

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تغییرات زمانی عمق آبشستگی در سازه مرکب سرریز - دریچه با استفاده از مدل عددی FLOW-3D

بهنام نمودیان^{۱*}، ابراهیم اسدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

چکیده

رفتار ترکیبی جریان ریزشی از سرریز با جت خروجی از زیر دریچه، شرایط متفاوتی را در پایین دست این قبیل سازه‌ها ایجاد می‌کند و باعث تغییر آبشستگی در پایین دست 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. هندسه مدل پژوهش حاضر در نرم-افزار FLOW-3D در کانال مستطیلی شکل با حالت بستر رسوبی و فرسایش پذیر و در حالت عدم فشرده‌گی جانبی ایجاد گردید. مصالح بستر، ماسه غیر چسبنده و سیال مورد استفاده آب زلال و شیب کف کانال صفر در نظر گرفته شد. در این پژوهش از دو مدل آشفتگی (LES) و مدل (RNG) و از ۳ معادله نرخ انتقال بار بستر استفاده گردید و بعد از صحت‌سنجی با داده‌های آزمایشگاهی مشاهده شد که داده‌های مدل عددی با رابطه‌ی Van Rijn و با مدل آشفتگی LES با ضریب تعیین $R^2 = 0.985$ و میانگین خطای مطلق $RMSE = 0.107$ برازش مناسب با داده‌های آزمایشگاهی دارد نتایج ارائه شده حاکی از این است که با افزایش عمق جریان بالادست، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع سازه سرریز در یک بازدهی ثابت دریچه، حداکثر عمق آبشستگی به دلیل جت ریزشی افزایش می‌یابد و با افزایش بازدهی دریچه ارتفاع آب روی سازه کاهش می‌یابد و همچنین جت خروجی از زیر دریچه کاهش یافته و باعث می‌شود عمق آبشستگی کاهش 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، سازه مرکب، سرریز-دریچه، مدل عددی، Flow-3D

مقدمه

بوده و مطالعات گسترده‌ای بر روی آن‌ها صورت گرفته است. از آنجاکه 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 به دست 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 به‌عنوان 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 پایین دست این قبیل سازه‌ها ایجاد می‌کند و باعث تغییر آبشستگی در پایین دست این سازه‌ها می‌شود برای حل این مشکل می‌توان سرریز و دریچه را باهم ترکیب کرد و تشکیل

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 این ترتیب 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

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

(*- نویسنده مسئول، (Email: Namadian0069@gmail.com)

امکان تغییر شبکه، به صورت 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 قرار گیرد.

پیشینه تحقیق

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه آبشستگی پایین دست سازه سرریز و سازه دریچه به صورت جداگانه انجام شده است، اما در مورد سازه ترکیبی سرریز - دریچه تحقیق‌های کمتری انجام شده است. بشکوک و شاکر 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 در مورد سایر پارامترهای هیدرولیکی به نتایج قابل قبولی رسیدند (Beshkoj and Shaker, 2020).

صانعی و همکاران 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 این گونه 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 تأثیرگذار برای این خطا می‌باشد (Saneie et al., 2017).

سامانی و مظاهری به بررسی تخمین رابطه دبی جریان عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در حالت‌های مستغرق و نیمه مستغرق 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

سیستم هیدرولیکی متمرکز 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 قرار گیرد و همچنین از آنجایی که آشفتگی شدیدی در اثر برخورد دو جت جریان در سرریزهای ترکیبی با دریچه در پایین دست آن‌ها ایجاد می‌شود، چاله و حفره آبشستگی در آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد.

به‌طور کلی 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 به دست 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. به همین 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 در شبیه‌سازی جریان‌های آشفتنه دارد. سرهان و شاکر در تحقیقی، 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 (Sarhan and Shaker, 2018).

پیش‌بینی‌های محاسباتی نسبت به کار آزمایشگاهی مزایایی دارد که از جمله، هزینه پایین اجرای مدل، سرعت بالا و به دست آوردن یک سری از اطلاعات مورد نیاز 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 ساده کننده و درجه‌های مختلف دقت، به منظور شبیه‌سازی جریان به وجود آمده‌اند. به دلیل 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 قرار گرفته‌اند. بررسی عددی خصوصیات هیدرولیکی جریان و فرسایش بستر پایین دست 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 مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده می‌باشد. این مدل عددی

بیشتری نسبت به سرریزهای معمولی انجام می‌شود (Samani and Mazaheri, 2009).

هایاوی و همکاران 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 (Hayawi et al., 2008). همچنین شیشا و شیواپور نیز به بررسی دبی جریان از روی سرریز مستطیلی و از زیر دریچه V شکل پرداختند و به این نتیجه رسیدند، زمانی که از زیر دریچه V شکل و کج استفاده می‌شود، دبی کانال‌های مستطیلی با بستر ثابت به شکلی دقیق‌تر قابل تخمین است (Shesha and Shivapur, 2004).

نجم و همکاران 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 (Negm et al., 1994).

تا پیش از سال ۱۹۸۵، سال انتشار مقاله احمد در زمینه ایده ترکیبی سرریز - دریچه، اطلاعات کمی درباره این مدل وجود داشت که پس از آن، اولین بار یک سری آزمایش توسط اویماز در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی بر روی آبشستگی سازه ترکیبی سرریز - دریچه صورت گرفت. ایشان برای ۲ نوع دانه‌بندی و رسوب غیر چسبنده آزمایش‌های خود را اجرا نمودند. همچنین تمامی آزمایش‌ها، یک‌بار برای دریچه تنها و یک‌بار در حالت ترکیب دریچه و سرریز انجام دادند. پس از انجام آزمایشات، داده‌های به دست آمده را تجزیه و تحلیل نموده تا به یک رابطه رگرسیونی خطی لگاریتمی بین پارامترهای عمق آبشستگی با قطر رسوبات و ارتفاع آب پایین دست 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 (Ahmed, 1985) (Uymaz, 1988).

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 به دست آمده 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 پایین دست سازه ترکیبی و پروفیل سطح آب

برخوردار است. کاهه و همکاران همچنین در تحقیقی دیگر به مدل - سازی آبشستگی سازه ترکیبی سرریز - دریچه به صورت عددی پرداختند و از مقایسه تأثیر پارامترهای مؤلفه رسوب در حداکثر عمق آبشستگی نتیجه می‌شود که پارامتر ضریب دراگ تأثیر زیادی بر مقدار آبشستگی دارد و همچنین مدل (LES) از دقت بالایی در شبیه‌سازی پارامترهای آشفته‌گی برخوردار است (کاهه و همکاران، ۱۳۹۳).

