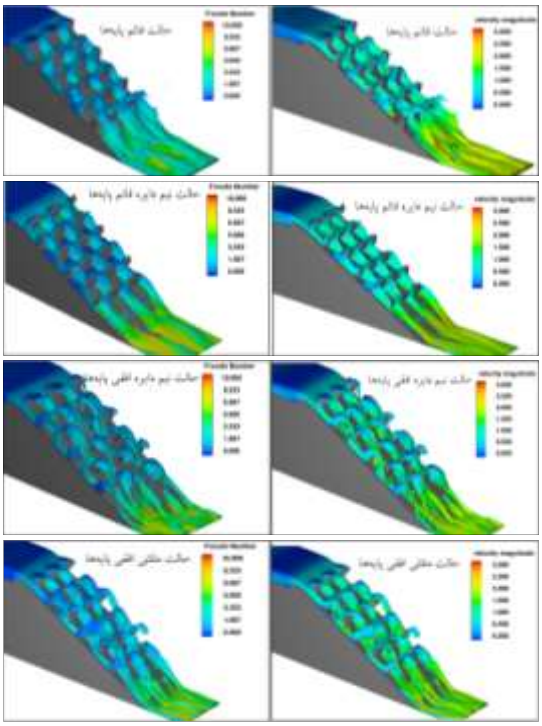
در شکل (۳) نمونه‌ای از چگونگی توزیع سرعت جریان در راستای عرض انواع پایه‌های بکاررفته در سرریز دندانه‌دار با استفاده از نرم‌افزار Flow3D نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نرم‌افزار توانایی بالایی در نمایش جریان‌های برگشتی تشکیل شده در بلافاصله قل پایه و محاسبه اندازه سرعت جریان را داراست.



شکل ۳- توزیع سرعت جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار در شرایط اعمال اشکال مختلف پایه برای دبی جریان ۱۰/۵۷ لیتر بر ثانیه

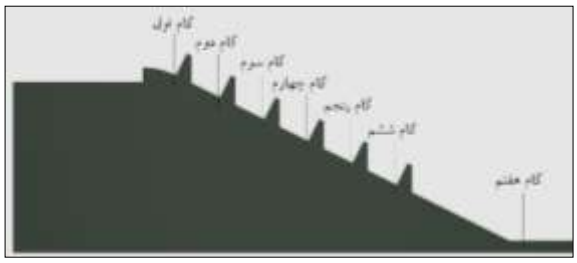
در شکل‌های (۴) و (۵) تغییرات تنش برشی جریان در عرض کانال و در طول کف کانال نشان داده شده است. همچنین شکل (۶) توزیع تنش برشی محاسبه شده در کف کانال در اطراف سازه ترکیبی توسط نرم‌افزار Flow3D را نشان می‌دهد. براین اساس ناحیه فرسایش‌پذیر و رسوب‌گذار به‌ترتیب در محل‌هایی که بیشترین و کمترین تنش برشی را دارد اتفاق می افتد.

3. Navier Stokes



شکل ۴- کانتور تغییرات عدد فرود و سرعت جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار در شرایط اعمال اشکال مختلف پایه برای دبی جریان ۷/۷۴ لیتر بر ثانیه

برای انتخاب بهترین حالت شکل و چیدمان پایه‌ها جهت بررسی میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار، ابتدا سرریز شوت به چند گام تقسیم شده و سپس نتایج مربوط به هر گام مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی میزان استهلاک انرژی جریان، استهلاک انرژی در عرض هر گام مقایسه شده است. شکل (۵) شماتیکی از تقسیم سرریز شوت را برای بررسی استهلاک انرژی جریان نشان می‌دهد. در جدول (۴) و جدول (۵) نتایج مربوط به بررسی میزان استهلاک انرژی جریان در هر گام برای دبی ۷/۷۴ و ۱۰/۵۷ لیتر بر ثانیه بررسی شده است.



