بررسی حداکثر عمق آبشستگی در سازه مرکب سرریز – دریچه در اثر بازشدگی دریچه با استفاده از مدل عددی FLOW-3D[1]

بهنام نمدیان*[1]، ابراهیم اسدی[2]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۲-استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۰۹

چکیده

سازه‌های سرریز و دریچه به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق به صورت گسترده در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرریز سبب برگشت آب و درنتیجه افزایش سطح مقطع جریان و کاهش سرعت می‌گردد و نیز شرایط مناسب برای ته‌نشینی رسوبات و مواد زائد موجود در آب را ایجاد می‌کند که از معایب این سازه محسوب می‌شود. با انباشت رسوبات در بالادست، شرایط جریان تغییر یافته و از دقت روابط استخراج شده برای تخمین دبی کاسته می‌گردد. با ترکیب سرریز و دریچه می‌توان مشکلات و معایب استفاده هر یک را به تنهایی کاهش داده و در عین حال از مزایای آن‌ها استفاده نمود به طوری که، مواد قابل ته‌نشین شدن در پشت سرریز و تجمع‌کننده در ورودی دریچه از زیر و روی سازه عبور کند. بنابراین رفتار ترکیبی جریان ریزشی از سرریز با جت خروجی از زیر دریچه، شرایط متفاوتی را در پایین‌دست این قبیل سازه‌ها ایجاد می‌کند و باعث تغییر آبشستگی در پایین‌دست این سازه‌ها می‌شود هدف کلی از این تحقیق بررسی اثر میزان بازشدگی دریچه بر میزان آبشستگی در حالت بررسی میزان دبی عبوری از سازه ترکیبی، ارتفاع هد آب بالادست با استفاده از مدل عددی FLOW-3D می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش بازشدگی دریچه ارتفاع آب روی سازه افزایش می‌یابد و از طرفی جت خروجی افزایش می‌یابد و باعث می‌شود عمق آبشستگی افزایش یابد. همچنین با افزایش میزان دبی عبوری از روی سرریز و زیر دریچه و میزان ارتفاع آب بالادست، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، سرریز-دریچه، مدل عددی، سازه مرکب، Flow-3D

۱- مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مقدمه

در مناطقی که سرریز در مسیر رودخانه‌ها یا کانال‌های باز با بستر رسوبی قرار دارد، همواره آب جاری در مسیر کانال، دارای ذرات معلق رسوب و مواد شناور است که در پشت سرریز فرصت ته‌نشینی پیدا کرده و در آنجا تجمع یافته، موقعیت و شکل سرریز در بالادست را تغییر می‌دهد. به این‌ترتیب تأثیر ارتفاع سرریز کاهش یافته و موجب افزایش میزان دبی (به علت عدم کارایی اولیه سرریز) می‌شود. سرریزهای لبه تیز و دریچه‌های کشویی از نظر سهولت ساخت، قابلیت کنترل سطح آب و اندازه‌گیری شدت جریان همواره مورد توجه بوده و مطالعات گسترده‌ای بر روی آن‌ها صورت گرفته است. از آنجا که ماهیت جریان از روی سرریز لبه تیز بسیار پیچیده است، رابطه‌های استخراج شده همواره با در نظر گرفتن یک سری فرضیات، ساده کننده بوده و بر اساس آزمایش‌های تجربی در شرایط متفاوت به‌دست آمده است. از طرف دیگر اغلب سرریزها باعث ایجاد منطقه‌ای دارای آب نسبتاً ساکن در بالادست خود می‌شوند که می‌تواند محل ته‌نشینی رسوبات و مواد زائد موجود در آب گردد و از معایب این سازه محسوب می‌شود. با انباشت رسوبات در بالادست شرایط جریان تغییر یافته و روابط استخراج شده دقت خود را از دست می‌دهند. در این مورد ترکیب سرریز با دریچه می‌تواند به عنوان یک راه‌حل مفید مطرح شود (Alhamid et al., 1996).

رفتار ترکیبی جریان ریزشی از سرریز با جت خروجی از زیر دریچه، شرایط متفاوتی را در پایین‌دست این قبیل سازه‌ها ایجاد می‌کند و باعث تغییر آبشستگی در پایین‌دست این سازه‌ها می‌شود برای حل این مشکل می‌توان سرریز و دریچه را باهم ترکیب کرد و تشکیل سیستم هیدرولیکی متمرکزی بنام سرریز – دریچه ارائه کرد که امکان انتقال مواد رسوبی از زیر دریچه و مواد شناور از روی سرریز را فراهم آورد (قره‌گزلو و همکاران، ۱۳۹۲).

بنابراین برای کاهش مشکل رسوب‌گذاری و ته‌نشینی، باید خصوصیات هیدرولیکی جریان همزمان از زیر دریچه و روی سرریز در مدل ترکیبی سرریز – دریچه مورد مطالعه و بررسی قرارگیرد و همچنین از آنجایی که آشفتگی شدیدی در اثر برخورد دو جت جریان در سرریزهای ترکیبی با دریچه در پایین‌دست آنها ایجاد می‌شود، چاله و حفره آبشستگی در آنها حائز اهمیت می‌باشد. به‌طورکلی سازه‌های آبی قبل از فرآیند ساخت، مدل‌سازی می‌شوند تا از صرف هزینه غیرضروری جلوگیری گردد. اما مشکلی که وجود دارد این است که در برخی مواقع رفتار جریان در مدل فیزیکی با رفتار در سیستم واقعی متفاوت می‌باشد و در نتیجه، بسط اطلاعات به‌دست آمده از مدل، همیشه تمام جنبه‌های سیستم واقعی را شبیه‌سازی نمی‌کند. ضمن اینکه مشکلات جدی در اندازه‌گیری وجود داشته و وسایل اندازه‌گیری نیز عاری از خطا نمی‌باشند. به‌همین منظور نرم‌افزارهایی طراحی شده‌اند تا با استفاده از مدل‌های ریاضی و عددی پیش‌بینی تئوری این اطلاعات را در حوزه جریان انجام داده و تفاوت‌های بین مطالعات در مدل عددی و نمونه اصلی را به حداقل برسانند. از جمله یکی از نرم‌افزارهایی که اخیراً در زمینه سیالات و سازه‌های هیدرولیکی کاربرد فراوانی دارد نرم‌افزار FLOW-3D می‌باشد که از دقت قابل قبولی درشبیه‌سازی جریان‌های آشفته دارد. (Sarhan and Shaker 2018) درتحقیقی، اثر جریان بر سازه ترکیبی سرریز – دریچه را با مدل عددی FLOW-3D شبیه‌سازی و با مدل تجربی آن اعتبارسنجی کردند، نتایج گویای دقت خوب این نرم‌افزار می‌باشد.