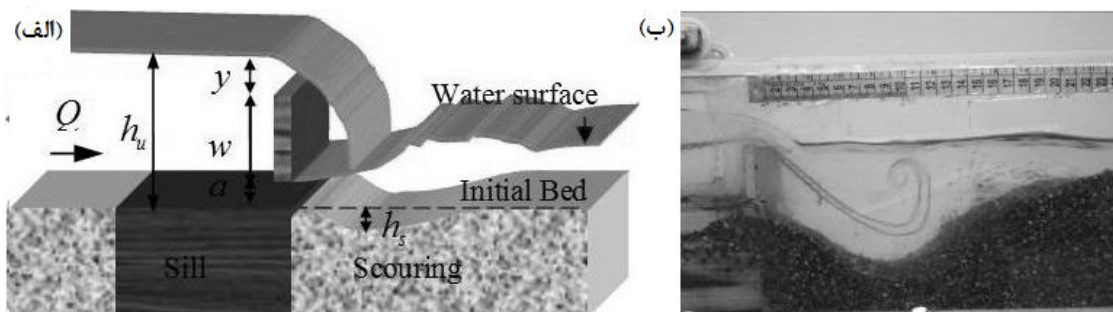
گرزین (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در پایین دست سرریز و دریچه مایل در ارتفاع به صورت ترکیبی پرداخته است و زوایای مختلف قرارگیری دریچه و همچنین اثر ارتفاع قرارگیری آن و پارامترهای مؤثر را جهت تعیین میزان آبشستگی بررسی نموده است.

روش تحقیق

نرم افزار FLOW-3D یک نرم افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد و یک مدل مناسب برای حل مسائل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد. نرم - افزار FLOW-3D، برای مسائل یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی طراحی شده است. در حالت ماندگار، نتایج در زمان بسیار کمی حاصل می‌شود زیرا برنامه بر روی قوانین بنیادی جرم، مومنتوم و بقای انرژی پایه‌گذاری شده است تا این موارد برای مراحل مختلف جریان در هر زمینه‌ای بکار برده شوند. این نرم افزار یک شبکه آسان از اجزای مستطیلی را استفاده می‌کند.

نرم افزار FLOW-3D شامل مدل‌های فیزیکی مختلف می‌باشد که عبارت‌اند از: آب‌های کم عمق، کاویتاسیون، آشفته‌گی، آبشستگی، کشتش سطحی، پوشش متخلخل ذرات و غیره. از این مدل‌ها در زمینه‌های ریخته‌گری مواد، مهندسی فرآیند، طراحی تزریق‌های مرکب، تولیدات مصرفی، هیدرولیک مهندسی محیط‌زیست، هوافضا، علوم دریایی، نفت، گاز و ... استفاده می‌شود. مدل آبشستگی FLOW-3D، رسوب را به صورت دو میدان غلظت اعمال می‌نماید: ۱- رسوبات معلق و ۲- رسوبات بستر که حرکت رسوبات معلق در اثر گرادیان فشار محلی است. رسوبات معلق از جریان ورودی یا فرسایش بار بستر حاصل می‌شوند. رسوبات بستر به دلیل این که توسط ذرات مجاور محدود شده‌اند به راحتی جا به جا نمی‌شوند و در صورتی می‌توانند حرکت کنند که به صورت فرسایش یافته در سطح مشترک بستر و سیال به بار معلق تبدیل شوند و بار معلق در صورتی می‌تواند به بار بستر تبدیل شود که سرعت ته‌نشینی بیشتر از سرعت فرسایش بستر باشد. از نقطه نظر مشاهدات فیزیکی، فرض دو میدان غلظت برای رسوبات ریز بستر معتبر می‌باشد. درحالی که

می‌باشد و یک لایه ۸ سانتی‌متری از ماسه یکنواخت در طول کانال قرار داده شده است. سازه ترکیبی سرریز-دریچه در فاصله ۱/۴ متری از ابتدای کانال قرار داده شده است. در ابتدای هر آزمایش، برای ثابت ماندن رسوبات و تا زمان روشن شدن پمپ، فلوم به آرامی با آب پر می‌شد. آزمایشات با استفاده از شرایط متفاوت هیدرولیکی و آب زلال انجام شد که شرایط انتخابی برای این تحقیق عبارت‌اند از: دبی آب ۰/۸۲ لیتر بر ثانیه، ارتفاع سرریز ۳ سانتی‌متر و ارتفاع بازشدگی دریچه برابر ۱ سانتی‌متر می‌باشد. شکل ۱ قسمت (الف)، شماتیکی از کانال با پارامترهای مؤثر بر آبستگي سازه ترکیبی سرریز-دریچه، شامل هد آب بالادست (h_u)، ارتفاع سرریز (w)، بازشدگی دریچه (a)، ارتفاع آب روی سازه (Y) و دبی عبوری از روی سرریز و زیر دریچه (Q) و قسمت (ب) نتایج آبستگي و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (Dehghani et al., 2009).



شکل ۱- الف) شماتیکی از کانال با مفروضات مسئله، ب) نتایج حداکثر عمق آبستگي و رسوب‌گذاری (Dehghani et al., 2009)

طبق نتایج آزمایشگاهی شکل ۲، مشاهده می‌شود که بیشترین عمق آبستگي در دقایق اولیه رخ داده و با گذشت زمان از حداکثر شدت آن کاسته می‌شود.

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 مؤثر بر آبستگي میسر نمی‌گردد.

هرچند با انتخاب زمان ۳۶۰۰ ثانیه به‌عنوان زمان نهایی و تعادلی آبستگي، نتایج به‌دست‌آمده دقیقاً برابر با آبستگي کل نمی‌باشد، ولی باید به این نکته توجه نمود که در این مدت‌زمان، ۸۳ درصد از آبستگي نهایی اتفاق افتاده و می‌توان به این نتایج برای مقایسه داده‌ها اتکا کرد.

به همین دلیل یک شبیه‌سازی با توجه به مشخصات آزمایشگاهی در مدت‌زمان ۱ ساعت انجام شد و نتایج شبیه‌سازی طبق (شکل ۲-ب) نشان داد که پس از گذشت زمان ۱ ساعت از شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاه آن در زمان ۱ ساعت، انطباق خوب و

برای رسوبات درشت این فرض نادرست می‌باشد و نمی‌توان نتایج قابل قبولی را انتظار داشت. انتقال بار بستر با یک مدل غیر متوازن شبیه‌سازی می‌شود و تغییر شکل بستر از یک معادله تعادل جرم کلی به دست می‌آید.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج پارامترهای مهم که شامل مش بندی دقیق، مدت‌زمان شبیه‌سازی، انتخاب بهترین مدل آشفستگی و همچنین انتخاب بهترین معادله انتقال بار بستر، برای شروع مدل‌سازی عددی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی ارائه گردیده است. دهقانی و همکاران یک سری آزمایشات در یک فلوم آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام دادند. طول کانال ۳/۷ متر، عرض ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۱۷ سانتی‌متر می‌باشد. مواد بستری شامل رسوبات یکنواخت با قطر ۱/۵ میلی‌متر

به‌منظور بررسی دقت پارامترهای مهم مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی از معیارهای جذر ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده گردید که روابط ریاضی آن‌ها به‌صورت روابط ۱ معرفی می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - Y_i| \quad (2)$$

