



دانشگاه گوارن و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مدل‌سازی عددی آبستگي پايين دست سازه ترکیبی سرریز - دریچه با استفاده از نرم‌افزار Flow3D

محمد کاهه^۱، *امیراحمد دهقانی^۲، مهدی کاهه^۳ و عبدالرضا ظهیری^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۴ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۲

چکیده

با ترکیب سرریز و دریچه می‌توان دو مشکل عمده و اساسی رسوب‌گذاری در پشت سرریزها و تجمع رسوب و مواد زاید در پشت دریچه‌ها را رفع نمود. به‌علاوه عمق آبستگي در پايين دست سازه کاهش می‌یابد. در سازه ترکیبی سرریز-دریچه، شرایط هیدرولیکی جدیدی حاکم خواهد شد که با شرایط هیدرولیکی هر کدام از این دو سازه به‌تنهایی متفاوت است. بر اثر جریان ناشی از جت عبوری از رو و یا زیرسازه، امکان ایجاد حفره آبستگي در پايين دست سازه‌ها وجود دارد که ممکن است پایداری سازه را به خطر اندازد، بنابراین تعیین مشخصات حفره آبستگي مورد توجه پژوهشگران هیدرولیک جریان قرار گرفته است. هدف اصلی از این پژوهش، ارزیابی مدل Flow3D در شبیه‌سازی آبستگي در پايين دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه است. همچنین برای شبیه‌سازی آبستگي جریان از مدل‌های مختلف آشفتگی مانند $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ و LES بهره گرفته شد. نرم‌افزار Flow3D یک نرم‌افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی است که برای حل مسایل با هندسه پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی پروفیل سطح آب از روش حجم سیال (VOF) و برای شبیه‌سازی پارامترهای آشفتگی از مدل‌های مختلف آشفتگی استفاده شد. همچنین برای ارزیابی

* مسئول مکاتبه: a.dehghani@gau.ac.ir

دقت مدل از نتایج آزمایشگاهی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که از بین مدل‌های آشفتگی، مدل آشفتگی LES برای شبیه‌سازی خصوصیات آشفتگی جریان مناسب‌تر است. همچنین مدل Flow3D با دقت بالایی ($R^2=0/96$ و $RMSE=0/0117$) می‌تواند برای شبیه‌سازی آبشستگی پایین‌دست سازه و پروفیل سطح آب مورد استفاده قرار گیرد.

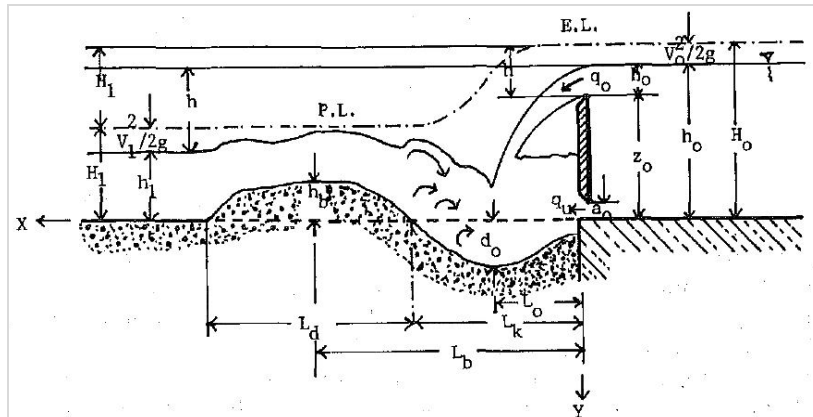
واژه‌های کلیدی: جریان ترکیبی، آبشستگی، سرریز-دریچه، مدل‌سازی عددی، Flow3D

مقدمه

برای به حداقل رساندن مشکلات در سرریزها و دریچه‌ها و همچنین برای بالا بردن برتری‌های آنها می‌توان از سازه ترکیبی سرریز-دریچه استفاده کرد به طوری که در یک زمان، جریان آب بتواند هم از روی سرریز و هم از زیر دریچه عبور نماید. این وسیله ترکیبی می‌تواند مشکلات ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری را مرتفع نماید (مایچرک، ۱۹۸۵؛ دهقانی و بشیری، ۲۰۱۰). همچنین با این روش، رسوبات و مواد زاید در پشت سرریزها انباشته نمی‌شوند.

در سازه ترکیبی سرریز-دریچه، شرایط هیدرولیکی جدیدی حاکم خواهد شد که با شرایط هیدرولیکی هر کدام از این دو سازه به تنهایی متفاوت است. از آنجایی که در سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه، تداخل جریان از زیر دریچه و روی سرریز باعث اختلاط شدید در جریان، تغییرات در توزیع تنش‌های برشی کف و از این رو افزایش پیچیدگی محاسبه‌ها می‌شود، بنابراین شبیه‌سازی الگوی جریان، سطح آزاد آب و آبشستگی مورد توجه پژوهشگران قرار دارد. تاکنون پژوهش‌هایی در زمینه آبشستگی پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه انجام شده است.

اولین بار در سال ۱۹۸۷ یک سری آزمایش توسط آقای اویماز در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی استانبول بر روی آبشستگی پای سازه ترکیبی سرریز-دریچه صورت گرفته است. شکل ۱ نمایی از مدل شبیه‌سازی جریان پژوهش ایشان را نمایش می‌دهد. اویماز برای ۲ نوع دانه‌بندی و رسوب غیرچسبنده آزمایش‌های خود را اجرا نمود. همچنین تمامی آزمایش‌ها یک بار برای دریچه تنها و یک بار در حالت ترکیب دریچه و سرریز انجام شد. پس از انجام آزمایش‌ها 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 برسند.



شکل ۱- مدل شبیه‌سازی شده جریان و حفره آبستگي جریان ترکیبی (اویماز، ۱۹۸۷).

نتایج پژوهش وی نشان می‌دهد که آبستگي در پای سازه ترکیبی سرریز-دریچه خیلی کم‌تر از زمانی است که تنها جریان از زیر دریچه را داریم. همچنین عمق آبستگي بستگی زیادی به مقدار دبي جریان دارد.