پیش‌بینی‌های محاسباتی نسبت به کار آزمایشگاهی مزایایی دارد که ازجمله، هزینه پایین اجرای مدل، سرعت بالا و به دست‌آوردن یک‌سری از اطلاعات

موردنیاز در سراسر حوزه مورد علاقه است با پیدایش رایانه‌ها و راهکارهای جدید برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حرکت آب و حتی رسوب، مدل‌های ریاضی متعدد با فرضیات ساده‌کننده و درجه‌های مختلف دقت، به‌منظور شبیه‌سازی جریان به‌وجود آمده‌اند. به‌دلیل دشواری عملیات اندازه‌گیری مستقیم و همچنین عدم کارایی روش‌های تجربی برای کلیه مسائل نسبتاً پیچیده‌ی جریان، مدل‌های ریاضی و رایانه‌ای به‌عنوان ابزارهایی بسیار مفید و کارآمد مورد توجه و استفاده قرارگرفته‌اند. بررسی عددی خصوصیات هیدرولیکی جریان و فرسایش بستر پایین‌دست سازه سرریز – دریچه در این مطالعه با استفاده از مدل عددی انجام می‌شود. مدل عددی FLOW-3D، یک نرم‌افزار مهندسی به کمک رایانه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل‌کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده می‌باشد. این مدل عددی امکان تغییر شبکه، به‌صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه‌های غیر ساخت یافته برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌سازد (کاهه و همکاران، ۱۳۹۴).

نوع شبکه‌های محاسباتی قابل تولید و دریافت، توسط این گروه نرم‌افزاری شامل شبکه‌هایی چهارضلعی (برای هندسه‌های دوبعدی) می‌باشد. توجه به قابلیت‌ها و ویژگی‌های بسیار مطلوب مدل عددی FLOW-3D باعث شده در این تحقیق از این مدل عددی، جهت شبیه‌سازی جریان عبوری و فرسایش بستر سازه ترکیبی سرریز مستطیلی لبه تیز با دریچه استفاده و نتایج مورد مقایسه و ارزیابی قرارگیرد.

مواد و روش‌ها

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه آبشستگی پایین‌دست سازه سرریز و سازه دریچه به‌صورت جداگانه انجام شده است، اما در مورد سازه ترکیبی سرریز – دریچه تحقیق‌های کمتری انجام شده است. Beshkoj and Shaker (2020) عملکرد هیدرولیکی ساختار ترکیبی سازه سرریز – دریچه را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن را با استفاده از مدل عددی ANSYS-CFX شبیه‌سازی و ارزیابی نمودند و نشان دادند که این مدل عددی قادر به شبیه‌سازی هیدرولیکی سیستم ترکیبی سرریز – دریچه می‌باشد و میانگین خطای آن (۱/۹۸ درصد و ۰/۳۷ درصد) می‌باشد و همچنین درمورد سایر پارامترهای هیدرولیکی به نتایج قابل قبولی رسیدند.

Saneie et al., (2017) به بررسی آبشستگی مدل ترکیبی سرریز – دریچه با استفاده از مدل عددی FLOW-3D و مقایسه آن با مدل آزمایشگاهی پرداختند، نتایج نشان می‌دهد که مدل عددی مذکور با مدل آزمایشگاهی دارای خطای ۷/۳۷ درصد می‌باشد که با توجه به معادلات پیچیده اینگونه سازه‌ها یک مقدار قابل قبول برای مدل عددی می‌باشد. همچنین حداکثر خطای مدل در ۶۰ ثانیه اول رخ می‌دهد که با مرور زمان این خطا کاهش می‌یابد. چرا که در مدل عددی مقادیر دبی، دقیقاً از ابتدای شبیه‌سازی به مدل اعمال می‌شود که علاوه بر این، عوامل دیگری شامل فشرده‌سازی مواد بستر، شکل هندسی سنگ‌دانه‌ها، شرایط منسجم مواد، دقت ابزارهای اندازه‌گیری در آزمایشگاه و غیره، از عوامل تاثیرگذار برای این خطا می‌باشد.

Samani and Mazaheri, (2009) به بررسی تخمین رابطه دبی جریان عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در حالت‌های مستغرق و نیمه‌مستغرق پرداختند. نتایج بررسی هیدرولیک جریان ایشان نشان می‌دهد که سیستم سرریز- دریچه، موجب اصلاح خطوط جریان شده، شرایط جریان را به حالت تئوریک نزدیک‌تر و در نتیجه، واسنجی ضریب شدت جریان سیستم سرریز – دریچه و تخمین دبی جریان با دقت بیشتری نسبت به سرریزهای معمولی انجام می‌شود.

Hayawi et al., (2008) به بررسی تجربی مشخصات هیدرولیک جریان همزمان از روی سرریز و دریچه پرداختند. آن‌ها بعد از تعیین پارامترهای بی‌بعد،

رابطه‌ای برای تعیین ضریب جریان ارائه نمودند. همچنین Shesha and Shivapur, (2004) نیز به بررسی دبی جریان از روی سرریز مستطیلی و از زیر دریچه V شکل پرداختند و به این نتیجه رسیدند، زمانی‌که از زیر دریچه V شکل و کج استفاده می‌شود، دبی کانال‌های مستطیلی با بسترثابت به شکلی دقیق‌تر قابل تخمین است.

Negm et al., (1994) در این زمینه، متغیرهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر را بررسی و برای جریان سازه سرریز مثلثی روی دریچه مستطیلی با ابعاد مختلف، روابطی را به صورت جداگانه استخراج کردند.

تا پیش از سال ۱۹۸۵، سال انتشار مقاله احمد Ahmed (1985) در زمینه ایده ترکیبی سرریز – دریچه، اطلاعات کمی درباره این مدل وجود داشت که پس از آن، اولین بار یک سری آزمایش توسط Uymaz (1988) در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی بر روی آبشستگی سازه ترکیبی سرریز – دریچه صورت گرفت. ایشان برای ۲ نوع دانه‌بندی و رسوب غیرچسبنده آزمایش‌های خود را اجرا نمودند. همچنین تمامی آزمایش‌ها، یک بار برای دریچه تنها و یک بار در حالت ترکیب دریچه و سرریز انجام دادند. پس ازانجام آزمایشات، داده‌های به‌دست آمده را تجزیه و تحلیل نموده تا به یک رابطه رگرسیونی خطی لگاریتمی بین پارامترهای عمق آبشستگی با قطر رسوبات و ارتفاع آب پایین‌دست برسد. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که آبشستگی در پای سازه ترکیبی سرریز – دریچه خیلی کمتر از زمانی است که تنها جریان از زیر دریچه وجود دارد و همچنین عمق آبشستگی بستگی زیادی به مقدار دبی جریان دارد.

شبیه‌سازی عددی به منظور مطالعه و تحلیل جریان در سازه‌های مختلف، مدل‌های فیزیکی و ریاضی مختلف بکار گرفته می‌شود. با توجه به توسعه سیستم‌های کامپیوتری و محاسباتی و همچنین وجود پیچیدگی‌های غیر قابل اندازه‌گیری در جریان عبوری از یک سازه ترکیبی سرریز – دریچه در مدل‌های آزمایشگاهی، استفاده از شبیه‌سازی عددی می‌تواند در بررسی هیدرولیکی چنین جریان‌هایی بسیار مؤثر و قابل توجه باشد. در سال‌های اخیر، به دلیل ابداع روش‌های پیشرفته و دقیق حل عددی معادلات و بوجود آمدن

سلامتی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تغییر پارامترهایی مانند دبی جریان، بازشدگی دریچه و ارتفاع سازه ترکیبی در کانال آزمایشگاهی، اثرات هیدرولیکی جریان و هندسه مجرا بر میزان ضریب دبی جریان در سیستم سرریز – دریچه مورد بررسی قرار دادند و سپس به کمک برنامه‌ریزی ژنتیک، در نهایت چند رابطه با دقت بالا برای ضریب آبگذری در سازه ترکیبی سرریز– دریچه به‌دست آوردند.