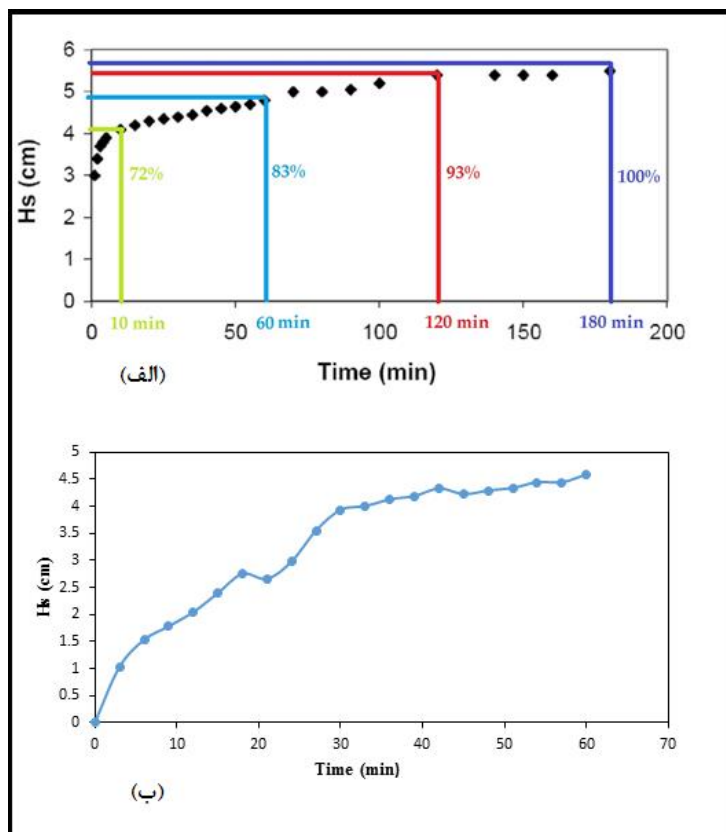
$$R^2 = 1 - \frac{\sum |T_i - Y_i|}{\sum |Y - Y_i|} \quad (3)$$

در روابط فوق T_i مقدار واقعی، Y_i مقدار پیش‌بینی‌شده، n تعداد داده‌ها و Y میانگین مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های پیش‌بینی کننده می‌باشد.

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 با توجه به دلایل زیر، زمان ۳۶۰۰ ثانیه را زمان تعادل آبستگي فرض نموده و مدت‌زمان انجام آزمایش‌ها ۳۶۰۰ ثانیه انتخاب گردید:

آزمایشگاهی نباشد و این امر در سایر متون علمی نیز قابل مشهود می‌باشد. همچنین در مورد تعداد سیالات تک سیاله تراکم ناپذیر و واحد شبیه‌سازی بر حسب SI با توجه به نمونه آزمایشگاهی انتخاب گردید.

قابل قبول دارد و اختلاف اندازه‌گیری شده برای مدت‌زمان ۱ ساعت آبستگي در نتایج عددی نسبت به آزمایشگاهی، حدود ۵/۳ درصد می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بر پایه تقریبی از معادلات دیفرانسیل، محاسبات را حل می‌نمایند، بنابراین انتظار می‌رود که نتایج شبیه‌سازی عددی دقیقاً برابر نتایج



شکل ۲- الف) حداکثر عمق آبستگي با زمان در حالت آزمایشگاهی ب) در حالت عددی

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 Y_{min} و Y_{max} با توجه به این که در مدل‌های واقعی، جداره نفوذناپذیر برای مدل هیدرولیکی قرار داده شده است لذا در این مدل عددی نیز برای جداره‌ها از شرایط مرزی Wall که کاملاً مشابه به شرایط آزمایشگاهی هست، انتخاب گردید. شرایط مرزی کف Z_{min} فوم نیز همانند جداره‌ها در مدل واقعی، از جداره نفوذناپذیر استفاده گردیده است که در مدل عددی شبیه‌سازی شده نیز شرایط مرزی Wall انتخاب گردید. به منظور اعمال شرایط مرزی برای وجه Z_{max} 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 گردید تغییرات فشار هوا در داخل و

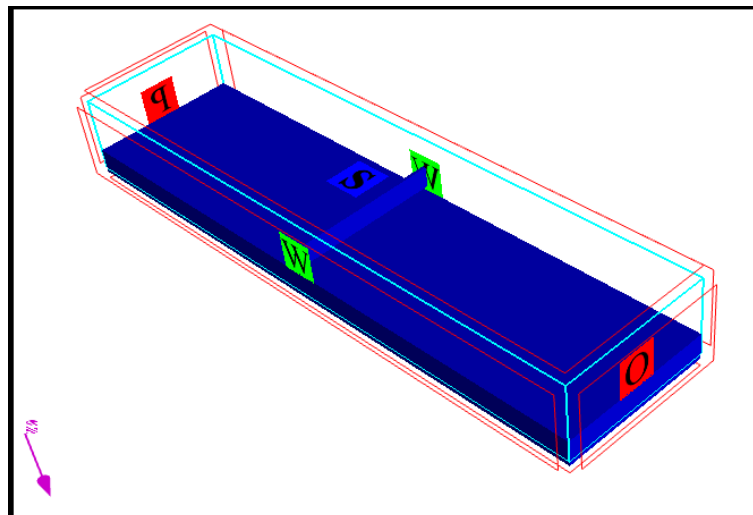
به منظور تعیین اندازه شبکه‌های میدان محاسباتی جریان در کانال سرریز - دریچه، ابتدا سلول‌ها به ابعاد ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که ابعاد سلول‌های انتخاب شده برای هندسه سرریز - دریچه مناسب کار نبود و خروجی نامناسبی ارائه می‌کرد. به همین دلیل سلول‌های محاسباتی بیشتری به ابعاد ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. 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 گرافیکی 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 مش بندی شبکه محاسباتی را نشان می‌دهد. اعمال شرایط مرزی موجود در مدل‌های عددی بر اساس شرایط

مختلف، وارد فلوم می‌شود 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 Outflow اعمال گردیده است. کلیه شرایط مرزی اعمال شده به مدل عددی سرریز-دریچه به صورت شکل ۴ زیر نشان داده شده است.