دهقانی و بشیری (۲۰۰۹) به بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبستگي پایین‌دست سرریز تنها، دریچه تنها و سازه ترکیبی سرریز-دریچه بدون انقباض پرداختند. نکته جالبی که در کار آزمایشگاهی ایشان دیده شده است رفتار نوسانی روند فرسایش و رسوب‌گذاری به صورت پر و خالی شدن حفره آبستگي است. حفره آبستگي ابتدا عمیق می‌شود، سپس با وجود جریان‌های برگشتی کمی رسوبات فرسایش‌یافته به درون حفره برمی‌گردد و حفره کمی پر می‌شود. سپس دوباره حفره توسط گردابه‌های زیر دریچه عمیق می‌شود و روند پر و خالی شدن ادامه می‌یابد. البته این روند با گذشت زمان کندتر شده و شکل حفره در حوالی زمان تعادل تقریباً ثابت می‌شود (دهقانی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین بررسی‌های ایشان نشان داد که حداکثر عمق آبستگي پای سازه ترکیبی سرریز-دریچه خیلی کم‌تر از زمانی است که جریان تنها از روی سرریز عبور می‌کند.

شهابی و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات حفره آبستگي در پایین‌دست سرریز و دریچه ترکیبی پرداختند. نتایج این بررسی آزمایشگاهی نشان داد که عمق آبستگي پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه کم‌تر از عمق آبستگي پایین‌دست سرریز می‌باشد. همچنین مشخصه‌های حفره آبستگي، با افزایش عدد فرود (Fr)، افزایش می‌یابد و در ارتفاع ریزش ثابت برای

جت عبوری از روی آن، با افزایش بازشدگی دریچه، حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. نتایج انجام آزمایش‌ها در حالت وجود انقباض نشان می‌دهد که با ایجاد انقباض در دریچه یا سرریز به دلیل تمرکز بیش‌تر جت، حداکثر عمق آبشستگی، طول حفره آبشستگی و طول رسوب‌گذاری به‌ترتیب افزایش، افزایش و کاهش می‌یابد.

با توجه به توسعه سیستم‌های کامپیوتری و محاسباتی و همچنین وجود پیچیدگی‌های غیرقابل اندازه‌گیری در جریان عبوری از بالا و پایین یک سازه ترکیبی سرریز-دریچه در حالت بستر متحرک در مدل‌های آزمایشگاهی، استفاده از شبیه‌سازی عددی می‌تواند در بررسی هیدرولیکی چنین جریان‌هایی بسیار مؤثر و قابل‌توجه باشد. در این پژوهش به‌عنوان هدف اصلی، مدل‌سازی عددی آبشستگی در پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه با استفاده از نرم‌افزار Flow3D مورد بررسی قرار گرفته است. نرم‌افزار Flow3D توانایی شبیه‌سازی عددی الگوی جریان و رسوب در اطراف سازه‌های هیدرولیکی مختلف را دارا می‌باشد.

موسسه و اتما (۲۰۰۴)، تأثیر طول آبشکن بر منطقه چرخشی پشت آبشکن را با در نظر گرفتن تأثیر مقیاس با نرم‌افزار Flow3D مورد بررسی قرار دادند. گونزالز و بومباردلی (۲۰۰۵) نیز در یک شبیه‌سازی عددی با استفاده از Flow3D به بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی سطح صاف در دو حالت شبکه‌بندی ریز و شبکه‌بندی درشت به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی پرداختند. صباغ‌یزدی و همکاران (۲۰۰۷) نیز در یک مدل سه‌بعدی به ارزیابی مدل‌های تلاطمی $k-\epsilon$ و $k-\epsilon$ RNG بر روی میزان ورود هوا در پرش هیدرولیکی با استفاده از روش حجم محدود پرداختند و اثر آن را بر روی دقت تخمین سرعت متوسط جریان با استفاده از مدل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی موجود از پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار دادند. امیراصلانی و همکاران (۲۰۰۸) به شبیه‌سازی سه‌بعدی آبشستگی در پایین‌دست یک جت ریزشی آزاد با استفاده از مدل $k-\epsilon$ نرم‌افزار Flow3D برای بررسی اثر زاویه اصطکاک داخلی رسوبات بر روی حفره آبشستگی پرداختند. شاه‌رخی (۲۰۰۸) با استفاده از نرم‌افزار Flow3D، مدل عددی الگوی جریان اطراف یک آبشکن را تهیه و با اعمال مدل‌های مختلف آشفتگی، به تأثیر این مدل‌ها بر طول منطقه جداشدگی جریان در پشت یک آبشکن پرداخت. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای پیش‌بینی طول منطقه جداشدگی در پشت یک آبشکن، مدل آشفتگی LES می‌باشد. شاملو و جعفری (۲۰۰۸) به بررسی اثر وجود زبری کف بر روی تغییرات میدان سرعت و فشار

جریان در اطراف پایه استوانه‌ای شکل در یک کانال مستطیلی توسط نرم‌افزار Flow3D و با استفاده از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ به صورت سه‌بعدی پرداختند. کاهه و همکاران (۲۰۱۰) مدل‌های آشفتگی $k-\varepsilon$ و RNG $k-\varepsilon$ را برای تخمین پروفیل‌های سرعت در پرش هیدرولیکی بر روی سطوح موج‌دار مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. حسینی و عبدی‌پور (۲۰۱۰) با استفاده از نرم‌افزار Flow3D به مدل‌سازی عددی پروفیل سرعت در جریان‌های گل‌آلود پیوسته پرداختند و تأثیر شیب، غلظت و دبی جریان بر آن را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین برتور و بورنهم (۲۰۱۰) به مدل‌سازی فرسایش رسوب در پایین‌دست سد با نرم‌افزار Flow3D پرداختند.