کاهه و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل عددی FLOW-3D، به شبیه‌سازی هیدرولیک جریان سازه ترکیبی دریچه – سرریز پرداختند و نتایج آن را با استفاده از نتایج آزمایشگاهی واسنجی کردند. نتایج نشان می‌دهد که مدل عددی فوق از دقت بالایی جهت شبیه‌سازی آبشستگی پایین‌دست سازه ترکیبی و پروفیل سطح آب برخوردار است. همچنین درتحقیقی دیگر به مدل‌سازی آبشستگی سازه ترکیبی سرریز – دریچه به صورت عددی پرداختند و از مقایسه تأثیر پارامترهای مؤلفه رسوب در حداکثر عمق آبشستگی نتیجه می‌شود که پارامترضریب دراگ تأثیر زیادی بر مقدار آبشستگی دارد و همچنین مدل (LES) از دقت بالایی در شبیه‌سازی پارامترهای آشفتگی برخوردار است (کاهه و همکاران، ۱۳۹۳).

گرزین (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در پایین‌دست سرریز و دریچه مایل در ارتفاع به صورت ترکیبی پرداخته است و زوایای مختلف قرارگیری دریچه و همچنین اثر ارتفاع قرارگیری آن و پارامترهای مؤثر را جهت تعیین میزان آبشستگی بررسی نموده است.

رایانه‌های قوی برای انجام محاسبات، می‌توان در طراحی این سازه‌های پیچیده از روش‌های حل عددی نیز بهره گرفت. دینامیک سیالات محاسباتی، از روش‌های محاسبه و شبیه‌سازی میدان جریان سیال می‌باشد که در قرن اخیر مورد توجه خاص مهندسین و طراحان قرار گرفته است. استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی حاکی از مزایای زیر است:

- کاهش در زمان و هزینه در طراحی‌ها
- توانایی مطالعه سیستم‌هایی که انجام آزمایشات کنترل شده روی آن‌ها دشوار و یا غیر ممکن است مانند تأسیسات بزرگ
- توانایی مطالعه سیستم‌های تحت شرایط تصادفی و بالاتر از حدود معمول آن‌ها

مدت زمان آزمایشات

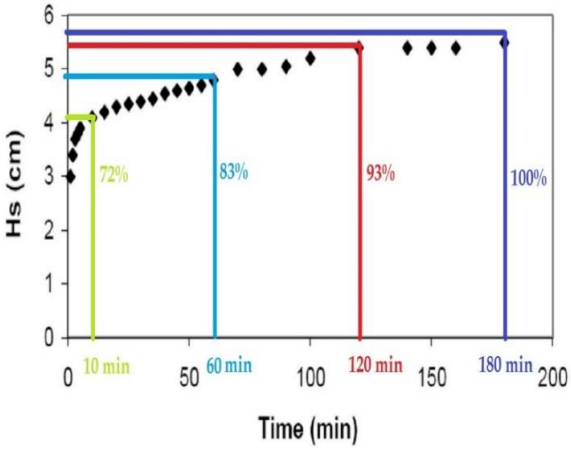
برای استخراج داده‌های درست و دقیق یک مدل عددی در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی حالت تعادلی لازم می‌باشد. بنابراین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و بنا به دلایل زیر، زمان ۱ ساعت به عنوان زمان تعادل آبشستگی فرض شده و مدت انجام هر آزمایش نیز برابر با آن انتخاب شد:

۱) طبق داده‌های آزمایشگاهی شکل ۱، مشاهده می‌شود که بیشترین عمق آبشستگی در دقایق اولیه رخ داده و با گذشت زمان از حداکثر شدت آن کاسته می‌شود.

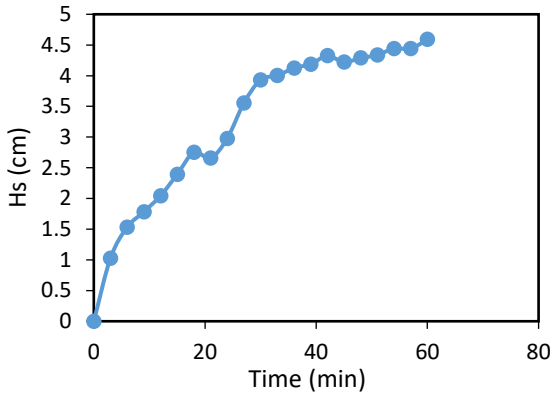
۲) همچنین با توجه به تعداد مدل‌های این تحقیق، انتخاب مدت ۳ ساعت که اختلاف آن با دو ساعت اولیه تنها ۷ درصد و حتی انتخاب ۲ ساعت برای انجام هر آزمایش، بسیار زمان‌بر بوده و امکان بررسی بسیاری از پارامترهای موثر بر آبشستگی میسر نمی‌گردید.

۳) اگرچه با فرض زمان ۱ ساعت به عنوان زمان تعادل آبشستگی، نتایج به دست آمده دقیقاً برابر آبشستگی نهایی نیستند، ولی باید توجه داشت که در این مدت ۸۳ درصد آبشستگی اتفاق افتاده و نتایج تقریبی مناسبی را به منظور مقایسه فراهم می‌آورد.

به همین دلیل یک شبیه‌سازی با توجه به مشخصات آزمایشگاهی در مدت زمان ۱ ساعت انجام شد و نتایج شبیه‌سازی طبق شکل ۲ نشان داد که پس از گذشت زمان ۱ ساعت، نشان از انطباق خوب و قابل قبول با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد و خطای اندازه‌گیری شده حدود ۵/۳ درصد می‌باشد همچنین در مورد تعداد سیالات حالت تک سیاله تراکم ناپذیر و واحد شبیه‌سازی بر حسب SI با توجه به نمونه آزمایشگاهی انتخاب گردید.



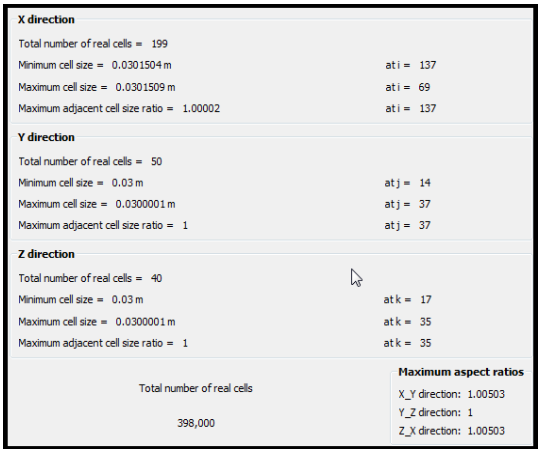
شکل (۱): حداکثر عمق آبشستگی با زمان در حالت آزمایشگاهی



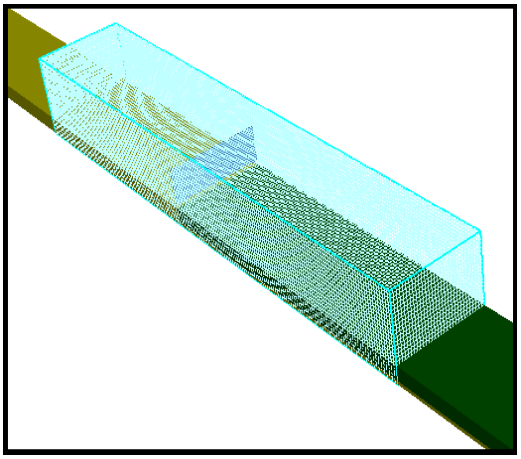
شکل (۲): حداکثر عمق آبشستگی با زمان در حالت عددی