خارج صفر در نظر گرفته می‌شود و از آنجایی که در مدل FLOW-3D نیازی 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 Xmax نیز 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

X direction	
Total number of real cells = 199	
Minimum cell size = 0.0301504 m	ati = 137
Maximum cell size = 0.0301509 m	ati = 69
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00002	ati = 137
Y direction	
Total number of real cells = 50	
Minimum cell size = 0.03 m	atj = 14
Maximum cell size = 0.0300001 m	atj = 37
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atj = 37
Z direction	
Total number of real cells = 40	
Minimum cell size = 0.03 m	atk = 17
Maximum cell size = 0.0300001 m	atk = 35
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atk = 35
Total number of real cells	
398,000	
Maximum aspect ratios	
X_Y direction: 1.00503	
Y_Z direction: 1	
Z_X direction: 1.00503	

شکل ۳- مشخصات مش بندی شبکه محاسباتی در نرم افزار FLOW-3D



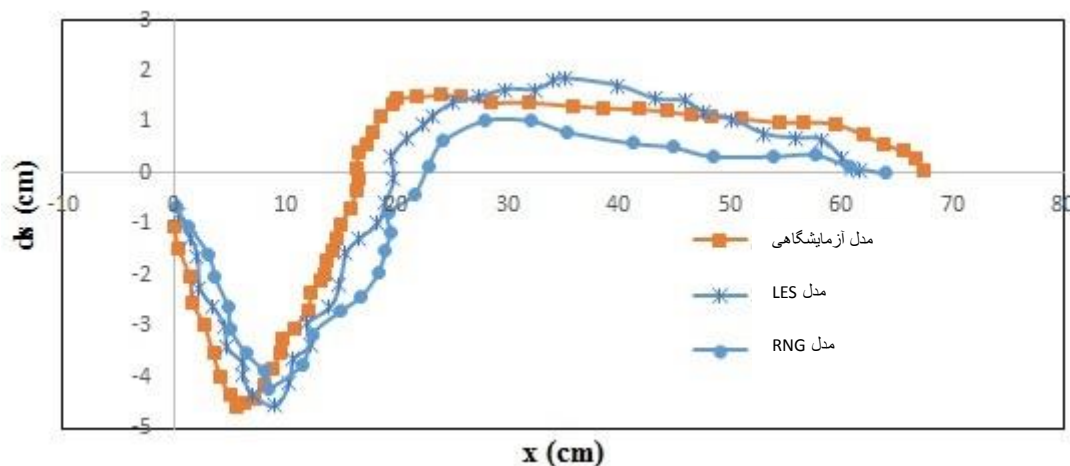
شکل ۴- شرایط مرزی اعمال شده در مدل عددی در نرم افزار FLOW-3D

اکثر تحقیقات لذا در این پژوهش از دو مدل گروه‌های نرمال شده LES و مدل دو معادله‌ای RNG استفاده گردید و بعد از صحت‌سنجی

شبیه‌سازی در نرم افزار با پنج مدل آشفتگی می‌تواند صورت بگیرد. با توجه به مرور منابع قبلی و کاربرد بیشتر دو مدل آشفتگی در

شد و با دو مدل ذکر شده بررسی گردید که نتایج در شکل ۵ مشاهده می‌گردد.

با داده‌های آزمایشگاهی مشاهده شد که مدل آشفتگی LES با کمترین خطا نسبت به مدل RNG به مدل واقعی نزدیک‌تر می‌باشد. به همین منظور با توجه به داده‌های آزمایشگاهی مدلی شبیه‌سازی



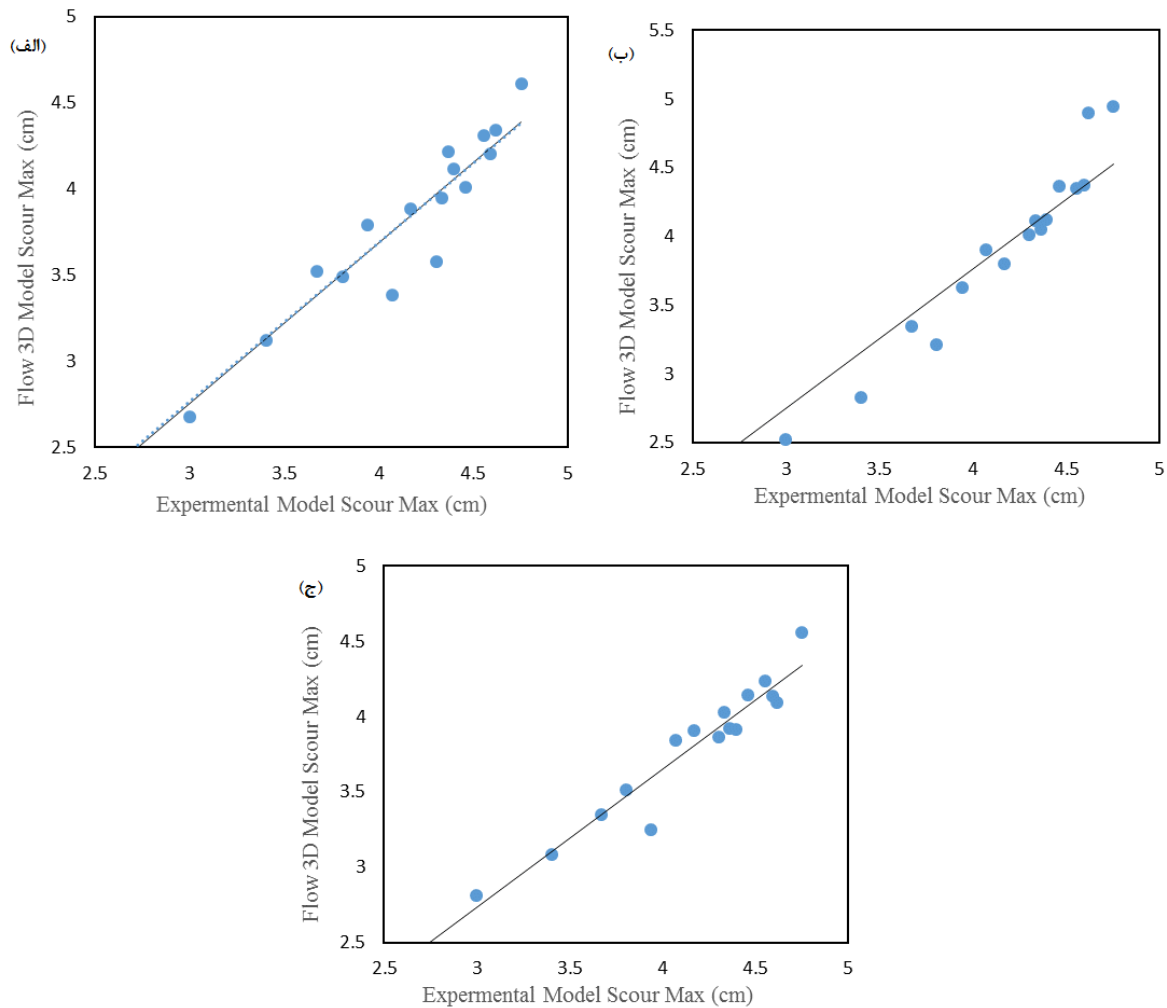
شکل ۵- بررسی بهترین مدل آشفتگی نسبت به مدل آزمایشگاهی

بنابراین با توجه به مدل‌های انجام‌شده جدول ۱ خلاصه‌ای از نتایج انجام‌شده در بخش صحت‌سنجی را ارائه می‌دهد. پس از صحت‌سنجی و کالیبره کردن نرم‌افزار، 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 فرسایش پذیر که ارتفاع بستر رسوبی ۰/۲۵ متر می‌باشد. سازه ترکیبی موردنظر 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 غیر چسبنده 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 که تعداد ۱۸ مدل می‌باشد، ذکر گردیده است.