شکل ۵- شماتیک تقسیم سرریز شوت برای بررسی استهلاک انرژی جریان

شکل ۶- میزان استهلاک انرژی میانگین جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار برای دبی جریان ۷/۷۴ لیتر بر ثانیه

جدول ۴- میزان استهلاک انرژی جریان عبوری در گام‌های مختلف از سرریز دندانه‌دار برای دبی جریان ۷/۷۴ لیتر بر ثانیه

حالت پایه‌ها	میزان استهلاک انرژی در عرض هر گام از سرریز دندانه‌دار							میانگین کل
	گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم	گام پنجم	گام ششم	گام هفتم	
مستطیلی قائم	۰/۴۱۷	۳/۹۲	۴/۸۷	۴/۸۷	۷/۴۸	۹/۴۳	۸/۳۲	۰/۱۳۴
نیم‌دایره قائم	۳/۸۵	۵/۲۵	۸/۴۳	۵/۲۳	۷/۶۸	۶/۵۴	۰/۳۹۷	۰/۱۲۷
نیم‌دایره افقی	۴/۲۴	۲۳/۸	۳۴/۹	۳۵/۴	۴۹/۵	۴/۵۵	۳/۴۴	۰/۲۷۲
مثلثی افقی	۸/۴۶	۱۰/۷	۳۰	۲۲/۵	۶۱/۷	۱۳/۷	۳/۵۴	۰/۲۶۲
چندوجهی افقی	۸/۶۳	۳/۸۳	۵/۲۷	۳/۱۷	۸/۱۳	۲/۳۳	۴/۱۵	۰/۱۰۶

جدول ۵- میزان استهلاک انرژی جریان عبوری در گام‌های مختلف از سرریز دندانه‌دار برای دبی جریان ۱۰/۵۷ لیتر بر ثانیه

حالت پایه‌ها	میزان استهلاک انرژی در عرض هر گام از سرریز دندانه‌دار							میانگین کل
	گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم	گام پنجم	گام ششم	گام هفتم	
مستطیلی قائم	۰/۴۹۳	۶/۹۳	۶/۱۷	۵/۶۸	۶/۲۶	۳/۳۷	۱۰/۸	۰/۱۳۵
نیم‌دایره قائم	۱۲/۷	۱۲/۵	۱۰/۶	۹/۴۳	۱۰	۲۰/۱	۱/۸۶	۰/۲۰۱
نیم‌دایره افقی	۵/۸۲	۲۲	۵۶/۳	۴۲/۵	۴۲/۵	۱۰/۱	۸/۳۴	۰/۳۲۷
مثلثی افقی	۷/۵۲	۱۹/۴	۲۹/۱	۳۴/۴	۳۶	۱۵	۵/۱۲	۰/۲۵۵
چندوجهی افقی	۷/۲۶	۱۱/۹	۱۵/۱	۱۵/۷	۱۷/۱	۸/۶۵	۶/۶۲	۰/۲۴۵

همچنین در شکل (۶) و شکل (۷) میزان استهلاک انرژی میانگین جریان در هر گام برای دبی ۹۱/۹ و ۱۹/۴۲ لیتر بر ثانیه مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بهترین شکل پایه برای میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار، حالت نیم دایره افقی و مثلثی افقی می‌باشد که بیشترین میزان استهلاک انرژی را دارند.

به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی جریان عبوری و انتخاب بهترین مدل تلاطمی، ابتدا به مقایسه نتایج محاسباتی عمق بالادست سرریز دندانه‌دار حاصل از مدل‌های آشفتگی RNGk-ε، k-ε و LES پرداخته می‌شود. جداول (۶)، (۷) و (۸) نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های تلاطمی را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که مدل تلاطمی RNGk-ε توانسته است به‌خوبی پروفیل سطح آب را برآورد نماید.