شبکه مش‌بندی

به منظور تعیین اندازه شبکه‌های میدان محاسباتی جریان در کانال سرریز – دریچه، ابتدا سلول‌ها به ابعاد ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که ابعاد سلول‌های انتخاب شده برای هندسه سرریز – دریچه مناسب کار نبود و خروجی نامناسبی ارائه می‌کرد. به همین دلیل سلول‌های محاسباتی بیشتری به ابعاد ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از بررسی و صحت‌سنجی ابعاد در این مرحله نیز مشاهده شد که بخشی از سلول‌های مدل هندسی (ضخامت سرریز لبه تیز) معرفی شده توسط مدل عددی به خوبی تحت پوشش قرار نمی‌گیرد و خروجی گرافیگی آن ضعیف می‌باشد. لذا با تغییر ابعاد سلول‌های شبکه‌بندی در مدل عددی، در هر جهت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که از خروجی قابل قبولی برخوردار بود. شکل ۳ تعداد کل مش‌بندی شبکه محاسباتی و شکل ۴ گراف شبکه مش‌بندی آزمایشات را نشان می‌دهد.

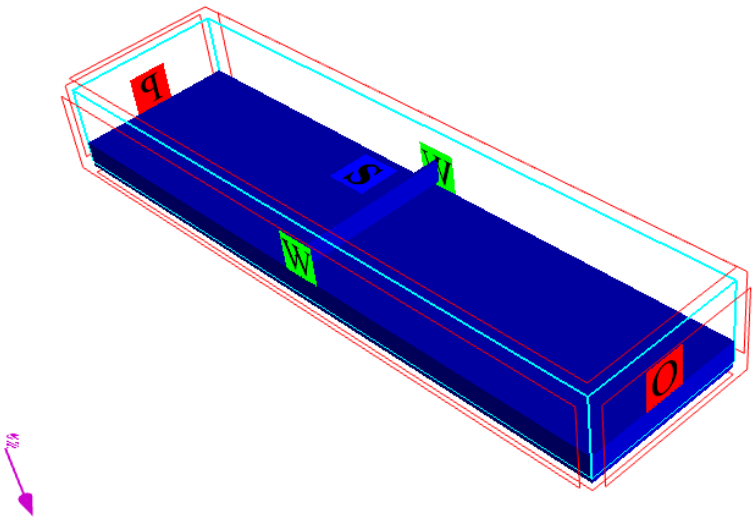


شکل (۳): تعداد کل مش‌بندی شبکه محاسباتی



شکل (۴): شبکه‌بندی میدان حل در مدل عددی در نرم‌افزار FLOW-3D

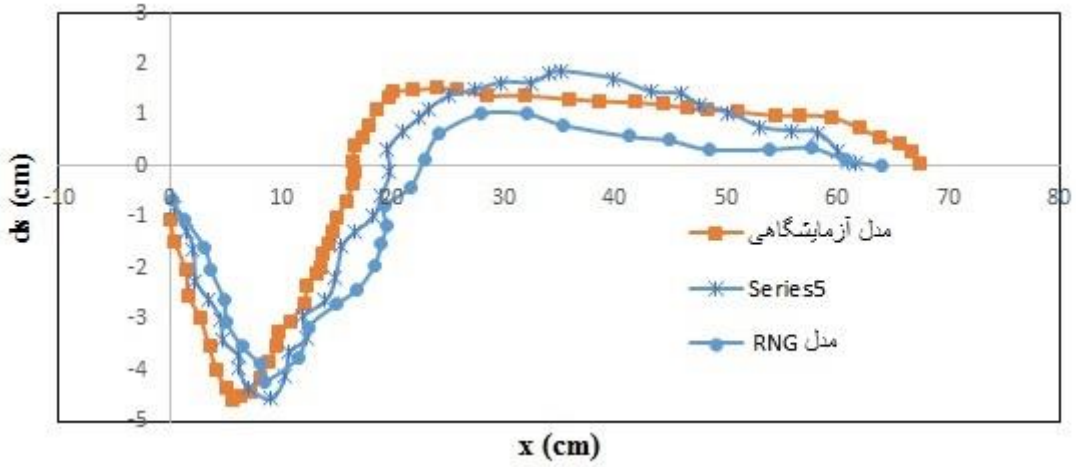
اعمال شرایط مرزی موجود در مدل‌های عددی بر اساس شرایط صحیح و امکان‌پذیر بایستی به مدل عددی معرفی گردد. به همین علت در شرایط مرزی بلوک شبکه‌بندی ایجاد شده در مدل عددی FLOW-3D شرایط مرزی در جهت Ymax و Yminبا توجه به این‌که در مدل‌های واقعی، جداره نفوذ ناپذیر برای مدل هیدرولیکی قرار داده شده است لذا در این مدل عددی نیز برای جداره‌ها از شرایط مرزی Wallکه کاملاً مشابه به شرایط آزمایشگاهی هست، انتخاب گردید. شرایط مرزی کف Zmin فلوم نیز همانند جداره‌ها در مدل واقعی، از جداره نفوذ ناپذیر استفاده گردیده است که در مدل عددی شبیه‌سازی شده نیز شرایط مرزی Wall انتخاب گردید. به منظور اعمال شرایط مرزی برای وجه Zmax در مدل عددی با توجه به اینکه در مدل واقعی جریان دارای سطح آزاد و در تماس مستقیم با هوا می‌باشد بایستی شرایط مرزی برای این وجه از Symmetry یا شرایط تقارن استفاده شود که در این صورت گردیان تغییرات فشار هوا در داخل و خارج صفر در نظر گرفته می‌شود و از آنجایی که در مدل FLOW-3Dنیازی به تعریف فاز هوا به عنوان یک فاز جدید در مسائل هیدرولیکی نمی‌باشد، شرایط سطح آزاد جریان و تماس مستقیم با فشار نسبی هوا کاملاً برقرار می‌گردد. به منظور انتخاب و اعمال صحیح شرایط مرزی ورودی و خروجی جریان در مقاطع Xmin و Xmaxنیز بر اساس شرایط ارتفاع آب و دبی مورد نیاز در هر مدل در نظر گرفته شده است. در حالت‌های مختلف، جریان با فشار مشخصه معادل ارتفاع آب بالادست به طوری که جریان روگذر از سرریز و زیر دریچه رخ دهد. از طرف دیگر پس از عبور جریان از محل سرریز- دریچه بایستی به مرز خروجی و به بیرون از مدل عددی هدایت شود که جریان خروجی در پایین- دست همانند شرایط آزمایشگاهی به صورت Outflowاعمال گردیده است. کلیه شرایط مرزی اعمال شده به مدل عددی سرریز- دریچه به صورت شکل ۵ زیر نشان داده شده است



