محاسبه پارامترهای هیدرولیکی سرعت و عمق جریان بر روی سرریز اوجی با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D (مطالعه موردی، سرریز سد جره)

سامان سخایی *[۱]، ابراهیم نوحانی[۲]، علی افروس[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد، دزفول، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، گروه سازه های هیدرولیکی، دزفول، ایران

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، گروه آبیاری و زهکشی، دزفول، ایران

Samansaze90@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز به آب، ضرورت احداث سدهای بزرگ و بدنبال آن سرریزهایی که توان عبور دبی‌های زیاد را داشته باشند هر بیشتر احساس می‌گردد. یکی از مشکلاتی که ساختمان سرریز سدها را تهدید می‌کند پدیده کاویتاسیون است. تجربه نشان داده است که در جریان‌های سریع بر روی این نوع سرریزها وقتی که سرعت آب زیاد شود احتمال خطر کاویتاسیون زیاد می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل FLOW-3D که یک نرم‌افزار قوی در زمینه CFD می‌باشد، سرریز سد جره را مدل نموده و هیدرولیک جریان بر روی آن شبیه‌سازی و پارامترهای سرعت و عمق مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور در طول سرریز تعداد ۱۰ ایستگاه جهت اندازه‌گیری پارامترهای مذکور در نظر گرفته شد. بر مبنای نتایج اندازه‌گیری‌های صورت گرفته با مدل FLOW-3D و مقایسه با مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه موسسه تحقیقات آب، نتایج از مطابقت خوبی برخوردار بودند.

واژگان کلیدی: سرریز اوجی، سرعت، عمق، FLOW-3D

۱-مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون سدهای مخزنی و نیز احتمال خطر ایجاد پدیده کاویتاسیون بر روی سرریز آنها و خسارت بزرگ ناشی از آن، اهمیت مطالعه و تحقیق در جهت رفع این مشکل و مقاوم‌سازی سرریزها در برابر این پدیده را آشکار می‌سازد. در سرعت‌های زیاد، فشار بر روی سرریز تا حد فشار آب کاهش یافته که منجر به تشکیل حباب‌های بخار می‌گردد. حرکت این حباب‌ها به سمت مناطق پر فشار در پایین دست تنداب باعث تراکم و انفجار آنها می‌شود. با انفجار این حباب‌ها در نزدیکی سطح سرریز، کاویتاسیون بوقوع می‌پیوندد که باعث خرده شدن بتن کف و دیواره‌های سرریز می‌گردد.

به طور مثال در سرریزهای بلند چون سرعت سیال فوق العاده زیاد می‌باشد، ناصافی‌های حتی در حد چند میلیمتر هم می‌تواند باعث ایجاد جدایش جریان، کاهش فشار موضعی و خلاءزایی شود. هر نوع روزنه یا برآمدگی و تعویض ناگهانی سطح مقطع هم می‌تواند باعث جدایی خطوط جریان و کاویتاسیون شود. این پدیده معمولاً در پایه‌های دریچه‌ها بر روی سرریزها در قسمت زیر دریچه‌های کشویی و انتهای شوت‌ها رخ می‌دهد. شرایط ذکر شده اغلب در جریان‌های با سرعت بالا پدید می‌آیند. . صدمه کاویتاسیون به سازه‌های طراحی شده برای سرعت‌های بالا و در سدهای بلند و سرریزهای بزرگ یک مشکل دائمی است.