با توجه به اهمیت موضوع و به‌منظور بررسی و ارزیابی عددی آبستگي پایین‌دست یک سازه ترکیبی سرریز-دریچه، در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Flow3D، آبستگي پایین‌دست به‌دست آمده از جریان ترکیبی هم‌زمان از روی سرریز و زیر دریچه شبیه‌سازی شده و نتایج آن با نتایج به‌دست آمده از مطالعه آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

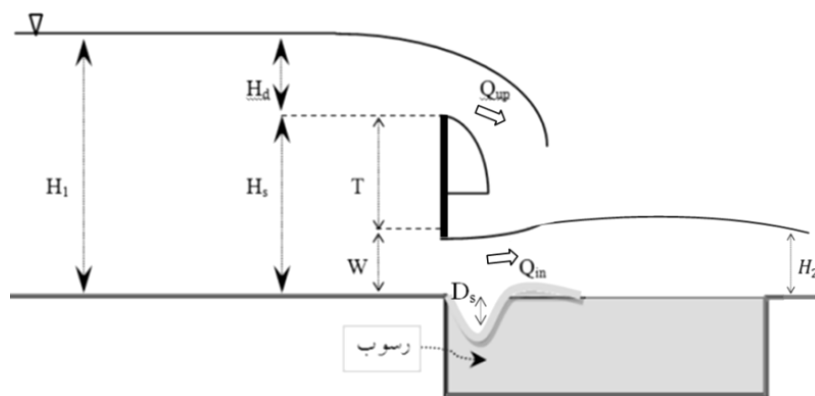
در این پژوهش، برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل عددی جریان ترکیبی هم‌زمان از روی سرریز و زیر دریچه، از نتایج آزمایشگاهی بر روی سازه‌های ترکیبی با شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسی استفاده شد (جدول ۱). همه آزمایش‌ها در کانالی به طول ۱۲ متر، عرض و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد و سازه مورد نظر در فاصله ۶/۵ متری از ابتدای کانال تعبیه شده بود. کف کانال و در پایین‌دست سازه ترکیبی، به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر از رسوبات یکنواخت با $D_{50}=1/5$ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۱/۱۸ پوشانده شده بود.

جدول ۱- محدوده آزمایش‌های به‌کار رفته برای واسنجی مدل عددی آبستگي پای سازه ترکیبی (شهابی و همکاران، ۲۰۱۱).

مقادیر و انواع دبی (لیتر بر ثانیه)	ارتفاع سازه (سانتی‌متر)	بازشدگی دریچه (سانتی‌متر)
۷/۵۲-۱۱/۳۴	۸	۲
۹/۷۸-۱۵/۱	۱۰	۲
۱۱/۳-۱۶/۲۶	۱۲	۲
۱۵/۱-۱۸/۸۷	۱۰	۴

آزمایش‌های انجام شده تا زمان تعادل حفره آبشستگی ادامه می‌یافت و پس از رسیدن به تعادل و برای برداشت عمق آبشستگی و تراز سطح آب در کانال از ترازسنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. همچنین دبی کانال توسط یک فلومتر آلتراسونیک با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه و سرریز مثلی کالیبره شده، اندازه‌گیری شد.

پارامترهای مؤثر و آنالیز ابعادی: در جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز- دریاچه در حالت جریان آزاد، متغیرهای مؤثر عبارتند از: ۱- دبی عبوری از روی سرریز Q_{up} ، ۲- دبی عبوری از زیر دریاچه Q_{in} ، ۳- عمق بالادست سازه ترکیبی H_1 ، ۴- هد آب روی سرریز H_d ، ۵- عمق پایین‌دست سازه ترکیبی H_2 ، ۶- طول سازه T ، ۷- بازشدگی زیر دریاچه W ، ۸- عرض کانال b ، ۹- عمق آبشستگی D_s و ۱۰- شتاب ثقل g (شکل ۲).



شکل ۲- شماتیک تشکیل حفره آبشستگی در پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز- دریاچه.

براساس آنالیز ابعادی به روش پی‌باکینگهام، پارامتر $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ به صورت اعداد بی‌بعد رابطه ۱ به دست

می‌آیند:

$$\frac{Q_{up}}{Q_{in}} = f\left(\frac{H_d}{T}, \frac{H_1}{W}, \frac{H_2}{D_s}, Fr_1\right) \quad (1)$$

نرم افزار **Flow3D**: نرم افزار Flow3D یک مدل مناسب برای حل مسایل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این نرم افزار از روش حجم محدود برای حل معادلات حاکم بر جریان با استفاده از شبکه بندی منظم و روش حجم سیال برای محاسبه سطح آزاد آب در مجاری باز استفاده می کند. این مدل قابلیت تحلیل یک، دو و سه بعدی میدان جریان را دارد. معادلات پایه ای مورد استفاده در این مدل، معادلات ناویر استوکس هستند و از پنج مدل آشفتگی طول اختلاط پراتل (Prandtl mixing length)، یک معادله ای (One equation Turbulent energy model)، دو معادله ای $k-\epsilon$ (Two equation $k-\epsilon$ model)، مدل های RNG $k-\epsilon$ (Renormalized group model) و مدل شبیه سازی گردابه های بزرگ (Large eddy simulation model) در حل خصوصیات جریان های آشفته استفاده می کند. این مدل شامل الگوهای فیزیکی بسیاری از جمله آب های کم عمق، لزجت، کاویتاسیون، آشفتگی و محیط های متخلخل می باشد. مدل Flow3D در مقایسه با سایر مدل های موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، دارای دامنه وسیعی از کاربردها و قابلیت هاست، کاربر دوست بوده و رابط گرافیکی بسیار قوی دارد که کار با آن را آسان تر می کند.

در این نرم افزار معادلات استاندارد جریان مانند معادلات ناویر استوکس و معادله پیوستگی برای تمام فضای محاسبات حل عددی می شوند. فرم کلی معادله پیوستگی به صورت شکل زیر بیان می شود:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (2)$$

اولین عبارت در سمت راست معادله پیوستگی مربوط به انتشار تلاطم بوده و به صورت زیر قابل تعریف می باشد:

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x}) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho A_y \frac{\partial \rho}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z}) + \xi \frac{\rho A_x}{x} \quad (3)$$

عبارت دوم در سمت راست معادله ۳ بیانگر تغییرات دانسیته است.