شکل (۵): شرایط مرزی اعمال شده در مدل عددی در نرم‌افزار FLOW-3D

بحث و نتایج

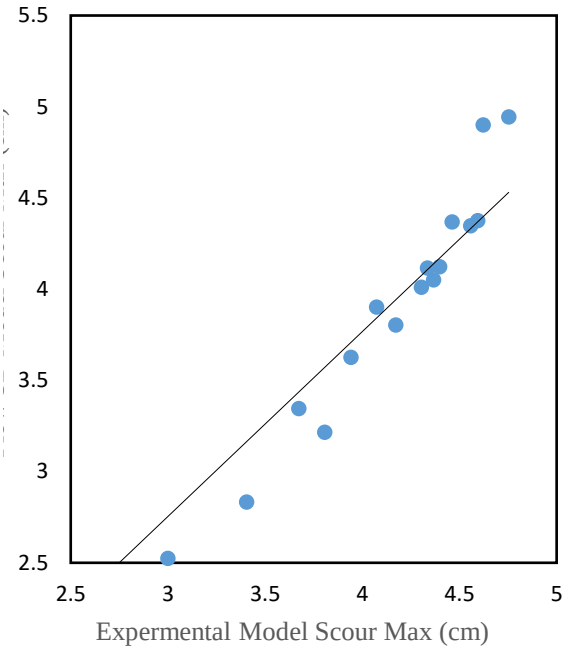
همانطور که در بخش قبلی توضیح داده شد، شبیه‌سازی در نرم‌افزار با پنج مدل آشفتگی می‌تواند صورت بگیرد. با توجه به مرور منابع قبلی و متون علمی و کاربرد بیشتر دو مدل آشفتگی در اکثر تحقیقات لذا در این پژوهش از دو مدل گروه‌های نرمال شده LES و مدل RNG استفاده گردید و بعد از صحت سنجی با داده‌های آزمایشگاهی مشاهده شد که مدل آشفتگی LES با کمترین خطا حدود ۵.۳ درصد نسبت به مدل RNG با خطای ۷.۳۳ درصد به مدل واقعی نزدیک‌تر می‌باشد. به همین منظور با توجه به داده‌های آزمایشگاهی مدل‌هایی شبیه‌سازی شد و با مدل ذکر شده بررسی گردید که نتایج در شکل ۶ مشاهده می‌گردد.



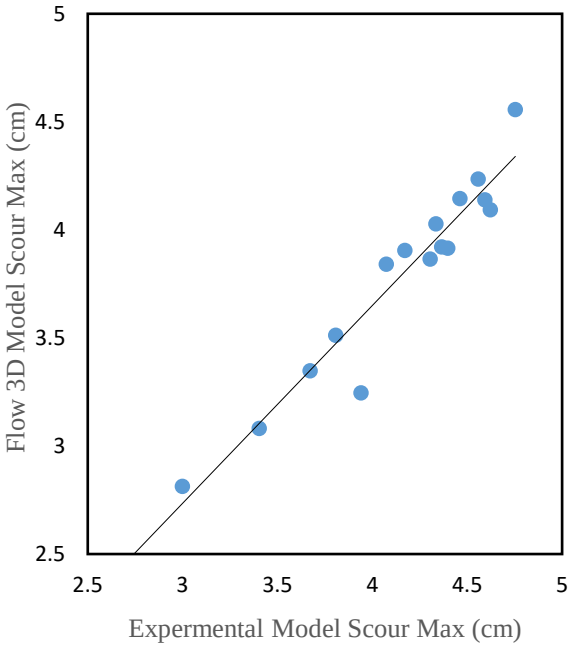
شکل (۶): بررسی بهترین مدل آشفتگی نسبت به مدل آزمایشگاهی

نرخ انتقال بار بستر

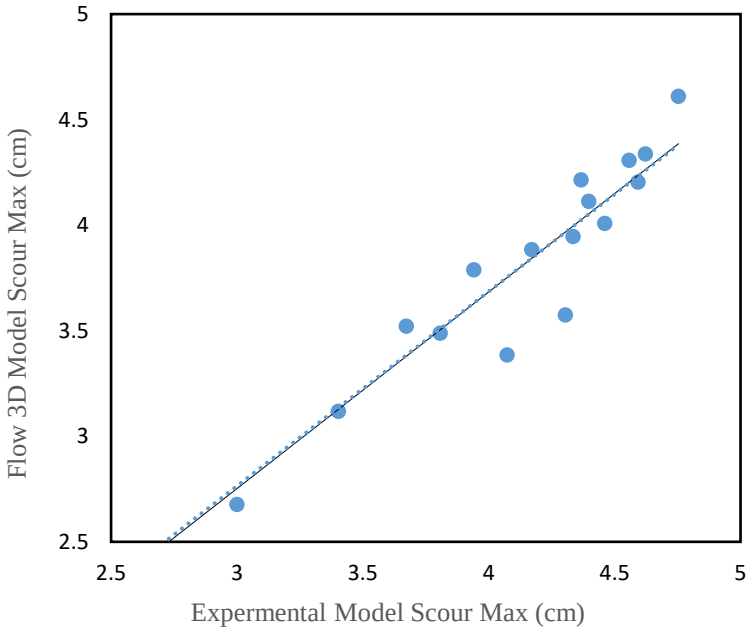
نرخ انتقال بار بستر به ازای تنش‌های برشی بیشتر از تنش برشی بحرانی را کنترل می‌کند. محققین دامنه‌ای از مقادیر بین ۵ تا ۱۳ را برای این ضریب پیشنهاد کرده‌اند به طوری که مقدار ۵ برای شدت انتقال پایین و مقدار ۱۳ برای شدت‌های بالای انتقال ماسه استفاده می‌شود. نرم‌افزار FLOW-3D سه رابطه‌ی Van Rijn ,Meyer-Peter & Muller و Nielsen برای این ضریب پیشنهاد می‌کند، لذا با توجه به ضرورت این پارامتر در مسائل آبشستگی، تعیین بهترین معادله انتقال رسوب برای شبیه‌سازی‌ها حائز اهمیت می‌باشد تا مدل هر چه بیشتر به مدل واقعی نزدیک‌تر باشد. لذا با توجه به این موضوع، یک سری آزمایش عددی بر طبق داده‌های آزمایشگاهی انجام گرفت تا بهترین شرایط برای شروع شبیه‌سازی‌ها انتخاب گردد. در شکل ۷، ۸ و ۹، نتایج حاکی از این است که داده‌های مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی برازش مناسب دارند و در این بین، داده‌های مدل با رابطه‌ی Van Rijn از همبستگی بالایی با داده‌های آزمایشگاهی برخوردار است. بنابراین طبق جدول ۱ این رابطه برای انجام شبیه‌سازی‌ها انتخاب گردید. شکل ۱۰ گرافی از نتایج ۲ بعدی را نشان می‌دهد.