شکل ۷- میزان استهلاک انرژی میانگین جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار برای دبی جریان ۱۰/۵۷ لیتر بر ثانیه

جدول ۶- ارزیابی مدل تلاطمی LES جهت محاسبه عمق بالادست سرریز دندانه‌دار

خطای مدل (٪)	نتایج مدل	نتایج آزمایشگاهی	مشخصات مدل آزمایشگاهی		
عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	فاصله و عرض پایه‌ها (m)	عرض کانال (m)	دبی (Lit/s)
۸/۷۲۵	۰/۰۹۳۱	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۴/۴
۸/۵۶۱	۰/۱۴۳۳	۰/۱۳۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۷/۷۴
۷/۵۱۷	۰/۱۳۷۸	۰/۱۴۹	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۰/۵۷
۸/۱۱۸	۰/۱۸۳۸	۰/۱۷	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۳/۲۷

جدول ۷- ارزیابی مدل تلاطمی *k-ε* جهت محاسبه عمق بالادست سرریز دندانه‌دار

خطای مدل (٪)	نتایج مدل	نتایج آزمایشگاهی	مشخصات مدل آزمایشگاهی		
عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	فاصله و عرض پایه‌ها (m)	عرض کانال (m)	دبی (Lit/s)
۶/۵۶۹	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۴/۴
۵/۰۷۶	۰/۱۲۵۳	۰/۱۳۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۷/۷۴
۵/۱۶۸	۰/۱۵۶۷	۰/۱۴۹	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۰/۵۷
۴/۸۲۴	۰/۱۶۱۸	۰/۱۷	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۳/۲۷

جدول ۸- ارزیابی مدل تلاطمی RNGk-ε جهت محاسبه عمق بالادست سرریز دندانه‌دار

خطای مدل (٪)	نتایج مدل	نتایج آزمایشگاهی	مشخصات مدل آزمایشگاهی		
عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)	فاصله و عرض پایه‌ها (m)	عمق بالادست (m)	عمق بالادست (m)
۴/۶۰۸	۰/۱۰۶۷	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۴/۴
۳/۷۱۲	۰/۱۲۷۱	۰/۱۳۲	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۷/۷۴
۲/۹۵۳	۰/۱۵۳۴	۰/۱۴۹	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۰/۵۷
۳/۴۱۲	۰/۱۶۴۲	۰/۱۷	۰/۱۱۴۳	۰/۵۷۱۵	۱۳/۲۷

۴- نتیجه‌گیری

الف) نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده جهت بررسی عددی الگوی جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار نشان می‌دهد که نرم‌افزار Flow3D از دقت بالایی در مدل کردن سرریزهای شوت دندانه‌دار برخوردار است.

ب) در واسنجی مدل‌های آشفتگی نرم‌افزار عددی Flow3D، از بین مدل‌های آشفتگی LES، k-ε و RNGK-ε، مدل RNGK-ε تطابق بهتری در محاسبه الگوی جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار نسبت به نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

پ) از مقایسه نتایج محاسباتی سرعت خروجی از سرریز دندانه‌دار، نتیجه می‌شود که پایه‌های قائم مستطیلی در کاهش

سرعت جریان تأثیر کمتری نسبت به بقیه حالت پایه‌ها داشته است.

ت) نرم‌افزار Flow3D مقدار فشار حول پایه‌های موجود در سرریز شوت را محاسبه کرده است و در مناطقی که انتظار می‌رود به‌علت برخورد جریان با این موانع فشار افزایش یابد این مسأله دیده می‌شود.

ث) طبق نتایج به‌دست آمده از بررسی عددی میزان استهلاک انرژی جریان، مشخص شد مدل Flow3D نتایج قابل قبولی در ارائه چگونگی استهلاک انرژی جریان عبوری از سرریز دندانه‌دار دارد.

۵- مراجع

جم م، طالب بیدختی ن، مردشتی و، "ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دندانه‌دار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی"، مجله علمی- پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۳.

شریف‌نژاد ز، صالحی نیشابوری ع، "مطالعه عددی پارامترهای مؤثر بر استهلاک انرژی سراشیب‌های بلوکی"، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۳.

کاتورانی س، کاشفی‌پور م، "اثر مشخصات هندسی مانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در دراپ‌های مانع-دار"، مجله علمی کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۴.

Bessaih N, Rezak ABA, “Effect of baffle block with sloping front face on the length of the jump”, Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers Bangladesh, 2002, CE 30.