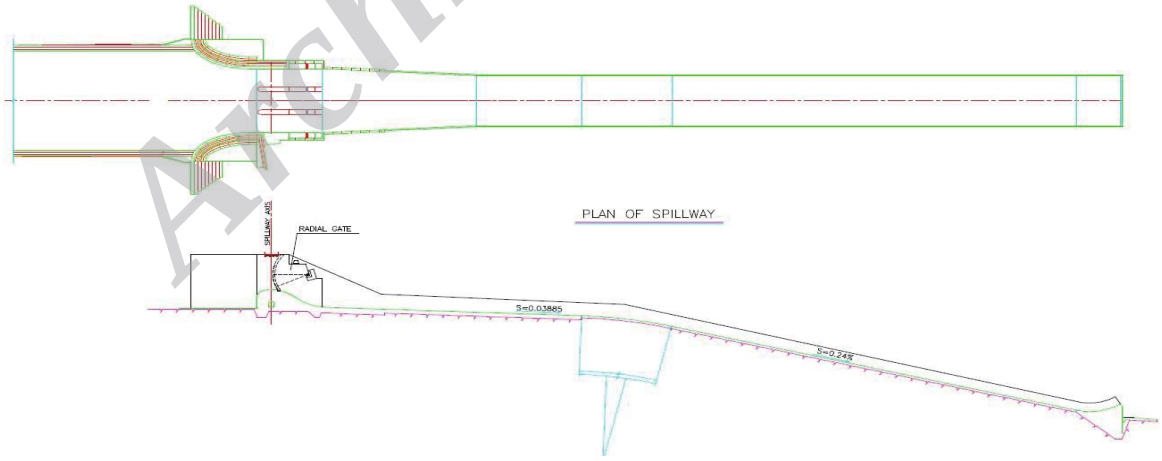
www.SID.ir

۲-پیشینه تحقیق

صادق دهداربهبهانی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی پدیده کاویتاسیون در طول پرتابه جامی شکل سرریز بالارود با استفاده از مدل Flow-3d پرداختند. جهت انجام آزمایشات، پارامترهای هیدرولیکی از قبیل سرعت، عمق آب و فشار در دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شد و پدیده کاویتاسیون بر روی پرتابه جامی شکل سرریز مورد بررسی قرار گرفت. آنها در تحقیق خود از ۴ دبی (۶۶،۱۶۰/۷، ۱۹۳ و ۳۷۸/۶ لیتر بر ثانیه) برای شبیه‌سازی استفاده کردند. بر مبنای نتایج اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به این نتیجه رسیدند که احتمال رخ دادن پدیده کاویتاسیون در قسمت پرتابه بالارود وجود ندارد[۱]. مصطفی کاظمی تربقان و غلامعباس بارانی (۱۳۹۱)، به تعیین ضریب آبگذری سد دوستی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3d پرداختند و نشان دادند که نتایج متوسط سرعت جریان حاصل از مدل عددی در طول تنداب به ازای تمامی دبی‌ها همواره منطبق یا مقادیر کمتری را در مقایسه با نتایج مدل آزمایشگاهی می‌باشد[۳]. دی جئون کیم و جی هائون پارک[1] در سال ۲۰۰۵ با استفاده از مدل عددی تجاری دینامیک سیالات محاسباتی نرم افزار Flow-3d به مطالعهٔ مشخصه های جریان مانند نرخ جریان، پروفیل سطح آب، فشار روی تاج سرریز اوجی و توزیع عمودی فشار و سرعت با در نظر گرفتن مقیاس مدل، تأثیر زبری سطح و جزئیات پرداختند[۶]. فراری[2] در سال ۲۰۰۹ به شبیه سازی عددی جریان با سطح آزاد بر روی یک سرریز با تاج تیز پرداخت. در این پژوهش به بررسی حساسیت مقدار عمق طراحی در محاسبهٔ مناسب پروفیل جریان عبوری از روی سرریز اوجی در روش حجم محدود پرداخته شد[۵].

۳-مشخصات مدل آزمایشگاهی سرریز سد جره

مدل سرریز جره در آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تحقیقات آب با مقیاس ۱:۵۰ ساخته شده است. مشخصات مدل این سرریز به شرح زیر می‌باشد. کانال ورودی ذوزنقه‌ای شکل با طول ۵,۳ متر و عرض بستر ۱,۵ متر در راستای محور سرریز است. سرریز اوجی به معادله $Y = 0.00531X^{1.85}$ می‌باشد. تنداب با عرض ابتدایی ۶۴ سانتی‌متر در طول ۱۳۴ سانتی‌متر ابتدا و شیب ٪۳,۸۸، توسط قطاعی با شعاع ۴۰۰ سانی‌متر و ۱۱,۲۷ درجه به قسمت دوم تنداب با عرض ۵۰ سانتی‌متر و طول ۳,۵ متر و شیب ثابت ٪۲۴ تا رسیدن به پرتاب کننده جامی به شعاع ۵۰ سانتی‌متر و زاویه ۴۵,۵ درجه منتهی می‌شود. طول افقی و ارتفاع کل سیستم تخلیه کننده سیلاب اصلی از آستانه تا انتهای پرتاب کننده به ترتیب ۶۴۹,۳۸ و ۱۲۸,۸ سانتی‌متر می‌باشد. نمایی از پلان و مقطع طولی مدل سرریز جره در شکل ۱ مشاهده می‌شود[۴].



شکل ۱- نمایی از پلان و پروفیل عرضی سرریز جره

1 - Dae Geun kim and Jae Hyun Park,2005

2 - Ferrari

Archive of SID
www.SID.ir

۴-مدل عددی FLOW3D

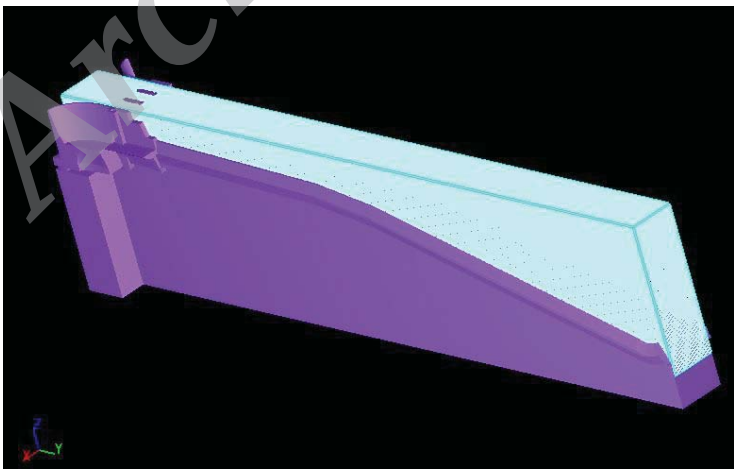
مدل Flow-3d یکی از مدل‌های بسیار قوی در زمینه دینامیک سیالات است که توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow science,Inc صورت گرفته است. این مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان آب، انتقال رسوب و آبشستگی دارد و مدل مناسبی برای شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی است. استفاده از روش VOF[1] در پیش‌بینی سطح سیال و ترکیب آن با روش FAVOR[2] در تشخیص مرزهای صلب و همچنین استفاده از شبکه حل ساده مکعب مستطیلی از ویژگی‌های این مدل هستند که آن را از مدل‌های مشابه متمایز می‌کند.