شکل (۷): ارزیابی دقت رابطه Nielsen در تخمین عمق آبشستگی



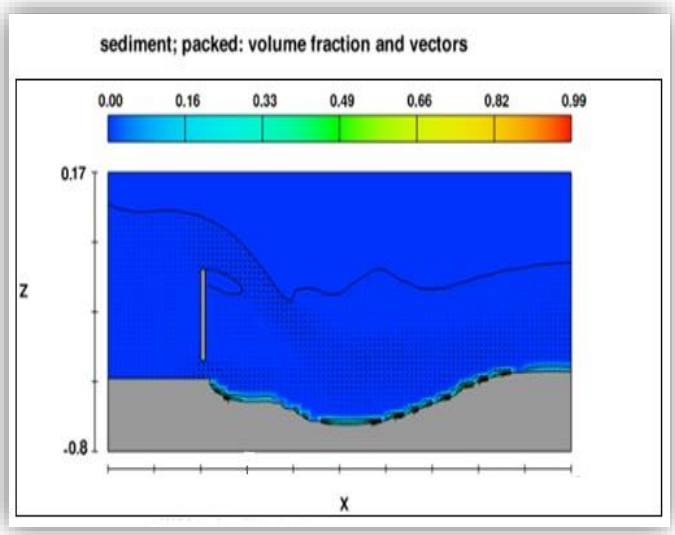
شکل (۸): ارزیابی دقت رابطه Van Rijn در تخمین عمق آبشستگی



شکل (۹): ارزیابی دقت رابطه Meyer-Peter and Muller در تخمین عمق آبشستگی

جدول (۱): نتایج کلی از مدل‌های بخش صحت‌سنجی

نام مدل	مدل آشفتگی	تعداد سلول	زمان شبیه سازی (S)	R^2	RMSE	MAE
Meyer-Peter & Muller	RNG	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۹۰۱	۰.۱۵۸	۰.۰۲۸
	LES	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۹۷۳	۰.۱۲۲	۰.۰۲۲
Nielsen	RNG	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۸۳۵	۰.۶۵۱	۰.۰۵۰
	LES	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۹۵۹	۰.۴۰۸	۰.۰۲۴
Van Rijn	RNG	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۹۲۷	۰.۱۳۲	۰.۰۱۹
	LES	۳۹۸۰۰۰	۳۶۰۰	۰.۹۸۵	۰.۱۰۷	۰.۰۱۱



شکل (۱۰): تصویر دو بعدی از مدل در بخش صحت‌سنجی در محیط نرم‌افزار FLOW-3D

محدوده کلی پارامترهای مورد بررسی در تحقیق

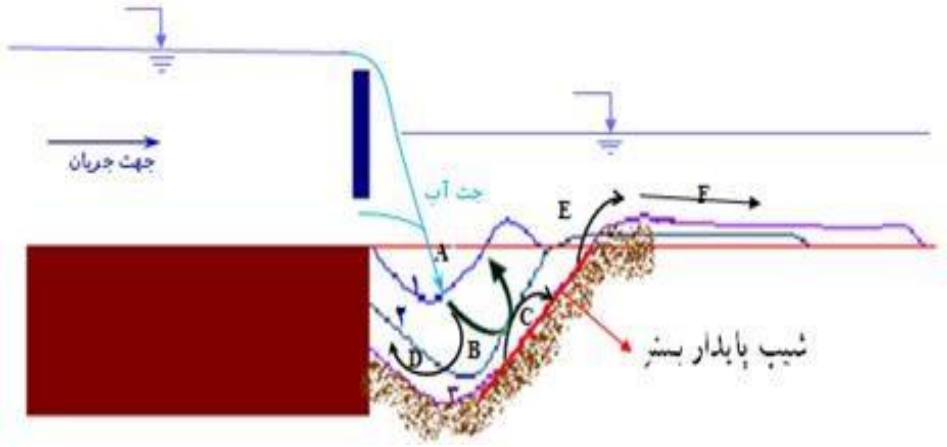
در این بخش پس از صحت‌سنجی و کالیبره‌کردن نرم‌افزارFlow-3d ، زمینه برای شروع شبیه‌سازی‌ها به منظور تحقق اهداف پژوهش انجام می‌گیرد. به همین دلیل هندسه مدل پژوهش حاضر در کانال مستطیلی شکل به ابعاد با طول ۶ متر، عرض ۱.۵ متر و ارتفاع ۱.۲ متر با حالت بستر رسوبی و فرسایش‌پذیر که ارتفاع بستر رسوبی ۰.۲۵ متر می‌باشد. سازه ترکیبی مورد نظر با جنس بدنه صلب و به ضخامت ۰.۰۳ متر و در حالت عدم فشردگی جانبی در فاصله ۳ متری از ابتدای کانال تعبیه شده است. کف کانال در پایین‌دست سازه، از رسوبات با چگالی جرمی ۲۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و زاویه ایستایی ۳۲ درجه با قطر متوسط ذرات ۰.۰۰۱ متر و عدد بحرانی شیلدز ۰.۰۳۲ و به صورت یکنواخت می‌باشد. مصالح بستر، ماسه غیرچسبنده و سیال مورد استفاده آب زلال و شیب کف کانال صفر می‌باشد. در تحقیق حاضر شبیه‌سازی عددی به صورت ۳ بعدی می‌باشد. در جدول ۲ محدوده پارامترهای مورد بررسی ذکر گردیده است.

جدول (۲): محدوده داده‌های بررسی شده در تحقیق

بازشدگی دریچه	ارتفاع سرریز	عمق آب بالادست
cm	cm	cm
1.5	۲۵	۳۷-۳۸.۵-۴۰
2	۲۵	۳۷-۳۸.۵-۴۰
2.5	۲۵	۳۷-۳۸.۵-۴۰

طبق نتایج بدست آمده در فرآیند آبشستگی دو جت افقی و عمودی به هم برخورد می‌کنند و سبب آبشستگی در محل برخورد می‌گردند. درشکل ۱۱ فرآیند آبشستگی و رسوب‌گذاری نشان داده می‌شود. به عبارتی با گذشت زمان حفره آبشستگی بیشتر شده و طول رسوب‌گذاری نیز افزایش می‌یابد و به پایین دست کانال انتقال می‌یابد.

به طور کلی پس از برخورد جریان با بستر، مواد فرسایش یافته را به تدریج از بستر شسته و همراه خود به پایین‌دست محدوده E انتقال می‌دهد. بخشی از جریان به همراه مصالح منحرف شده و رو به بالا در محدوده C بلند می‌شود و قسمتی ازجریان به سمت بالادست یعنی محدوده B بر می‌گردد و وارد جریان بالادست می‌گردد. رسوبات همراه این جریان به صورت معلق داخل حفره باقی می‌مانند و بقیه جریان نیز به سمت پایین‌دست منتقل شده و بخشی از مواد فرسایشی را روی سطح محدوده E ته‌نشین می‌کند و همراه بقیه مواد فرسایشی به سمت پایین دست محدوده F حرکت می‌کند. تراز بستر در محدوده C به طور متناوب افزایش پیدا می‌کند و مواد ته‌نشین شده در این قسمت به تدریج سر خورده و به داخل حفره اصلی باز می گردد و با گذشت زمان سطح C پایدار می‌گردد. در محدوده D نیز قسمتی از مواد بستر دارای حرکت نوسانی می‌باشند و روند فوق تا زمانی که به شرایط تعادل برسد پیوسته تکرار می‌شود.