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 (Flow Science Inc, 2008). 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 آبستگتی، 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 ۶ 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.

جدول ۱- نتایج کلی انتخاب بهترین مدل آشفتگی و رابطه نرخ انتقال بار بستر

MAE	RMSE	R ²	زمان شبیه‌سازی (S)	تعداد سلول	مدل آشفتگی	رابطه انتقال رسوب
۰/۰۲۸	۰/۱۵۸	۰/۹۰۱	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	RNG	Meyer-Peter & Muller
۰/۰۲۲	۰/۱۲۲	۰/۹۷۳	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	LES	
۰/۰۵۰	۰/۶۵۱	۰/۸۳۵	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	RNG	Nielsen
۰/۰۲۴	۰/۴۰۸	۰/۹۵۹	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	LES	
۰/۰۱۹	۰/۱۳۲	۰/۹۲۷	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	RNG	Van Rijn
۰/۰۱۱	۰/۱۰۷	۰/۹۸۵	۳۶۰۰	۳۹۸۰۰۰	LES	



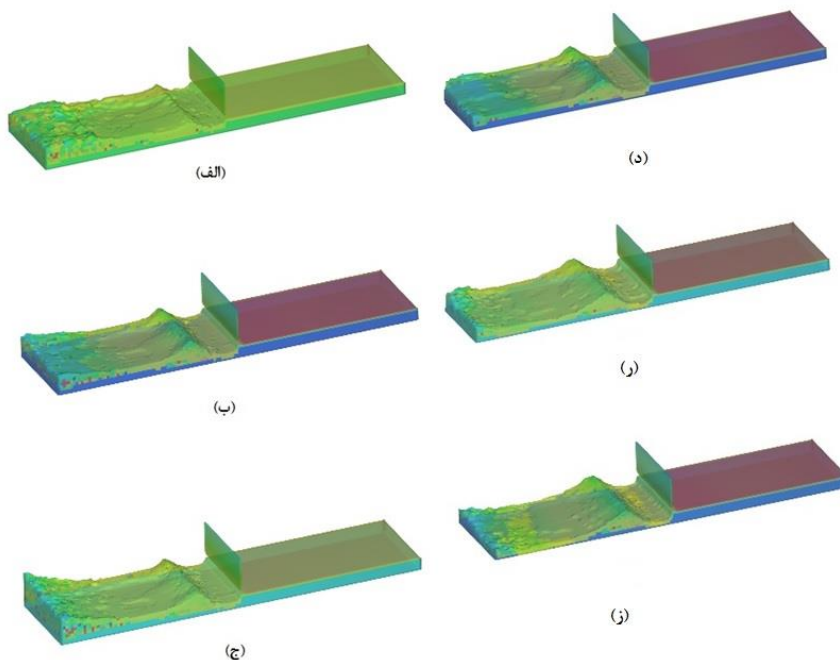
شکل ۶- ارزیابی دقت رابطه انتقال بار بستر در تخمین عمق آبشستگی، (الف) رابطه Meyer-Peter & Muller (ب) رابطه Nielsen (ج) رابطه Van Rijn

گذاری نیز افزایش می‌یابد و به پایین دست کانال انتقال می‌یابد. طبق نتایج به دست آمده در فرآیند آبشستگی دو جت افقی و عمودی به هم برخورد می‌کنند و سبب آبشستگی در محل برخورد می‌گردند. در شکل ۸ فرآیند آبشستگی و رسوب گذاری نشان داده می‌شود. به عبارتی با گذشت زمان حفره آبشستگی بیشتر شده و طول رسوب گذاری نیز افزایش می‌یابد و به پایین دست کانال انتقال می‌یابد.

در این بخش به بررسی نتایج به دست آمده حاصل از مدل سازی - های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. طبق نتایج به دست آمده در فرآیند آبشستگی دو جت افقی و عمودی به هم برخورد می‌کنند و سبب آبشستگی در محل برخورد می‌گردند. در شکل ۷ فرآیند آبشستگی و رسوب گذاری نشان داده می‌شود. به عبارتی با گذشت زمان حفره آبشستگی بیشتر شده و طول رسوب -

جدول ۲- محدوده داده‌های بررسی شده در تحقیق

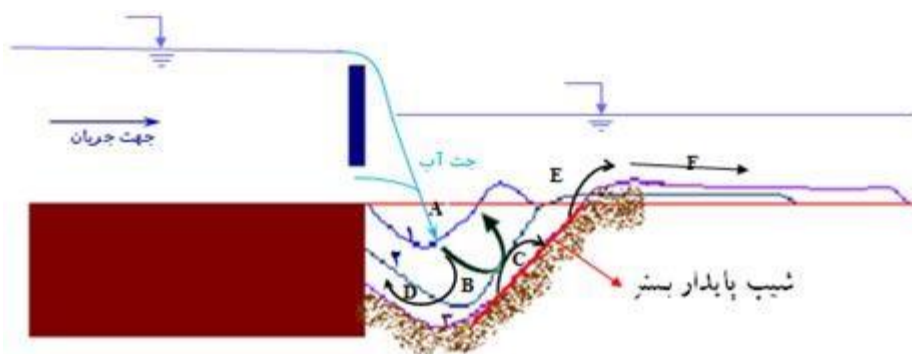
مدل	هد آب بالادست (cm)	ارتفاع سرریز (cm)	بازشدگی دریچه (cm)
A	۳۷	۲۵	۲/۵ - ۲ - ۱/۵
B	۳۸/۵	۲۵	۲/۵ - ۲ - ۱/۵
C	۴۰	۲۵	۲/۵ - ۲ - ۱/۵
A	۳۷	۲۵ - ۲۴/۵ - ۲۴	۲/۵
B	۳۸/۵	۲۵ - ۲۴/۵ - ۲۴	۲/۵
C	۴۰	۲۵ - ۲۴/۵ - ۲۴	۲/۵



شکل ۷- توپوگرافی آبشستگی بستر پایین دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه، الف) زمان ۱۰ دقیقه، ب) زمان ۲۰ دقیقه، ج) زمان ۳۰ دقیقه، د) زمان ۴۰ دقیقه، ر) زمان ۵۰ دقیقه، ز) زمان ۶۰ دقیقه

را روی سطح محدوده E ته نشین می کند و همراه بقیه مواد فرسایشی به سمت پایین دست محدوده F حرکت می کند. تراز بستر در محدوده C به طور متناوب افزایش پیدا می کند و مواد ته نشین شده در این قسمت به تدریج سر خورده و به داخل حفره اصلی باز می گردد و با گذشت زمان سطح C پایدار می گردد. در محدوده D نیز قسمتی از مواد بستر دارای حرکت نوسانی می باشند و روند فوق تا زمانی که به شرایط تعادل برسد پیوسته تکرار می شود.