شاید این نوع شبکه مکعب مستطیلی در نگاه اول به عنوان یک محدودیت مطرح شود، در صورتیکه اولاً به دلیل تولید آسان این نوع شبکه، نظم مناسب و نیاز به حافظه کمتر در آن و ثانیاً به دلیل بکارگیری دو ابزار مفید VOF و FAVOR در مدل FLOW-3D، شبکه حل به فرم مذکور یک مزیت خواهد بود.

به دلیل قابلیت‌هایی که مدل FLOW-3D در زمینه شبیه سازی‌های هیدرولیکی دارد و جواب‌های قابل قبولی که در این زمینه تولید کرده است، اخیراً کاربرد زیادی در این زمینه پیدا کرده است. یکی از قابلیت‌های این برنامه در زمینه آنالیزهای هیدرولیکی، توانایی در استفاده از روش حجم سیال یا VOF در مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد است که مسائل موجود در روش‌های قبلی(روش‌های مبتنی بر آزمون و خطا) را برطرف کرده است[۶].

در این پایان‌نامه جهت مدل کردن سرریز سد جره از فایل ورودی با پسوند stl استفاده شد. روش کار بدین صورت بوده است که فایل CAD پلان و پروفیل طولی سرریز را با استفاده از محیط سه بعدی AutoCad، سه بعدی شده و سپس به صورت فایل با پسوند stl.* ذخیره و در نرم‌افزار فراخوانده شده است. روش اجرا بدین صورت بوده که داده‌های مورد نیاز از قبیل: شکل، تعیین زمان شبیه‌سازی، نوع سیال و تعیین نوع معادلات حل آشفتگی و ...، مدل را شبیه‌سازی و در آخر نتایج با داده‌های فیزیکی بر روی تنداب مقایسه می‌گردند. در این تحقیق از مدل RNG برای حل آشفتگی استفاده شده است.

یکی از موضاعات مهمی که می‌بایست در شبیه‌سازی مورد توجه قرار گیرد، تعیین چگونگی شبکه‌های محاسباتی است. تعداد سلول‌ها در یک مش بستگی به محدوده و اندازه تعیین شده دارد و همچنین این تعداد، میزان دقت و زمان پایان و نتیجه را تعیین می‌کند. از آنجایی که نوع و تراکم مش‌بندی روی دقت نتایج و زمان محاسباتی تأثیر زیادی دارد، لازم است که مش‌بندی مناسبی اتخاذ گردد که هم جوابگوی دقت مورد نیاز در محاسبات باشد و هم از نظر زمان انجام محاسبه در حد متعارفی باشد. شکل ۲ نمایی از شبکه مش بر روی سرریز را در نرم‌افزار نشان می‌دهد[۲].



شکل۲- نمایی از مش‌بندی سرریز در نرم‌افزار

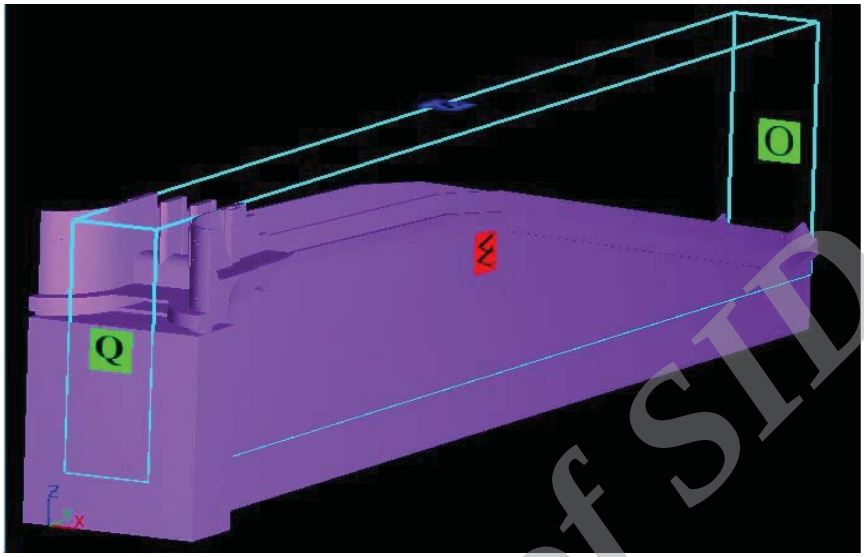
1 -Volume of fluid

2 -Fractional Area-Volume Obstacle Representation

Archive of SID

www.SID.ir

جهت تعیین شرایط مرزی، در مقطع ورودی سرریز(Ymin) از شرط مرزی دبی (Volume flow rate) استفاده شده است. در طرف دیواره‌ها (Xmin,Xmax)و بستر کانال (Zmin)، با توجه به اینکه سرعت سیال روی مرزهای جامد برابر صفر می‌باشد، از شرط مرزی دیوار (Wall) استفاده می‌گردد. در مرز فوقانی سرریز(Zmax)، شرط تقارن (Symmetry) بکار رفته است. همچنین در مقطع خروجی(Ymax)، از شرط خروجی (Out flow) استفاده شده است. (شکل ۳)



شکل ۳- شرایط مرزی اعمال شده برای سرریز در مدل

پس از وارد نمودن کلیه داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار و شبیه‌سازی، کالیبراسیون مدل براساس زبری با نتایج مدل فیزیکی صحت سنجی شد.

۵-نتایج و بحث

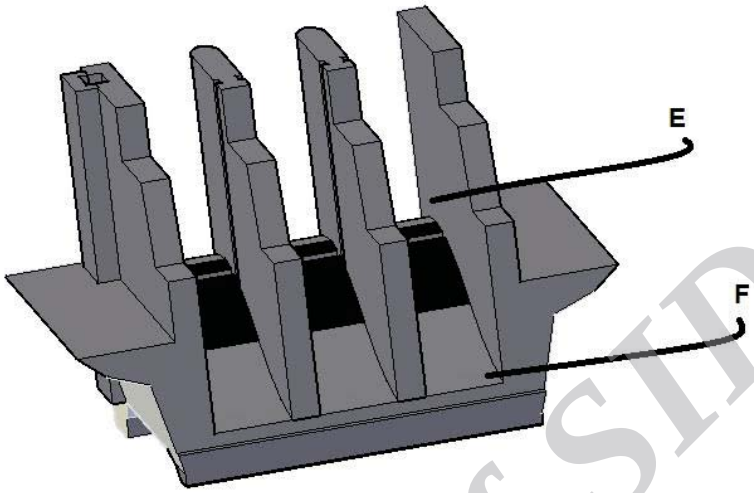
با توجه به شرایط اولیه و مرزی در نظر گرفته شده، تحلیل جریان عددی تا رسیدن به شرایط دائمی ادامه می‌یابد. نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر شامل متوسط سرعت و عمق جریان در مقاطع ذکر شده در طول سازه سرریز سد جره می‌باشد. نتایج برای ۳ دبی (۱۰۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه) بدست آمده است. نتایج حاصل با نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی که در موسسه تحقیقات آب ساخته شده، مقایسه گردید.