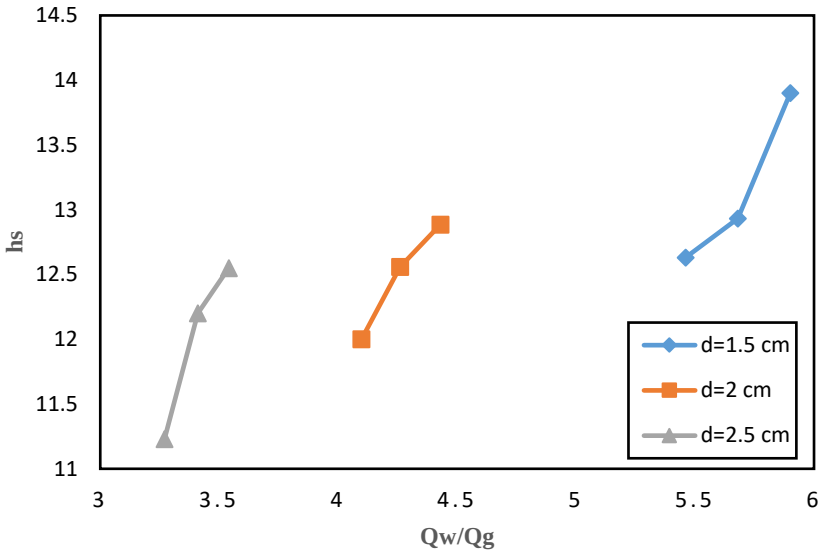


شکل (۱۱): فرآیند آبشستگی و رسوب‌گذاری

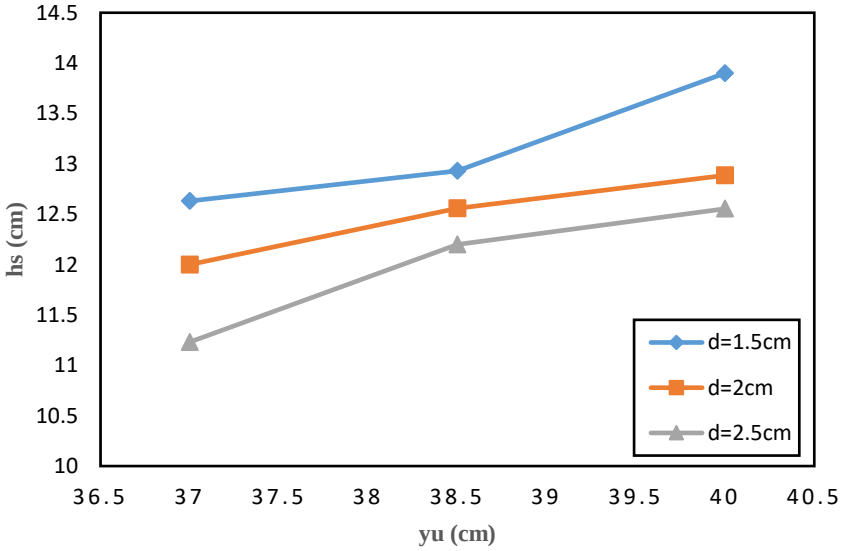
شکل‌های ۱۲ الی ۱۵ نتایج حداکثر عمق آبشستگی در برابر تغییرات دبی جریان، عدد فرود، ارتفاع آب روی سرریز و ارتفاع آب بالادست را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش ارتفاع آب بالادست، نسبت دبی‌های عبوری و آب روی سرریز عمق آبشستگی افزایش می‌یابد ولی با افزایش بازشدگی دریچه از شدت آن کاسته می‌شود و علت این امر می‌تولند کاهش سرعت جت خروجی سیال در اثر

افزایش هد خروجی از دریچه باشد که باعث کاهش تنش برشی بستر می‌گردد. همچنین با افزایش عدد فرود بالادست حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد..

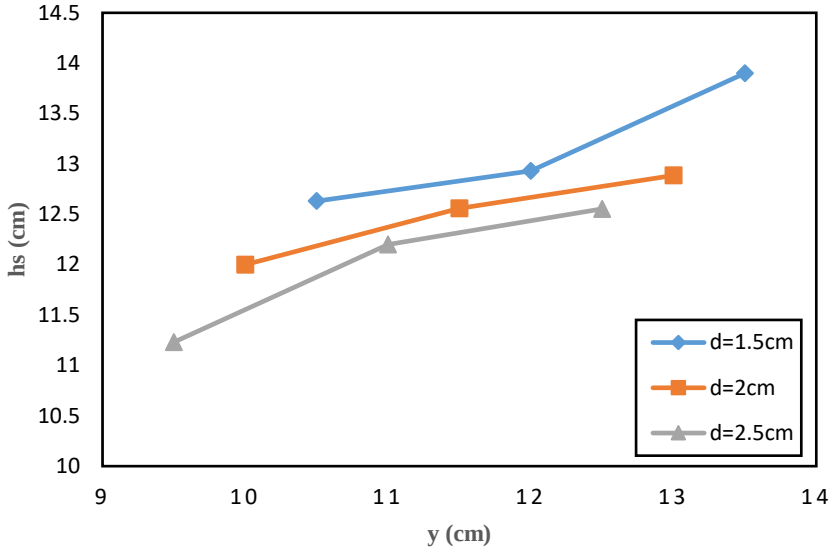
در شکل ۱۶ گرافی از وضعیت آبشستگی و رسوب‌گذاری در فرآیند یکی از آزمایشات نشان داده شده است.



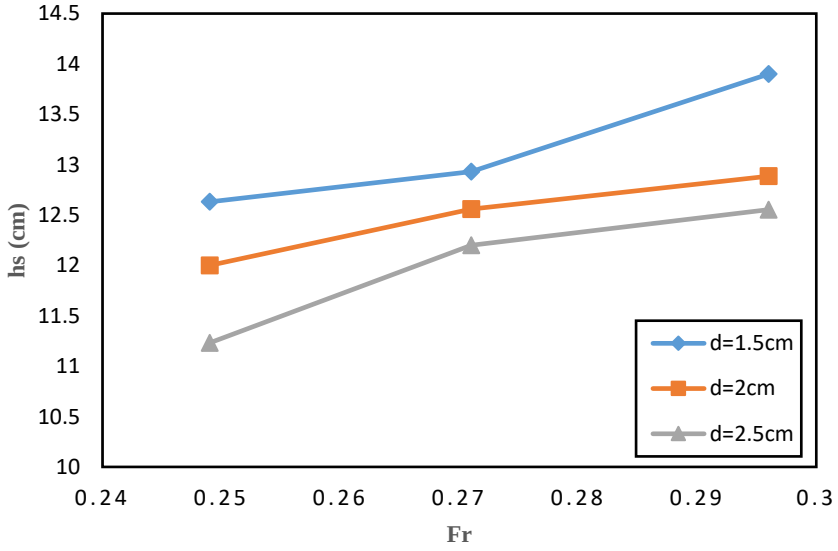
شکل (۱۲):) نتایج حداکثر عمق آبشستگی در برابر تغییرات نسبت دبی عبوری از سرریز به دبی عبوری از دریچه (ارتفاع سرریز ۲۵ سانتی‌متر)



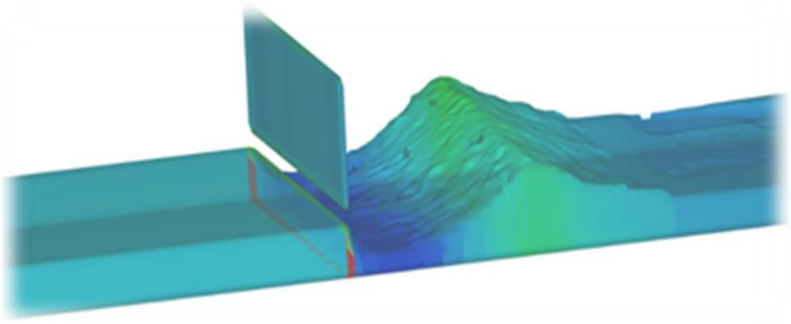
شکل (۱۳): نتایج حداکثر عمق آبشستگی در برابر تغییرات ارتفاع آب بالادست (ارتفاع سرریز ۲۵ سانتی‌متر)