به طور کلی پس از برخورد جریان با بستر، مواد فرسایش یافته را به تدریج از بستر شسته و همراه خود به پایین دست محدوده E انتقال می دهد. بخشی از جریان به همراه مصالح منحرف شده و رو به بالا در محدوده C بلند می شود و قسمتی از جریان به سمت بالادست یعنی محدوده B بر می گردد و وارد جریان بالادست می گردد. رسوبات همراه این جریان به صورت معلق داخل حفره باقی می ماند و بقیه جریان نیز به سمت پایین دست منتقل شده و بخشی از مواد فرسایشی



شکل ۸- فرآیند آبشستگی و رسوب گذاری

دهد. نتایج حاکی از آن است که با کاهش بازشدگی دریچه که سبب کاهش مقطع عبوری جریان می گردد، ارتفاع آب روی سازه افزایش می یابد و از طرف دیگر جت خروجی از زیر دریچه در اثر تنگنای

تأثیر بازشدگی دریچه بر آبشستگی

در شکل ۹، نتایج عمق آبشستگی را نسبت به تغییرات ارتفاع آب بالادست را در بازشدگی های مختلف در زمان ۶۰ دقیقه را نشان می-

عبارتی جریان آب با هد بالادست $38/5$ cm و با ارتفاع سازه 25 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $1/5$ cm برابر $12/93$ cm و با بازشدگی 2 cm برابر $12/59$ cm و با بازشدگی $2/5$ cm برابر $12/20$ cm می‌باشد. با افزایش هد آب بالادست به 40 cm، حداکثر عمق آبستنگی افزایش یافته و با افزایش بازشدگی دریچه از شدت آن کاسته می‌شود. به عبارتی در ارتفاع سازه 25 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $1/5$ cm برابر $13/19$ cm و با بازشدگی 2 cm برابر $12/18$ cm و با بازشدگی $2/5$ cm برابر $12/5$ cm می‌باشد.

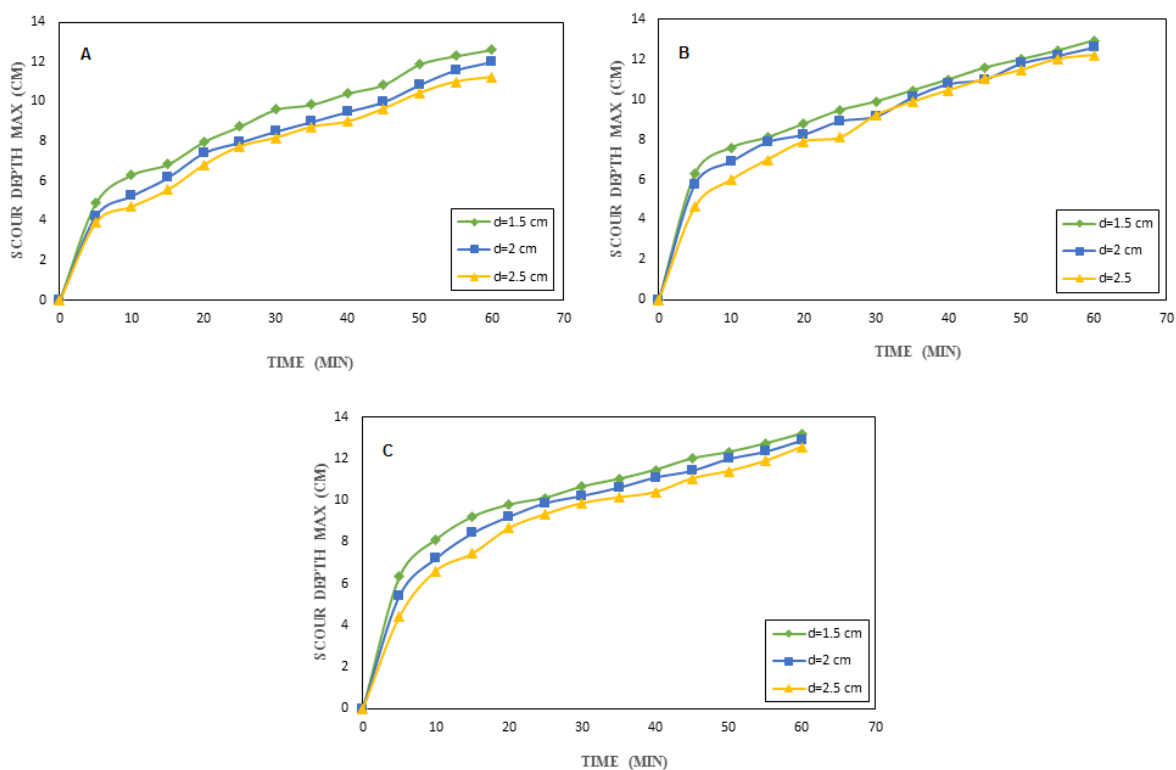
تأثیر ارتفاع سازه ترکیبی بر آبستنگی

در شکل ۱۰، نتایج حداکثر عمق آبستنگی در برابر تغییرات ارتفاع آب بالادست در یک بازشدگی ثابت دریچه را نشان می‌دهد... نتایج ارائه شده حاکی از این است که با افزایش عمق جریان بالادست، حداکثر عمق آبستنگی افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش ارتفاع سرریز، عمق آبستنگی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع سرریز، جت ریزشی از آن با شدت بیشتری به بستر برخورد کرده و باعث تنش برشی بستر می‌گردد و مصالح بستر را از جا کنده و مقداری از این مصالح در پایین دست حفره ایجاد شده، رسوب کرده و بقیه تحت اثر سرعت جریان شسته می‌شوند. منحنی‌های ایجاد شده نشان می‌دهند که بیشترین عمق آبستنگی در دقایق اولیه رخ داده و با گذشت زمان از شدت آن کاسته می‌شود و یک حالت تعادلی ایجاد می‌شود. بر طبق نمودارهای زیر نتایج نشان می‌دهد با مشخصات هد آب بالادست 37 cm و با ارتفاع سازه 24 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $2/5$ cm برابر $10/88$ cm و با ارتفاع سازه $24/5$ cm برابر $11/44$ cm و با ارتفاع سازه 25 cm برابر $11/93$ cm می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش ارتفاع سرریز حداکثر عمق آبستنگی افزایش می‌یابد. با افزایش هد آب بالادست از 37 cm به $38/5$ cm حداکثر عمق آبستنگی نسبت به هد قبلی افزایش می‌یابد و با مشخصات هد آب بالادست $38/5$ cm و با ارتفاع سازه 24 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $2/5$ cm برابر $11/34$ cm و با ارتفاع سازه $24/5$ cm برابر $11/78$ cm و با ارتفاع سازه 25 cm برابر $12/40$ cm می‌باشد با افزایش هد آب بالادست به 40 cm حداکثر عمق آبستنگی افزایش یافته و با ارتفاع سازه 24 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $2/5$ cm برابر $11/80$ cm و با ارتفاع سازه $24/5$ cm برابر $12/11$ cm و با ارتفاع سازه 25 cm برابر $12/56$ cm می‌باشد.