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4)$$

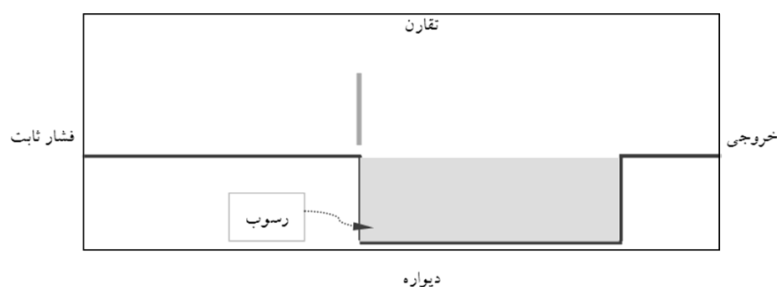
همچنین فرم کلی معادلات حرکت (مومنتوم) در حالت سه‌بعدی به صورت زیر می‌باشد:

(۵)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \zeta \frac{A_y v^2}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \zeta \frac{A_y uv}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \end{aligned}$$

در معادلات بالا، V_F : ضریب حجم آزاد به سمت جریان، ρ : چگالی سیال، A_x ، A_y و A_z : سطح جریان در جهات x ، y و z ؛ U : ضریب نفوذ (u و w) مؤلفه‌های سرعت در جهات (x ، y و z)، مقدار R در معادله ضریب مربوط به مختصات به صورت کارتیزین و یا استوانه‌ای می‌باشد، G_x و G_y و G_z مربوط به شتاب حجمی می‌باشند، پارامترهای f_x ، f_y و f_z شتاب‌های ناشی از جریان‌های لزج بوده و b_x ، b_y و b_z نیز شامل روابط مربوط به افت در محیط‌های متخلخل هستند.

مشخصات میدان حل: شرایط مرزی مورد استفاده در مدل و محدوده آن در شکل ۳ ارائه گردیده است. با توجه به شکل، مرز بالادست به صورت فشار ثابت^۱، مرز پایین دست به صورت خروجی^۲، مرز در بستر به صورت شرایط دیواره^۳ و مرز سطح آب به صورت شرایط تقارن^۴ انتخاب شده است.



شکل ۳- شرایط مرزی مورد استفاده در مدل‌سازی.

- 1- Specified Pressure
- 2- Outflow
- 3- Wall
- 4- Symmetry

یکی از مهم‌ترین نکاتی که باید در شبیه‌سازی‌های عددی مورد توجه و رعایت قرار گیرد، شبکه‌بندی مناسب برای حل دقیق معادلات حاکم است. در همه مدل‌سازی‌های عددی صورت گرفته، ابعاد شبکه طوری تعیین شد که پارامترهای کنترل شبکه مانند حداکثر نسبت ابعاد شبکه^۱ در راستای طولی و عمقی و ضریب نسبت ابعاد شبکه^۲ در راستاهای مختلف و در مجاورت یکدیگر مناسب انتخاب شده باشند. برای نتایج دقیق و مؤثر، مقدار هر یک از دو پارامتر بالا 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 (فلوساینس، ۲۰۰۸). در این پژوهش با در نظر گرفتن شبکه‌های مختلف ریز و درشت، بهترین شبکه انتخاب شد و فاصله اولین گره از دیواره نیز با توجه به زبری کف انتخاب شد. بر این اساس، شبکه‌بندی مدل، به‌طور دوبعدی و در راستای طولی به‌طور غیریکنواخت انتخاب شد (به‌طوری‌که در نزدیکی سازه تعداد مش بیش‌تر در نظر گرفته شد) و تعداد کل مش برای هر مدل‌سازی ۲۶۰۰۰ سلول در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

در مدل‌سازی عددی پدیده‌های هیدرولیکی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در واسنجی مدل عددی، انتخاب بهترین مدل تلاطمی به‌منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر پدیده هیدرولیکی می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور واسنجی مدل و شبیه‌سازی حفره آبشستگی پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز-دریچه، مدل‌های LES، $k-\epsilon$ و $RNG\ k-\epsilon$ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

همچنین برای واسنجی حداکثر عمق آبشستگی، مقادیر مختلف پارامترهای مربوط به مشخصه‌های رسوب مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۲).

-
- 1- Maximum Aspect Ratio
 - 2- Maximum Adjacent Cell Size Ratio

جدول ۲- تغییرات مؤلفه‌های رسوب در مدل‌سازی‌های انجام شده برای تعیین بهترین مقدار.

مقادیرهای انتخاب شده						پارامتر مورد نظر
۰/۵	۱	۱/۲	۱/۵			ضریب دراگ ^۱
۰/۰۳۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵			عدد شیلدز بحرانی ^۲
۳۰	۳۵	۴۰				زاویه ایستایی ^۳
۰/۳۸	۰/۴	۰/۶	۰/۷	۰/۷۴	۰/۸	حداکثر ضریب تراکم مواد بستر ^۴
۰/۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۶				ضریب تعلیق مواد بستر ^۵
۸		۱۶				ضریب بار بستر ^۶

ضرایب تعلیق مواد بستر و بار بستر در نرم‌افزار Flow3D به‌عنوان مؤلفه‌های رسوب تعریف می‌شود که براساس محدوده توصیه شده نرم‌افزار انتخاب شده و بهترین مقدار آن‌ها براساس سعی و خطا به‌دست آمد. در شکل ۴، نمونه‌ای از توزیع سرعت طولی جریان در اطراف سازه ترکیبی سرریز-دریچه نشان داده شده است. همچنین در شکل ۵ الگوی جریان محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow3D نشان داده شده است. به‌منظور ارزیابی نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی آبشستگی به‌دست آمده از جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز-دریچه و انتخاب بهترین مدل تلاطمی (به‌عنوان واسنجی مدل عددی)، ابتدا به مقایسه نتایج پروفیل بستر به‌دست آمده از سه مدل آشفتگی LES، k-ε و RNG k-ε پرداخته می‌شود و سپس برای صحت‌سنجی حداکثر عمق آبشستگی، تأثیر پارامترهای مؤلفه رسوب بر حداکثر عمق آبشستگی پایین‌دست سازه ترکیبی بررسی می‌شود. شکل ۶ ارزیابی نتیجه مدل‌های تلاطمی نسبت به نتیجه آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که هر سه مدل آشفتگی LES، k-ε و RNG k-ε توانسته‌اند به خوبی پروفیل آبشستگی را شبیه‌سازی نمایند. نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های RNG k-ε و k-ε حفره آبشستگی و تپه رسوبی تشکیل شده در جلوی حفره را به خوبی شبیه‌سازی نمودند، ولی مدل آشفتگی LES در شبیه‌سازی عددی آبشستگی، نتیجه بهتری از دو مدل آشفتگی دیگر نشان داده است.