شکل (۱۴): نتایج حداکثر عمق آبشستگی در برابر تغییرات ارتفاع آب روی سرریز (ارتفاع سرریز ۲۵ سانتی‌متر)



شکل (۱۵): نتایج حداکثر عمق آبشستگی در برابر تغییرات عدد فرود (ارتفاع سرریز ۲۵ سانتی‌متر)



شکل (۱۶): گراف ۳ بعدی از آبشستگی و رسوب گذاری در نرم‌افزار FLOW-3D

نتیجه‌گیری

- مدل عددی FLOW-3D مدلی مناسب برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی در سازه ترکیبی سرریز–دریچه می‌باشد.
- در فرآیند آزمایشات مشاهده گردید که بیشترین عمق آبشستگی در دقایق اولیه رخ داده و با گذشت زمان از حداکثر شدت آن کاسته می‌شود. به همین دلیل شبیه‌سازی‌ها در مدت زمان ۱ ساعت انجام شد و نتایج شبیه‌سازی نشان از انطباق خوب و قابل قبول با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد و خطای اندازه‌گیری شده حدود ۵/۳ درصد می‌باشد.
- در این پژوهش از دو مدل آشفتگی (LES) و مدل (RNG) استفاده گردید و بعد از صحت–سنجی با داده‌های آزمایشگاهی مشاهده شد که مدل آشفتگی LES با کمترین خطا حدود ۵/۳ درصد نسبت به مدل RNG با خطای ۷/۳۳ درصد به مدل واقعی نزدیک‌تر می‌باشد.
- در تعیین بهترین معادله انتقال بار بستر، نتایج حاکی از این است که داده‌های مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی برازش مناسب دارند و در این بین، داده‌های مدل با رابطه‌ی Van Rijn از همبستگی بالایی با داده‌های آزمایشگاهی برخوردار است.
- بنابراین این رابطه برای انجام شبیه‌سازی‌ها انتخاب گردید.
- نتایج نشان می‌دهد در یک بازشدگی ثابت دریچه، با افزایش نسبت دبی عبوری از سرریز به دریچه، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.
- در یک دبی ثابت با کاهش بازشدگی دریچه، ارتفاع آب روی سازه افزایش می‌یابد و باعث می شود عمق آبشستگی افزایش یابد.
- در یک بازشدگی ثابت دریچه با افزایش میزان ارتفاع آب بالادست، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد و در این شرایط با افزایش مقدار بازشدگی از حداکثر عمق آبشستگی کاسته می شود.
- با افزایش عدد فرود بالادست حداکثر عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد
- با افزایش ارتفاع آب روی سرریز یا به عبارتی جت ریزشی حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.
- پیشنهاد می‌گردد سازه مذکور در هندسه‌های متفاوت نظیر مثلثی، ذوزنقه‌ای و استوانه‌ای بررسی گردد و همچنین در شرایط با انقباض جانبی سازه و وجود کف‌بند و همچنین دانه‌بندی‌های متفاوت بستر فرسایش پذیر، مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

سلامتی، س.، دهقانی، ا. ا.، مفتاح هلقی، م.، ظهیری، ع. ر. ۱۳۹۴. تخمین ضریب آبگذری سازه ترکیبی سرریز – دریچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۲، ص ۲۵۵-۲۶۳

کاهه، م.، دهقانی، ا. ا.، ظهیری، ع. ۱۳۹۳. مدل‌سازی عددی آبشستگی پایین‌دست سازه ترکیبی دریچه – سرریز با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۵، ص ۱۳۳-۱۱۵.

کاهه، م.، دهقانی، ا. ا.، ظهیری، ع. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی دریچه – سرریز با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۱، ص ۱۲۹-۱۱۱.

گرزین، ع. (۱۳۹۲). بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در پایین‌دست سرریز و دریچه مایل در ارتفاع. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان. ایران.

قره‌گزلو، م.، مسعودیان، م.، برنهارد، ه.، صالحی نیشابوری، ع. س. ۱۳۹۲. اثر سریز بر دبی دریچه در مدل ترکیبی سرریز– دریچه استوانه‌ای. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۳، شماره ۱۱، ص ۹۵-۸۶.

Ahmed, F. H. 1985. Characteristics of discharge of combined flow through sluice gate and over weir. J، Eng، Technol, 141(2): 49-63.

Alhamid, A.A., Husain, D. and Negm, A.M. 1996. Discharge equation for combined flow over rectangular weirs and below inverted triangular. Weirs Persian Gulf J، 12(3): 595-607.

Beshkoj, H.S. and Shaker, J.A. 2020. Hydraulic performance for combined weir-gate structure. Tikrit Journal of Engineering Sciences, 27(4): 40-50.

Hayawi, H.A.M., Yahia, A.A.G. and Hayawi, G.A.M. 2008. Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. Journal of Damascaus University, 24(1): 9-22.

Sadeghi, Y., Saneie, M. and Ershadi, S. 2017. Three-dimension numerical simulation of scour temporal changes due to flow in the downstream of combined weirs and gate model. Civil Engineering Journal, 3(11): 1111-1120

Shesha-Prakash, M.N. and Shivapur. A.V. 2004. Generalized head discharge equation for flow over sharp-crested inclined inverted V-notch weir. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE, 130(5): 325-330.

Samani, J. and Mazaheri, M. 2009. Combined flow over weir and under gate. Journal of Hydraulic Engineering, 135(11): 224-227.

Sarhan, S.A. and Shaker, J.A. 2018. Analysis of simulation outputs for the mutual effect of flow in weir and gate system. Journal of University of Babylon for Engineering Sciences , 26(3): 48-59

Negm, A.M., El-Saiad, A.A., Alhamid, A.A. and Husain, D. 1994. Characteristics of simultaneous flow over weirs and below inverted V-notches gate. Civil Eng. Res. Magazine (CERM), 16(8): 786-799.

Uyumaz, A. 1988. Scour downstream of vertical gate. Journal of Hydraulic Engineering, 114(6): 811-816.

Investigation of maximum scour depth in compound structure of weir-gate due to gate opening using FLOW-3D numerical model

Behnam namadian[*1], Ebrahim asadi[2]

Abstract

The flow and drainage structures are widely used in irrigation and drainage networks due to their simple and relatively precise relationships. The flow causes the return of water and consequently increases the flow cross section and decreases the speed and also creates suitable conditions for sediment deposition and waste in the water, which is considered as a disadvantage of this structure. With the accumulation of sediments upstream, the flow conditions are changed and the accuracy of the extracted relationships is reduced to estimate the discharge. By combining the flow and valve, it is possible to reduce the problems and disadvantages of using each one alone and at the same time use their advantages so that the depositable materials behind the flow and accumulator in the hatch entrance pass through the substructure. Rhine, the combined behavior of spillway flow with jet out from under the hatch, creates different conditions downstream of such structures and causes scour changes downstream of this. The overall purpose of this study was to investigate the effect of valve opening rate on scouring rate in the case of discharge through the combined structure, upstream head height using flow-3D numerical model.The results show that by reducing the opening of the valve, the height of the water on the structure increases and causes the scour depth to increase. Also, by increasing the flow rate over the spillway and under the valve and the height of the upstream water, the maximum scour depth increases.

Keywords: ***Scour, weir-gate, Numerical Model, Composite Structure, Flow-3D***