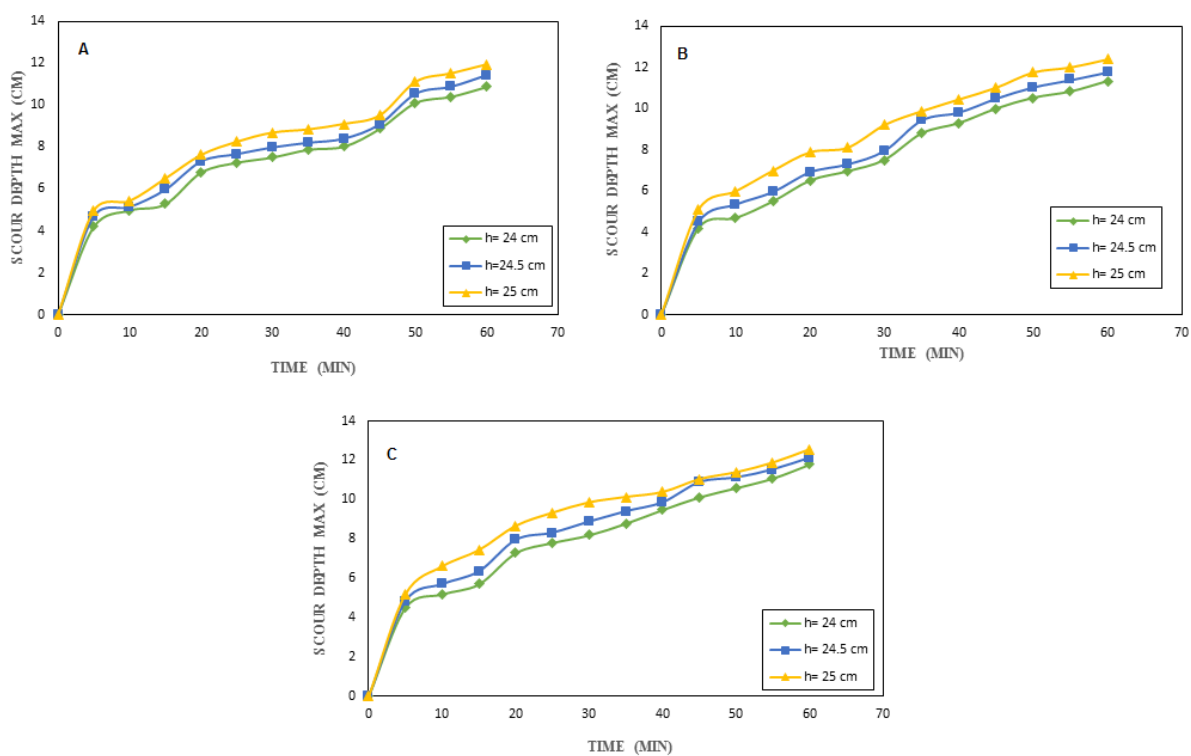
مقطع عبوری، افزایش می‌یابد و باعث می‌شود عمق آبستنگی افزایش یابد. همچنین با افزایش نسبت دبی عبوری از روی سرریز و دبی عبوری از زیر دریچه و میزان ارتفاع آب بالادست، حداکثر عمق آبستنگی افزایش می‌یابد. به عبارتی دیگر نتایج نشان می‌دهد در دقایق اولیه آزمایش، تغییرات عمق آبستنگی بسیار زیاد بوده اما با مرور زمان، شدت آبستنگی کاهش می‌یابد. توجیه دلیل این کار به این صورت می‌تواند باشد که با سپری شدن زمان، عمق حفره آبستنگی افزایش یافته و ارتفاع سطح آب نسبت به بستر فرسایش پذیر بیشتر می‌شود؛ بنابراین عمق جریان در محل حفره آبستنگی در مقایسه با زمان قبل از آن افزایش پیدا می‌کند. بر اساس قانون پیوستگی جریان، در دبی ثابت هر چه عمق بیشتر شود، سرعت جریان کاهش پیدا می‌کند. با کاهش سرعت، از مقدار تنش برشی بر روی بستر نیز کاسته شده و در نتیجه عمق آبستنگی در هر زمان نسبت به قبل کمتر می‌شود. با عمیق شدن حفره آبستنگی، جت خروجی بیشتر امکان گسترش پیدا می‌کند و از عدم تقارن پروفیل سرعت در امتداد قائم تا حدی کاسته می‌شود و جت ریزشی نیز تحت عمق آب ایجاد شده توسط آبستنگی تا حدی مستغرق شده و انرژی آن مستهلک می‌گردد. در نتیجه، سرعت جت در مجاورت بستر در زمان‌های دیرتر، کمتر از سرعت جت در زمان‌های آغازین آزمایش بوده و قدرت آبستنگی کمتری خواهد داشت.

از پارامترهای تأثیرگذار بر روی بستر آبستنگی بخصوص پروفیل طولی آن، سرعت جت می‌باشد که شدت آن امکان دارد یا در اثر تغییرات میزان بازشدگی دریچه و ارتفاع سرریز یا بر اثر تغییرات نسبت دبی عبوری از دریچه و روی سرریز و ارتفاع آب بالادست و همچنین انقباض در مقطع عبوری، افزایش یا کاهش یابد. در مدل‌های شبیه‌سازی شده این تحقیق، جهت بررسی تأثیر سرعت جت بر عمق آبستنگی، دبی جریان با مقادیر مختلف از کل کانال و سازه ترکیبی عبور کرده و با تغییرات در بازشدگی دریچه و ارتفاع سرریز و همچنین تغییر در مقطع سازه، سرعت‌های متفاوتی ایجاد شده و تأثیر آن بر عمق آبستنگی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با مشخصات هد آب بالادست 37 cm و با ارتفاع سرریز 25 cm حداکثر عمق آبستنگی در حالت بازشدگی دریچه به اندازه $1/5$ cm برابر $12/63$ و با بازشدگی 2 cm برابر $12/02$ و با بازشدگی $2/5$ cm برابر $11/23$ cm می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش بازشدگی دریچه عمق آبستنگی کاهش می‌یابد.