1- Drag Coefficient

2- Critical Shields Number

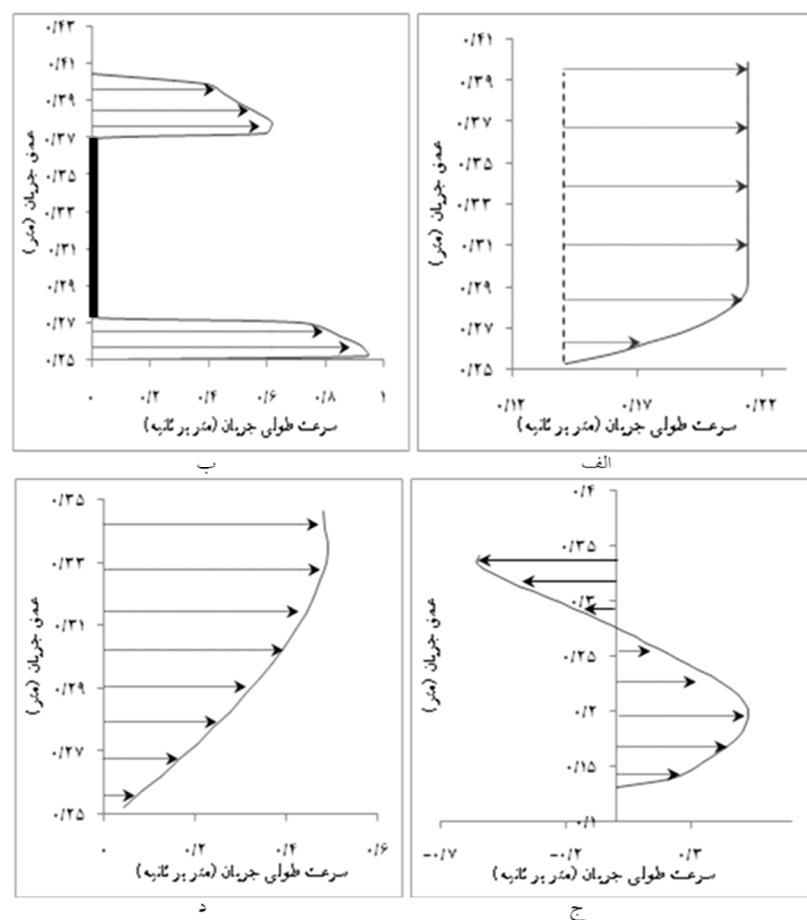
3- Angle of Repose

4- Maximum Packing Fraction

5- Entrainment Coefficient

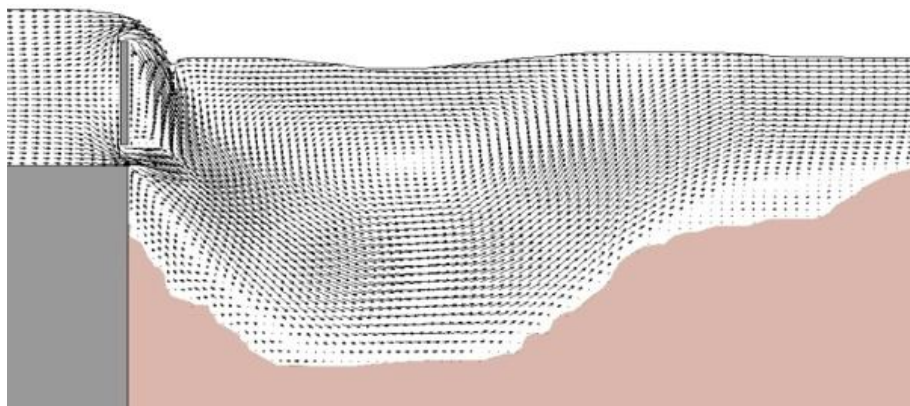
6- Bed Load Coefficient

برای تعیین بهترین مقدار برای پارامترهای مشخصه رسوب، تأثیر هر کدام در میزان حداکثر عمق آبشستگی بررسی شد. با توجه به روند صعودی و نزولی بودن حداکثر عمق آبشستگی با تغییر پارامترهای ذکر شده و همچنین با توجه به مدل‌سازی‌های انجام شده برای واسنجی مدل، بهترین مقادیر تعیین شده برای پارامترهای کالیبراسیون مؤلفه رسوب در جدول ۳ نشان داده شده است که این مقادیر براساس نزدیکی مقادیر حداکثر عمق آبشستگی محاسباتی به نتایج آزمایشگاهی انتخاب شد.

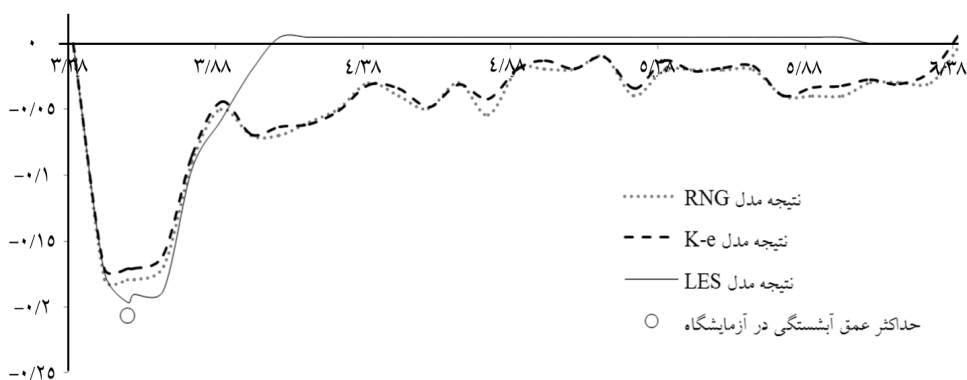


شکل ۴- توزیع سرعت طولی جریان در اطراف سازه ترکیبی.