۵-۱-نتایج اندازه‌گیری عمق آب

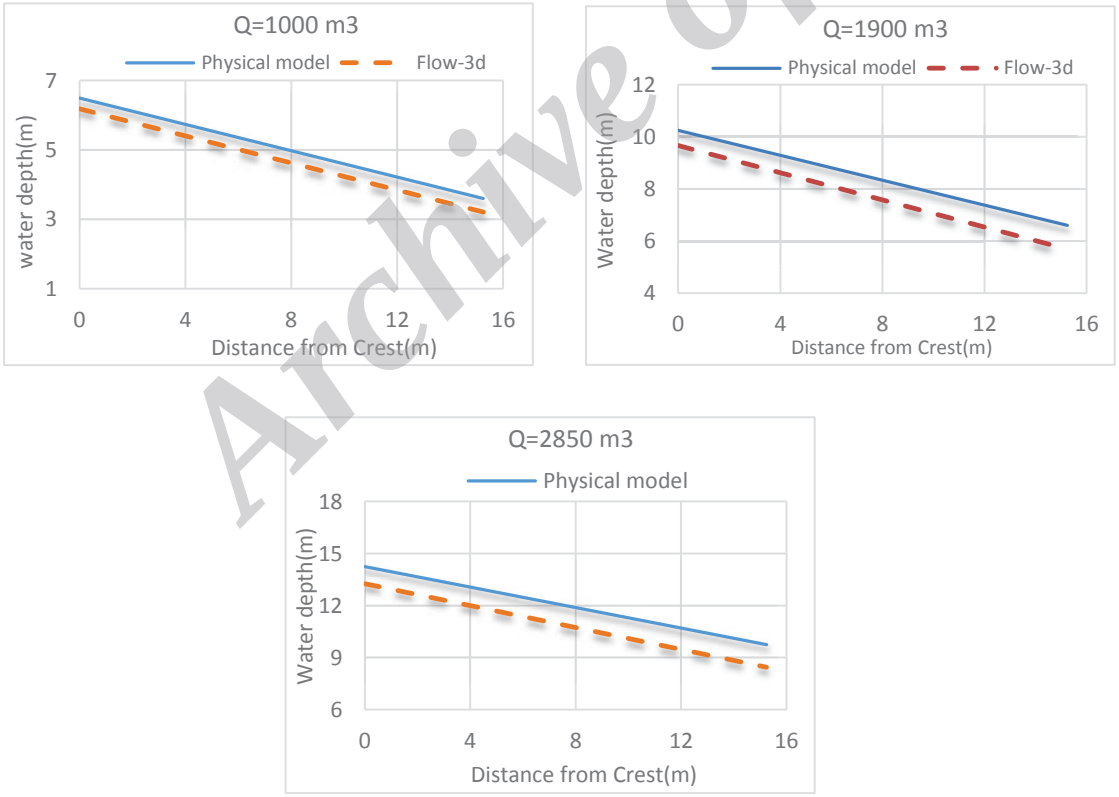
۵-۱-۱- سرریز

از آستانه سرریز تا ابتدای تنداب ۲ مقطع عرضی (E وF) تعیین شده و عمق آب به ازای ۳ دبی (۱۰۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه) اندازه‌گیری گردید. موقعیت مقاطع و مکان‌های اندازه‌گیری در مقطع سرریز در شکل ۴ مشخص شده است. نتایج مقایسه در شکل ۵ ارائه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- موقعیت مقاطع و مکان‌های اندازه‌گیری شده از آستانه سرریز تا ابتدای تنداب

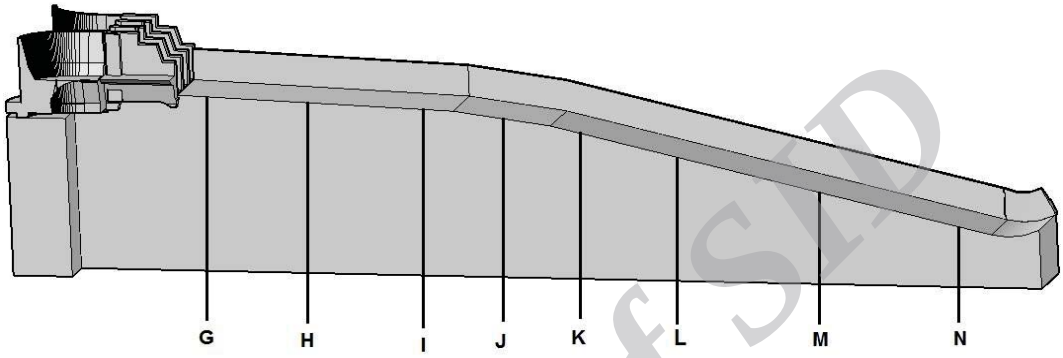


شکل۵- مقایسه عمق جریان حاصل از مدل ریاضی و مدل فیزیکی در سرریز به ازای دبی‌های ۱۹۰۰،۱۰۰۰و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه

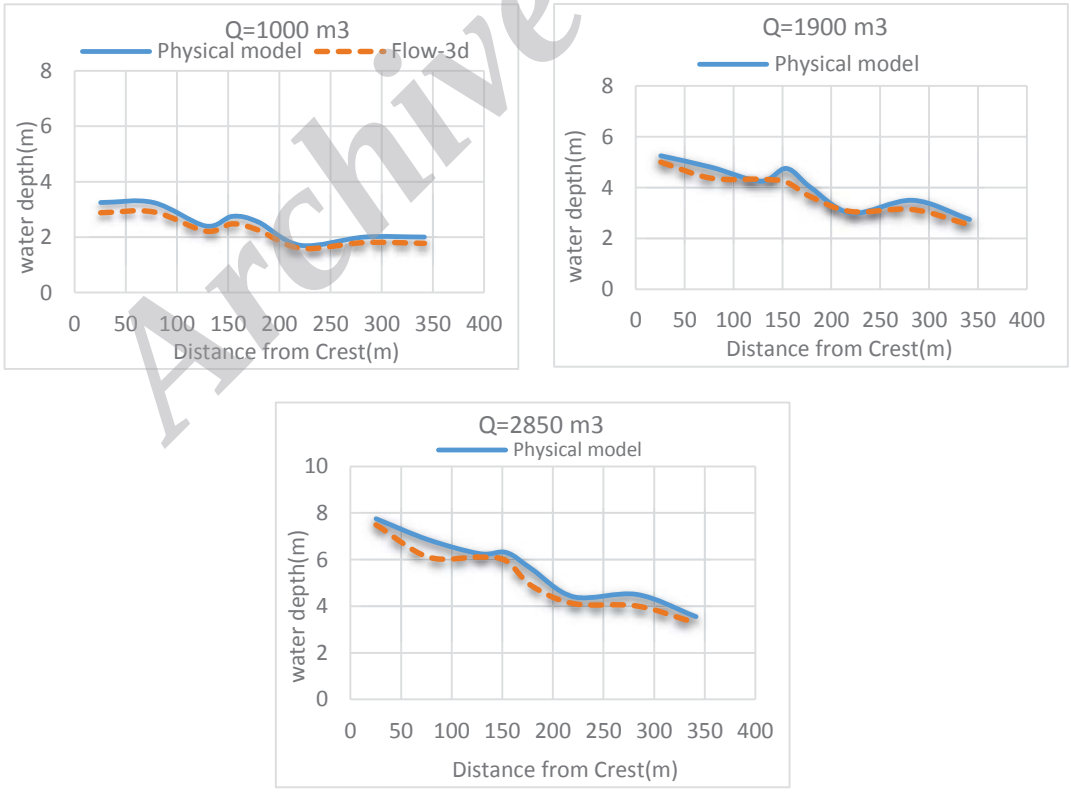
Archive of SID
www.SID.ir

۵-۱-۲-تنداب

در طول تنداب ۸ مقطع عرضـی تعیین شـده و با حروف لاتین (G تا N) معرفی گردیده اسـت. موقعیت مقاطع و مکان‌های اندازه‌گیری در مقطع تنداب در شـکل ۶ ارائه شـده اسـت. نتایج مقادیر اندازه‌گیری و منحنی مقایسـه عمق جریان با نتایج نرم‌افزار در شکل ۷ ارائه گردیده است.



شکل ۶- موقعیت مقاطع و مکان‌های اندازه‌گیری شده در تنداب



شکل ۷- مقایسه مقدار عمق جریان در تنداب به ازای دبی‌های ۱۰۰۰، ۱۹۰۰و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه

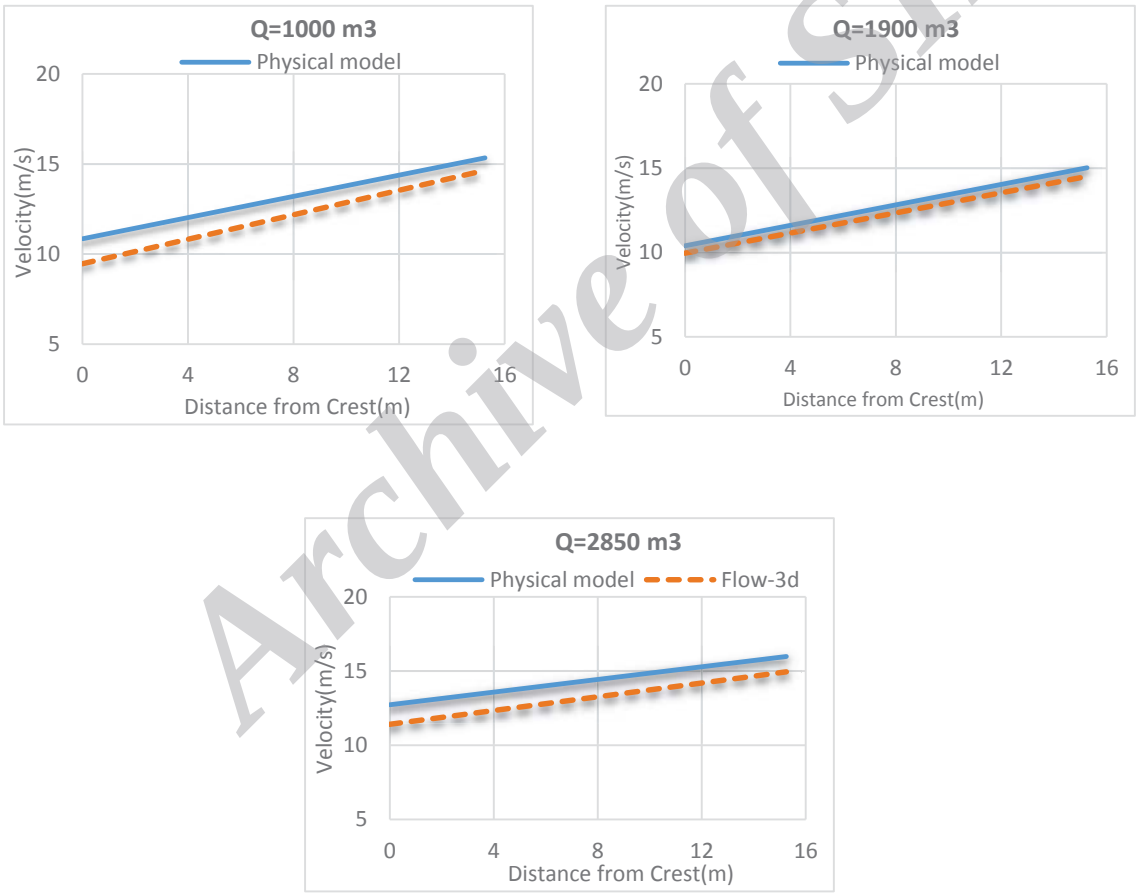
Archive of SID

www.SID.ir

عمق آب در تنداب در جهت طولی به لحاظ شـــتاب‌گیری جریان، کاهش می‌یابد، تا جایی که ســـرعت جریان ثابت و جریان یکنواخت گردد. فاصـــله محل تشـــکیل جریان یکنواخت بر روی تنداب بســـتگی به دبی جریان دارد و با افزایش دبی، این فا صله افزایش می‌یابد. کفایت و عدم کفایت ارتفاع دیوارهای تنداب با در د ست دا شتن نتایج اندازه‌گیری تراز سطح آب در حداکثر دبی محتمل معین می‌گردد. چنانچه تنداب دارای شیب ثابت بوده و به اندازه کافی طویل با شد، کاهش عمق در طول تنداب تا جایی ادامه پیدا می‌کند که به عمق جریان یکنواخت برســد و ســپس ثابت باقی می‌ماند، البته چون در طول تنداب سه شیب ۳/۸، ۱۳/۹ و ۲۴ درصد وجود دارد نمی‌توان به طور دقیق به عمق جریان یکنواخت دست یافت. همچنین به دلیل وجود پایه بر روی سرریز و ایجاد امواج ناشی از انتهای آن (پدیده دم خروسی) و گسترش این موج در محور طولی که موجب تغییر عمق جریان در مقطع عرضـــی تنداب می‌گردد، تعیین محل تشـــکیل جریان یکنواخت را با مشکل مواجه می‌سازد.

۵-۲-نتایج اندازه‌گیری سرعت

۵-۲-۱- سرریز

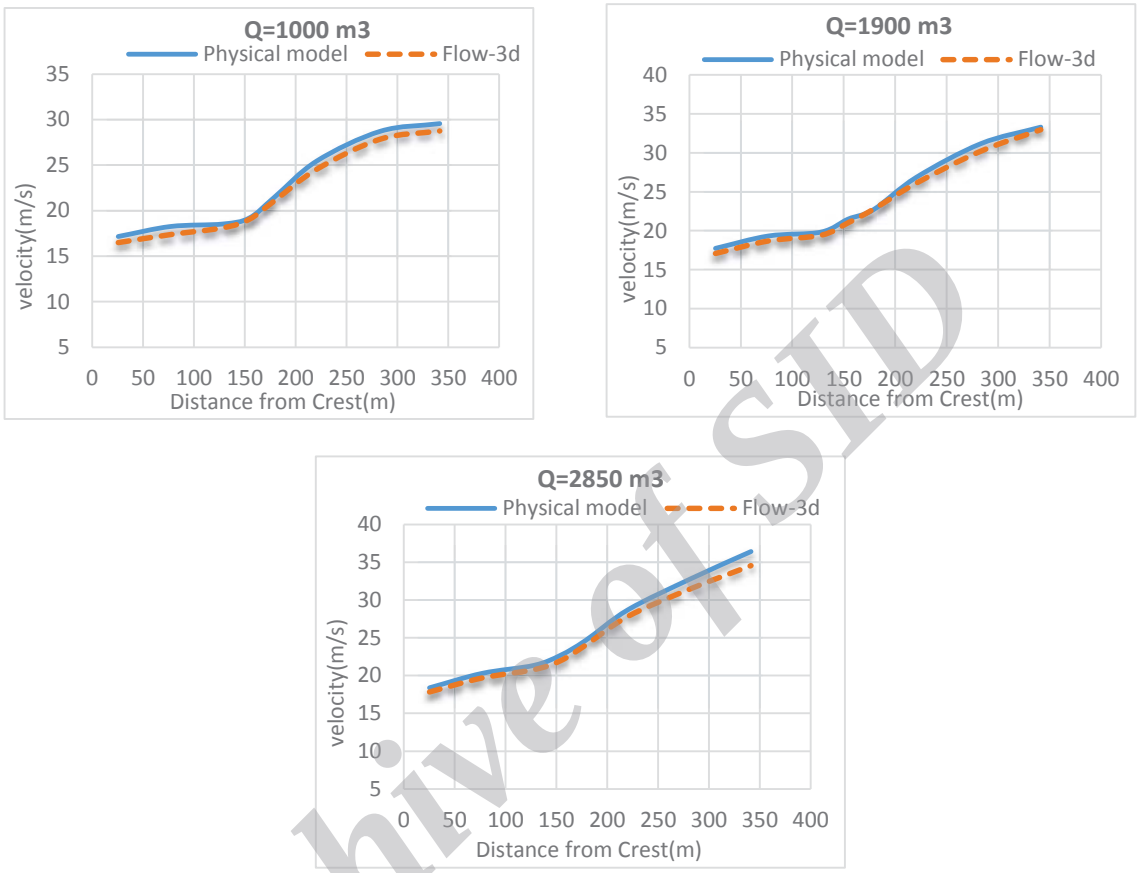


شکل ۸- مقایسه مقدار سرعت جریان حاصل از مدل ریاضی و مدل فیزیکی در سرریز به ازای دبی‌های ۱۰۰۰،۱۹۰۰و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۲-۲- تنداب