با حفظ شرایط قبلی و با افزایش هد آب بالادست از 37 cm به $38/5$ cm حداکثر عمق آبستنگی نسبت به هد قبلی افزایش یافته، کما اینکه با افزایش بازشدگی دریچه از شدت آن کاسته می‌شود. به



شکل ۹- تغییرات زمانی آبستگي با تغییرات درجه در مدت زمان ۶۰ دقیقه



شکل ۱۰- تغییرات زمانی آبستگي با تغییرات سرریز در مدت زمان ۶۰ دقیقه

نتیجه گیری

مدل عددی FLOW-3D مدلی مناسب برای تخمین حداکثر عمق آبستنگی در سازه ترکیبی سرریز-دریچه می باشد. در فرآیند آزمایشات مشاهده گردید که بیشترین عمق آبستنگی در دقایق اولیه رخ داده و با گذشت زمان از حداکثر شدت آن کاسته می شود. به همین دلیل شبیه سازی ها در مدت زمان ۱ ساعت انجام شد و نتایج شبیه سازی نشان از انطباق خوب و قابل قبول با نتایج آزمایشگاهی می باشد و خطای اندازه گیری شده حدود ۵/۳ درصد می باشد. در این پژوهش از دو مدل آشفتگی LES و مدل RNG استفاده گردید و بعد از صحت سنجی با داده های آزمایشگاهی مشاهده شد که مدل آشفتگی LES با کمترین خطا نسبت به مدل RNG به مدل واقعی نزدیک تر می باشد. در تعیین بهترین معادله انتقال بار بستر به همراه مدل های آشفتگی مورد بررسی، نتایج حاکی از این است که داده های مدل عددی با داده های آزمایشگاهی برآزش مناسب دارند و در این بین، داده های مدل با رابطه Van Rijn و با مدل آشفتگی LES با ضریب تعیین $R^2 = 0.988$ و میانگین خطای مطلق $RMSE = 0.107$ = برآزش مناسب با داده های آزمایشگاهی دارد؛ بنابراین این رابطه برای انجام شبیه سازی ها انتخاب گردید. در یک هد آب بالادست ثابت و بازشدگی دریچه ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، جت ریزی سازه افزایش می یابد و باعث می شود عمق آبستنگی افزایش یابد. در یک بازشدگی ثابت دریچه و ارتفاع ثابت سرریز با افزایش میزان ارتفاع آب بالادست، حداکثر عمق آبستنگی افزایش می یابد و در این شرایط با افزایش ارتفاع سرریز مقدار آبستنگی نیز افزوده می شود. در یک هد آب بالادست ثابت با کاهش بازشدگی دریچه، ارتفاع آب روی سازه افزایش می یابد و از طرفی جت خروجی از زیر دریچه افزایش یافته و باعث می شود عمق آبستنگی افزایش یابد. در یک بازشدگی ثابت دریچه با افزایش میزان ارتفاع آب بالادست، حداکثر عمق آبستنگی افزایش می یابد و در این شرایط با افزایش مقدار بازشدگی از حداکثر عمق آبستنگی کاسته می شود. پیشنهاد می گردد سازه مذکور در هندسه های متفاوت نظیر مثلثی، دوزنقه ای و استوانه ای بررسی گردد و همچنین در شرایط با انقباض جانبی سازه و وجود کف بند و همچنین دانه بندی های متفاوت بستر فرسایش پذیر، مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- سلامتی، س.، دهقانی، ا.ا.، مفتاح هلقی، م. و ظهیری، ع. ر. ۱۳۹۴. تخمین ضریب آبگذری سازه ترکیبی سرریز - دریچه با استفاده از روش برنامه ریزی ژنتیک. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۲ (۲): ۲۵۵-۲۶۳.
- کاهه، م.، دهقانی، ا.ا. و ظهیری، ع. ۱۳۹۳. مدل سازی عددی آبستنگی پایین دست سازه ترکیبی دریچه - سرریز با استفاده از نرم افزار Flow-3D. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۱ (۵): ۱۱۵-۱۳۳.
- کاهه، م. دهقانی، ا.ا. و ظهیری، ع. ۱۳۹۴. شبیه سازی هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی دریچه - سرریز با استفاده از نرم افزار Flow-3D. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۲ (۱): ۱۱۱-۱۲۹.
- گزرین، ع. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبستنگی در پایین دست سرریز و دریچه مایل در ارتفاع. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آب. دانشکده مهندسی آب و خاک. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان. ایران.
- قره گزلو، م.، مسعودیان، م.، برنهارد، ه. و صالحی نیشابوری، ع. س. ۱۳۹۲. اثر سرریز بر دبی دریچه در مدل ترکیبی سرریز - دریچه استوانه ای. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳ (۱۱): ۸۶-۹۵.
- Ahmed, F. H. 1985. Characteristics of discharge of combined flow through sluice gate and over weir. J. Eng. Technol. 3 (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. Arab Gulf Journal of Scientific Research. 14 (3): 595-607.
- Beshkoj, H.S. and Shaker, J.A. 2020. Hydraulic performance for combined weir-gate structure. Tikrit Journal of Engineering Sciences. 27 (1): 40-50.
- Dehghani, A. A. and Bashiri, H. 2009. Experimental investigation of scouring in downstream of combined flow over weirs and below gates. 33rd Iahr Conference. Canada.
- Flow-3D Help, Ver9.3. 2008. Flow science Inc.
- 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 Damascus 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

- 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 (6): 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 (9): 786-799.
- Uyumaz, A. 1988. Scour downstream of vertical gate. *Journal of Hydraulic Engineering*. 114 (7): 811-816.
- 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. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130 (4): 325-330.
- Samani, J. and Mazaheri, M. 2009. Combined flow over weir and under gate. *Journal of Hydraulic Engineering*. 135 (3): 224-227.

Investigation of Temporal Variations of Scour Depth in Combined Weir-Gate Structure Using FLOW-3D Numerical Model

B. Namadian^{1*}, E. Asadi²

Received: Nov.16, 2021

Accepted: Feb.21, 2021

Abstract

The combined behavior of the overflow flow from the overflow with the outlet jet under the valve creates different conditions downstream of such structures and causes scouring downstream of these structures. To solve this problem, the overflow and the valve can be combined. And formed a centralized hydraulic system called a weir-gate, which allowed the transfer of sediment from under the valve and floating material from the spill. The geometry of the present research model in FLOW-3D software was created in a rectangular channel with a sedimentary and erodible bed state and in a non-lateral compression state. Bed materials, non-stick sand and fluid used were considered as clear water and zero channel slope. In this study, two turbulence models (LES) and model (RNG) and 3 equations of bed load transfer rate were used and after validation with laboratory data, it was observed that the numerical model data with Van Rijn relation And with LES turbulence model with coefficient of determination $R^2 = 0.985$ and mean absolute error $RMSE = 0.107$ has a good fit with laboratory data. The presented results indicate that with increasing upstream depth, the maximum scour depth increases find. Also, by increasing the height of the overflow structure in a fixed opening of the valve, the maximum scour depth increases due to the jet falling, and with increasing the opening of the valve, the height of water on the structure decreases and also the outlet jet decreases and causes Reduce scour depth. Also, with increasing the flow rate over the overflow and under the valve and the upstream water level, the maximum scouring depth increases.

Keywords: Composite Structure, Flow-3D, Numerical Model, Scouring, Weir-Gate

1- Master of Civil Engineering, majoring in Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz, Iran

(*- correspondenc Author Email: Namadian0069@gmail.com)