الف- بالادست سازه. ب- مقطع سازه ترکیبی. ج- در حفره آبشستگی. د- پایین دست سازه



شکل ۵- الگوی جریان اطراف سازه ترکیبی سرریز- دریچه.



شکل ۶- مقایسه دقت شبیه‌سازی حفره آبستگي در مدل‌های آشفته‌گي نسبت به نتیجه آزمایشگاهی.

جدول ۳- بهترین مقدار برای پارامترهای مشخصه رسوب در شبیه‌سازی آبستگي پایین‌دست سازه ترکیبی.

زاویه ایستایی (درجه)	ضریب بار بستر	ضریب تعلیق بار بستر	ضریب دراگ	عدد شیلدز بحرانی	حداکثر ضریب تراکم مواد بستر
۳۵	۸	۰/۰۱۸	۱/۲	۰/۱	۰/۷

در جدول‌های ۴ تا ۶ نتایج آماره‌های خطا برای برآورد حداکثر عمق آبشستگی، عمق جریان بالادست و هد روی سازه ارایه شده است. در شکل ۷ نیز مقادیر محاسبه شده عمق جریان در بالادست و روی سازه و حداکثر عمق آبشستگی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی متناظر آن نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده دقت مناسب مدل در برآورد این عمق‌ها است.

به‌منظور تعیین مقادیر دبی عبوری از بالا و پایین سازه، مقادیر سرعت طولی محاسبه شده در هر گره درست زیر دریچه و بالای سرریز ملاک کار قرار گرفت و سپس با ترسیم پروفیل سرعت و محاسبه سطح زیر نمودار پروفیل سرعت مقادیر دبی عبوری از زیر دریچه و روی سرریز محاسبه شد.

سپس نسبت دبی بالا به دبی پایین سازه ترکیبی $(\frac{Q_{up}}{Q_{in}})$ بر اساس پارامترهای بی‌بعد به‌دست آمده در

رابطه ۱ ترسیم شد. شکل ۸ تغییرات $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ را نسبت به Fr_1 ، $\frac{H_1}{W}$ ، $\frac{H_d}{T}$ و $\frac{H_2}{D_s}$ نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج آماره‌های خطای حداکثر عمق آبشستگی.

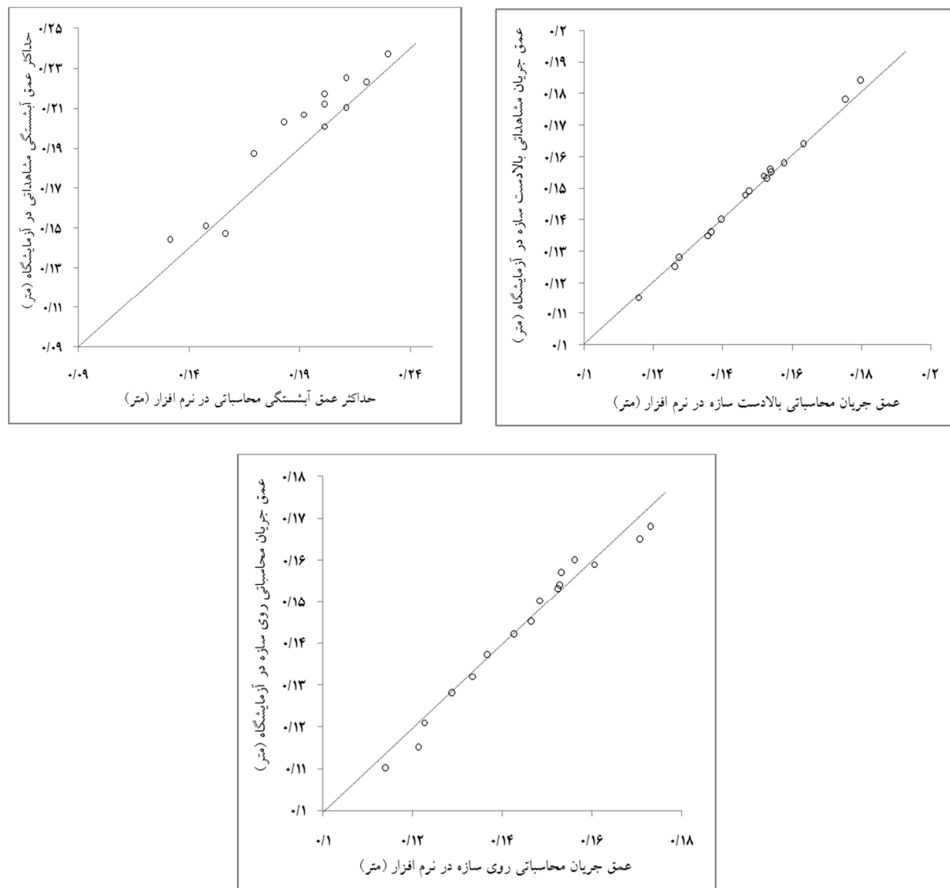
جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تعیین	میانگین مقادیر نسبت حداکثر عمق	انحراف معیار نسبت حداکثر عمق
(RMSE)	R^2	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی
۰/۰۱۱۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۳

جدول ۵- نتایج آماره‌های خطای عمق بالادست سازه.