شکل ۹- مقایسه مقدار سرعت جریان حاصل از مدل ریاضی و مدل فیزیکی در تنداب به ازای دبی‌های ۱۰۰۰،۱۹۰۰و ۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه

با توجه به نتایج، سرعت در طول تنداب تندشونده می‌باشد. به لحاظ تأثیر امواج، روند افزایش سرعت یکنواخت نمی‌باشد. در قسمت تنداب، سرعت جریان تا قبل از رمپ تقریباً یکنواخت بوده، اما پس از عبور از رمپ افزایش ناگهانی سرعت دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سرعت جریان آب در انتهای تنداب و منتهی به پرتاب‌کننده (مقطع N) تقریباً به دو برابر مقدار خود در ورودی تنداب (مقطع G) رسیده است. بازاء دبی حداکثر (۲۸۵۰ متر مکعب بر ثانیه)، متوسط سرعت در محور وسط و در ابتدای تنداب ۱۷/۸۴ متربرثانیه و منتهی به پرتاب‌کننده ۳۴/۵۶ متربرثانیه است.

۶-نتیجه‌گیری

۱- نحوه مش‌بندی مدل تأثیر زیادی بر نتایج می‌گذارد، به طوری که استفاده از مش درشت نتایج غیر واقعی در مدل به ما می‌دهد، همچنین با انتخاب مش‌بندی‌های ریزتر به جواب‌هایی نزدیکتر به جواب‌های مدل آزمایشگاهی دست خواهیم یافت و این در حالی است که مدت زمان پاسخگویی برنامه به شدت افزایش یافته و پس از یک مقدار مشخص ریزتر شدن مش‌بندی تأثیر چندانی در نتایج ندارد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- نتایج متوسط سرعت جریان حاصل از مدل عددی در طول سرریز بازاء تمامی دبی‌ها، همواره منطبق یا مقادیر کمتری را در مقایسه با نتایج مدل فیزیکی بوده که می‌توان اثرات اعمال زبری سطح بتن و روش حل معادلات جریان را در شکل‌گیری این نتایج موثر دانست.

۳- به‌ازاء دبی حداکثر سیلاب ۲۸۵۰ مترمکعب بر ثانیه، متوسط عمق آب در ابتدای تنداب ۷/۴۹ متر و در انتها، منتهی به پرتاب‌کننده معادل ۳/۲۸ متر است. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده کفایت ارتفاع دیوارهای تنداب می‌باشد.

۴- با توجه به اینکه پیش‌بینی‌ها علی‌رغم اختلاف همخوانی داشته و بدون نیاز به هزینه مدل‌سازی آزمایشگاهی صورت می‌گیرند، می‌توان از داده‌های مدل مذبور در کنار نتایج آزمایشگاهی و تخمین‌های حاصله از نمودارهای متون مهندسی، جهت بررسی جریان بر سازه سرریز و تحلیل و طراحی آن و کنترل آسیب کاویتاسیون بهره برد. با مقایسه داده‌های مربوط به مدل آزمایشگاهی و مدل Flow3d می‌توان نتیجه گرفت که این نرم‌افزار در محاسبات هیدرولیکی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

۷-پیشنهادات

۱- برای استفاده از این برنامه توصیه می‌شود که در مدل‌سازی اولیه، حتماً ابتدا یک مدل مشابه مسأله خاص با شرایط ساده و مش‌بندی بزرگ مدل شود و شرایط مرزی و پارامترهای اصلی مورد بررسی قرار گیرد و پس از اطمینان از نتایج اولیه به جزئیات و ریز کردن مش‌ها پرداخت.

۲- می‌توان این آزمایشات را با نرم‌افزارهای مشابه همانند Fluent و CFX تکرار و نتایج را محاسبه کرد.

منابع

۱- دهدار بهبهانی، ص.،(۱۳۹۰)، بررسی هیدرولیک جریان سرریز بالارود با استفاده از مدل ریاضی Flow3d و مقایسه با مدل فیزیکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- قاسم‌زاده، فیروز، (۱۳۹۲)، "شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در Flow3d"، انتشارات تهران، نوآور.

۳- کاظمی ترقبان، م. و غ ع.بارانی، (۱۳۹۱)، تعیین ضریب آبگذری سد دوستی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3d ، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴- گزارش مدل هیدرولیکی سیستم تخلیه سیلاب سد جره، موسسه تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو، بخش سازه‌های هیدرولیکی.

5- Ferrari, A., (2009), SPH Simulation of Free Surface Flow Over a Sharp Crested Weir, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Trento, Via Mesiano 77, I 38100 Trento, Italy.

6- 6-FLOW-3D user manual, (2011), Flow Science Inc.

7- Kim, Dae Geun. and Park, Jae Hyun., (2005), Analysis of Flow Structure Over Ogee-Spillway in Consideration of Scale and Roughness Effects by Using CFD Model, Ksce Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No.2, pp 161-169.

Archive of SID

www.SID.ir