Chinnarasri C, Wongwises S, “Flow patterns and Energy dissipation over various stepped chutes”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2006, 116 (4), 587-691. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2006)132:1(70)

El-Masry AA, “Minimization of scour downstream heading-up structures using double line of angle baffles”, Proc of sixth international water technology conference (IWTC). Alexandria, Egypt, 2001.

El-Masry AA, Sarhan TE, “Minimization of scour downstream heading-up structure using a single line of angle baffles”, Engineering Research Journal of Helwan University, 2000, 69.

Flow-3D v.9.3.2 user manual, 2007.

Oertel M, “Strömungsvisualisierung auf blocksteinrampen in riegelbauweise”, Wasser Wirtschaft, Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden, Germany, 2001, 34-41.

Pagliara S, Chiavaccini P, “Energy dissipation on block ramps”, Journal of Hydraulic Engineering., 2006a, 132 (1), 41-48. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:1(41)

Pagliara S, Chiavaccini P, “Energy dissipation on reinforced block ramps”, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2006b, 132 (3), 293-297. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:1(41)

Pagliara S, Lotti I, “Surface and subsurface flow through block ramps”, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, 135 (5), 366-374. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000070

Peterka A, “Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators”, Engineering Monograph, No. 25, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation. 1964, 154-188.

Peterka AJ, “Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters”, A Water Resource Technical Publication, Engineering Monograph No. 52, USBR Rajaratnam N, “Hydraulic jumps on rough beds”, Transportation Engineering Institute Canada. 1978, 11 (A-2), 1-8.

Rhone J, “Studies to determine the feasibility of a baffled apron drop as a spiliway energy dissipator. conconully dam spillway-Okanogan Project”, Washington, U.S. Bureau of Reclamation, Report REC-ERC-71-29, June.

Saberi AA, Ahmadi H, Sedaghat Shayegan D, Amirkardoust A, “Prediction of electricity consumption using three meta-heuristic algorithms”, International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2023, 13 (1), 111-125.

Saberi AA, Sedaghat Shayegan D, “Optimization of haraz dam reservoir operation using CBO metaheuristic algorithm”, International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2021, 11 (4), 599-610.

Sedaghat Shayegan D, Lork A, Hashemi AH, “A new hybrid algorithm for cost optimization of waffle slab”, Slovak Journal of Civil Engineering, 2020, 28 (3), 40-46. https://doi.org/10.2478/sjce-2020-0022

Sedaghat Shayegan D, Lork A, Hashemi AH, “Mouth brooding fish algorithm for cost optimization of reinforced concrete one-way ribbed slabs”, International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2019, 9 (3), 411-22.

Vischer DL, Hager WH, “Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipaters”, Chap 18, USBR, Balkema, Rotterdam, Netherland, 1992.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 54 (2024), Issue 1 (Spring), 56-62

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Investigation of Block Form Effect in Amount of Dissipated Energy of Baffled Apron Spillway Drop by Flow3D

Davood Sedaghat Shayegan *, Mohammad Reza Roosta

Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Roudehen branch, Teharan, Iran

Received: 05 May 2016**; Revew:** 11 March 2018; **Accepted:** 15 July 2018

Keywords:
Jagged weir, Dissipating energy, Block form, Numerical modeling, Flow3D.

1. Introduction

Baffled aprons or Chutes have been in use on irrigation projects for many years. The fact that many of these structures have been built and have performed satisfactorily indicates that they are practical and that in many cases they are an economical answer to the problem of dissipating energy. Baffled chutes are used to dissipate the energy in the flow at a drop and are most often used on channel waste ways or drops. During the past 2 decades, heuristic and metaheuristic optimization techniques have emerged as a promising solution, offering several benefits and possibilities. (Saberi et al., 2021; Sedaghat et al., 2019).

2. Methodology

In this research, Petreka's laboratory data has been used to simulate the flow pattern in toothed spillways. After the modeling done using the laboratory data, to numerically check the effect of the shape of the bases on the flow pattern and the amount of energy consumption, the dimensions and distance of the bases have been changed and other modelings have been done (Peterka, 1978).

3. Results and discussion

The object of this research is evaluation Flow3D in numerical modeling of software flow pattern in Baffled apron spillway drops. Flow3D employs a high accurate model in computational fluid dynamics for simulation of complex geometry problems on extensive range of fluid flows in open channel hydraulic. In this paper, some experimental tests were conducted for calibration of the hydraulic parameters of the Jagged Weir and by applying VOF method for simulation water surface profiles were performed and model accuracy are evaluated with the Assistance of Laboratory investigation in a flume (Fig. 1.).

Publisher: Vice Chancellery for Research & Technology, University of Tabriz
DOI: 10.22034/CEEJ.2020.13438.1349 Online ISSN: 2717-4077
* Corresponding Author:
E-mail addresses: ddshayegan@gmail.com (Davood Sedaghat Shayegan), mohammadrezaroosta87@gmail.com (Mohammad Reza Roosta).

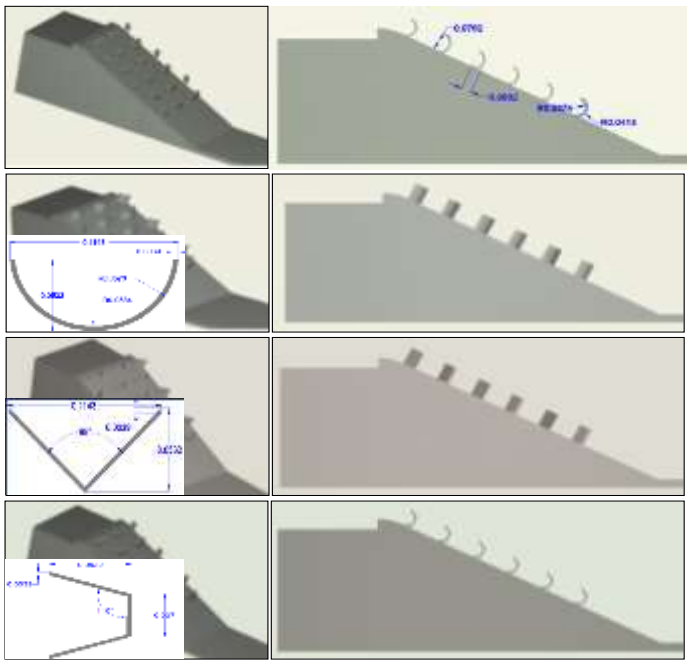


Fig. 1. Baffled Apron Spillway models used in modeling to investigate the effect of the shape of the foundations on the flow pattern and the amount of energy consumption.

4. Conclusions

The results show that Flow3D can be used with high accuracy to simulation of flow over Baffled apron spillway drops. Also, the study was performed for different between five kinds of varied baffles in Baffled apron drop spillway in amount of dissipated energy and we found that horizontal semicircle baffle is the best one.

5. References

Peterka AJ, "Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters", A Water Resource Technical Publication, Engineering Monograph No. 52, USBR Rajaratnam N, "Hydraulic jumps on rough beds", Transportation Engineering Institute Canada. 1978, 11 (A-2), 1-8.

Peterka A, "Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators", Engineering Monograph, No. 25, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation. 1964, 154-188.

Saberi AA, Ahmadi H, Sedaghat Shayegan D, Amirkardoust A, "Prediction of electricity consumption using three meta-heuristic algorithms", International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2023, 13 (1), 111-125.

Saberi AA, Sedaghat Shayegan D, "Optimization of haraz dam reservoir operation using CBO metaheuristic algorithm", International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2021, 11 (4), 599-610.

Sedaghat Shayegan D, Lork A, Hashemi AH, "A new hybrid algorithm for cost optimization of waffle slab", Slovak Journal of Civil Engineering, 2020, 28 (3), 40-46. DOI: 10.2478/sjce-2020-0022

Sedaghat Shayegan D, Lork A, Hashemi AH, "Mouth brooding fish algorithm for cost optimization of reinforced concrete one-way ribbed slabs", International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2019, 9 (3), 411-22.