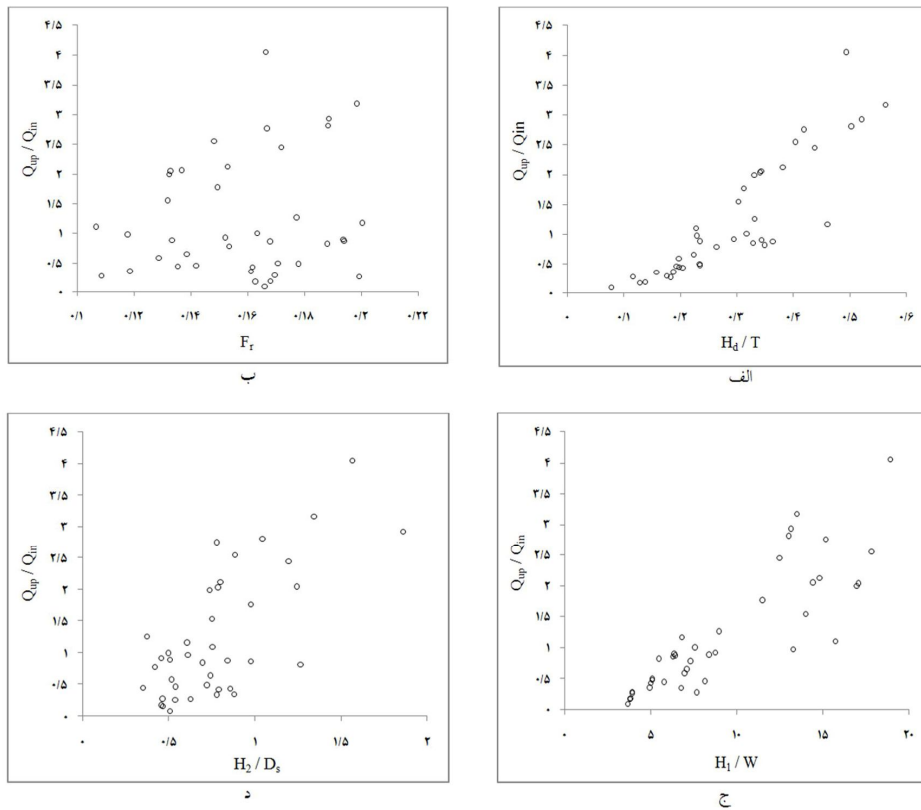
جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تعیین	میانگین مقادیر نسبت حداکثر عمق	انحراف معیار نسبت حداکثر عمق
(RMSE)	R^2	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی
۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰۴	۰/۰۱۷۶

جدول ۶- نتایج آماره‌های خطای هد آب روی سازه.

جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تعیین	میانگین مقادیر نسبت حداکثر عمق	انحراف معیار نسبت حداکثر عمق
(RMSE)	R^2	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی	آبشستگی محاسباتی به مشاهداتی
۰/۰۰۳۴	۰/۹۸۶۲	۰/۹۹۲	۰/۰۱۷۴



شکل ۷- ارزیابی دقت مدل LES برای عمق جریان بالادست سازه و روی سازه ترکیبی و حداکثر عمق آبشستگی.



شکل ۸- تغییرات $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ نسبت به پارامترهای بی بعد به دست آمده در رابطه ۱.

$$\left(\frac{H_d}{T} \text{ به نسبت به } Fr, \text{ ج- نسبت به } \frac{H_1}{W}, \text{ د- نسبت به } \frac{H_2}{D_s} \right)$$

منحنی‌های مربوط به رابطه نسبت $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ با پارامترهای بی بعد (شکل ۸)، روند صعودی داشته در حالی که با افزایش مقدار این پارامترهای بی بعد، نسبت دبی‌های عبوری از بالا به پایین سازه افزایش می‌یابد اما روند مشخص برای تغییرات نسبت دبی براساس عدد فرود مشاهده نمی‌شود.

با انجام برازش منحنی بر داده‌های آزمایشگاهی، رابطه ۶ به منظور برآورد نسبت $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ ارائه شده است. مقادیر آمارهای خطا با به کارگیری این رابطه در جدول ۷ ارائه شده است.

$$\frac{Q_{up}}{Q_{in}} = 0.858(Fr_1)^{0.6475} \left(\frac{H_1}{W}\right)^{1.084} \left(\frac{H_d}{T}\right)^{0.823} \left(\frac{H_2}{D_s}\right)^{0.088} \quad (6)$$

جدول ۷- نتایج آمارهای خطای معادله ۶.

میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ^۲)	میانگین مقادیر نسبت مقدار $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$	انحراف معیار نسبت مقدار $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$
۰/۱۲	۰/۹۸۶	۰/۹۸	۰/۰۹۴

مقادیر نزدیک به صفر RMSE و انحراف معیار نسبت مقدار $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ و مقادیر نزدیک به یک

ضریب تعیین و میانگین مقادیر نسبت $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ نشان‌دهنده دقت مناسب رابطه ۶ است. در شکل ۹ نیز

تغییرات مقادیر محاسبه شده نسبت $\frac{Q_{up}}{Q_{in}}$ از رابطه ۶ بر حسب مقادیر مشاهداتی با خطای ۱۰ درصد

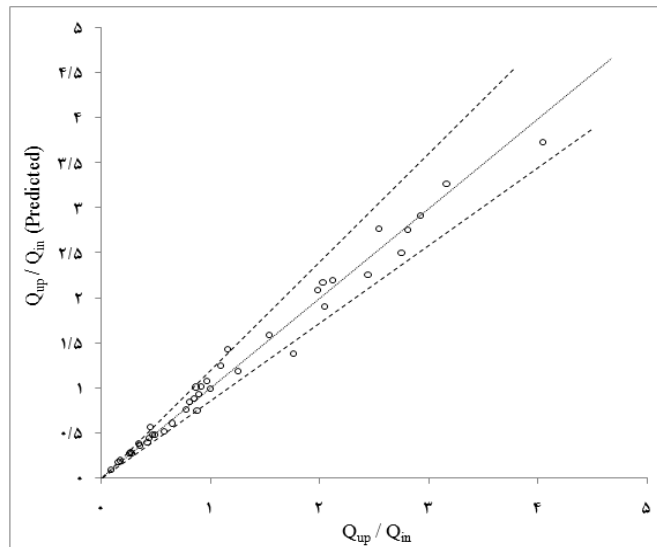
نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه از دقت بالایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

(۱) مدل عددی Flow3D مدلی مناسب برای شبیه‌سازی آبشستگی به‌دست آمده از جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز- دریچه است.

(۲) از مقایسه تأثیر پارامترهای مؤلفه رسوب در حداکثر عمق آبشستگی نتیجه می‌شود که پارامتر ضریب دراگ تأثیر زیادی بر مقدار آبشستگی دارد.

(۳) نتایج شبیه‌سازی آبشستگی به‌دست آمده از جریان ترکیبی هم‌زمان از روی سرریز و زیر دریچه نشان می‌دهد که مدل تلاطمی LES از دقت بالایی در شبیه‌سازی پارامترهای آشفستگی برخوردار است.



شکل ۹- نمودار تغییرات نسبت دبی‌های نرم‌افزار و مشاهداتی.

منابع

1. Amiraslani, Sh., Pirestani, M.R., and Salehi Neyshaboori, A.A. 2008. Numerical investigation of free falling jet's effect on the scour of plunge pool. XVIII International conference on water resources, Tehran University, Iran.
2. Blachandar, R., Kells, J.A., and Thiessen, R.J. 2000. The effect of tail water depth on the dynamics of local scour. *Can. J. Civil Engin.* 27: 1. 138-150.
3. Brethour, J., and Burnham, J. 2010. Modeling sediment erosion and deposition with the Flow3D sedimentation and scour model. Technical report. FSI-10-TN85, 22p.
4. Dehghani, A.A., and Bashiri, H. 2009. Experimental investigation of scouring in downstream of combined flow over weirs and below gates. 33rd IAHR conference. Vancouver, Canada.
5. Dehghani, A.A., and Bashiri, H. 2010. Characteristics of scouring in downstream of combined flow over weirs and below gates. 4th National conference of erosion and sedimentation. Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
6. González, A.E., and Bombardelli, F.A. 2005. Two phase flow theoretical and numerical models for hydraulic jumps including air entrainment. In Proc. XXXI IAHR congress. IAHR. Seoul. Korea.
7. Hoseyni, S.A., and Abdipoor, A. 2010. Numerical modeling of velocity profiles on continuous muddy streams and investigation of effect of slope, density and discharge on continuous muddy streams. *Civil J. Azad Islamic University.* 3: 3. 60-69.

8. Kaheh, M., Kashefipour, S.M., and Dehghani, A.A. 2010. Comparison of k- ϵ and RNG k- ϵ turbulent models for estimation of velocity profiles along the hydraulic jump on corrugated beds, 6th international symposium on environmental hydraulics, IAHR. Athens, Greece.
9. Majcherek, H. 1985. Submerged Weirs. J. Hydr. Engin. Proc. ASCE. 111: 1. 163-168.
10. Muste, M., and Ettema, R. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flatbed channel. J. Hydr. Engin. 130: 635-646.
11. Sabbagh Yazdi, S.R., Shamloo, H., and Rostami, F. 2007. Turbulent modeling effects on finite volume solution of three dimensional aerated hydraulic jumps using volume of fluid. Proceedings of the 12th WSEAS International conference on applied Mathematics. IWPCO. Iran.
12. Shahrokhy, M. 2008. Comparison of turbulence models on turbulent flow. 4th congress of Civil Engineering. Tehran University, Iran.
13. Shamloo, H., and Jafari, P. 2008. Numerical investigation of effect of bottom roughness on flow around the piers by Flow3D. 4th congress of Civil Engineering. Tehran University, Iran.
14. Shahabi, M., Taleb Beydokhti, N., Dehghani, A.A., and Telvari, A.R. 2011. Experimental investigation of effect of contracted flow on scour in downstream of combined over weirs and through gates. 6th congress of Civil Engineering. Semnan University, Iran.
15. Shahabi, M., Taleb Beydokhti, N., Dehghani, A.A., and Telvari, A.R. 2011. Experimental investigation of the effect of flow head over the weirs on scour in downstream of combined over weirs and through gates. 4th congress of Water Resources Engineering. Amirkabir University, Iran.
16. Uyumaz, A. 1985. The investigation for scour downstream of a vertical gate. Int. Symp. on Water Resource Management in Metropolitan Areas. Hydrad. Sao Paulo. Brazil. II. 11-14:46-156.
17. Uyumaz, A. 1988. Scour downstream of vertical gate. J. Hydr. Engin. 114: 7. 811-816.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Numerical Modeling of Scour Pattern Downstream of Combined Flow over Weir and Under the Gate by Flow3D

M. Kaheh¹, *A.A. Dehghani², M. Kaheh³ and A.R. Zahiri⁴

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Structure, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Ph.D. Student, Dept. of Water Structure, Shahid Chamran University, Ahvaz, ⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08/07/2013; Accepted: 06/02/2014

Abstract

By combining weirs and gates the problems of sedimentation and floating materials upstream the weir and gate structure can be resolved. In combined structures a new hydraulic condition is created which differs from hydraulic condition in weir and gate only structures. Due to jet flow passing through or under structure, the scour hole is formed downstream of structures that may endanger the stability of the structure. Determination of scour hole characteristics is therefore attracted by researchers. The object of this study is numerical modeling of scour pattern downstream of combined flow over weir and under the gate by Flow3D software. For modeling the turbulence, RNG k- ϵ , k- ϵ and LES were used. Flow3D is a highly accurate model in computational fluid dynamics for simulation of problems with complex geometry on wide limits of fluid flows in open channel hydraulic. By applying VOF method, a series of simulation scour pattern downstream of weir-gate structure were performed and results were compared by some experimental data. The results show that Flow3D with LES turbulent model can be used with high accuracy (with $R^2=0.96$, $RMSE=0.0117$) for simulation of scour pattern and water surface profile in weir-gate structure.

Keywords: Combined flow, Scour pattern, Weir-gate, Numerical modeling, Flow3D

* Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir

