

شبیه‌سازی عددی الگوی جریان بر روی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی و مقایسه با سرریز خطی با استفاده از نرم افزار Flow-3D

امیرحمزه حقی آبی^{۱*}، بهادر عباسپور^۲، عباس ملکی^۳، حسن ترابی پوده^۳

چکیده:

سرریزها به‌طور گسترده برای عبور سیل، اندازه‌گیری جریان، انحراف جریان و کنترل سطح آب در سدها، رودخانه‌ها و کانال‌های باز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحقیق با هدف بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز به ازای زوایای مختلف رأس سرریز صورت گرفت. میدان جریان سه‌بعدی بر روی سرریزهای ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه به صورت عددی بر مبنای شبیه‌آشتگی RNG استاندارد و با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D نسخه 10.0.1 بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه رأس سرریز از ۳۰ درجه تا ۱۸۰ درجه به علت کاهش تداخل جریان عبوری با تیغه‌های ریزشی جانبی، اغتشاشات و گردابه‌های جریان کمتر می‌شود و از برآمدگی سطح جریان در نیم رخ طولی و اختلاف ارتفاع عرضی جریان در نیم رخ عرضی کاسته می‌شود و در پایاپ سرریز نیز فشار کاهش یافته و سرعت افزایش می‌یابد. درنهایت نتایج حاصله نشان می‌دهد که شبیه‌آشتگی RNG در تعیین نیم رخ سطح آب در طول آب راهه پایین‌دست سرریز از دقت مناسبی برخوردار است.

کلید واژه: الگوی جریان، شبیه‌آشتگی RNG، سرریزهای با مقطع افقی مثلثی، شبیه‌سازی عددی، Flow-3D.

^۱ دانشجویار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران haghiabi.a@lu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران

مقدمه:

مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که دارای انطباق خوبی است (آیدین، ۲۰۱۲).

سوری و منصوری (۱۳۹۱) به مطالعه اثر شیب روی استهلاك انرژی در جریان ریزشی با استفاده از شبیه Flow-3D را با فرمول استیفنسون مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که در شیب ۸/۸ درجه تابع بدست آمده در این مطالعه با فرمول ارائه شده توسط استیفنسون همبستگی بیشتری دارد و با توجه به داده‌های بدست آمده از شبیه Flow-3D رابطه ای را برای استهلاك انرژی ارائه داده و نتیجه گرفتند که با کاهش ارتفاع و شیب سرریز، افت نسبی انرژی بیشتری در جریان ریزشی وجود خواهد داشت.

حبیبی و قربانی (۱۳۹۱) با استفاده از شبیه فیزیکی آزمایشگاهی، به بررسی اثر جریان فروریزشی قائم بر عمق تعادل آبشستگی پرداختند. با تغییر فراسنجهای متعددی از قبیل دانه‌بندی رسوبات و عمق پایاب و دبی جریان نتایج قابل توجهی پیرامون عمق تعادل آبشستگی به دست آوردند. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D شبیه عددی آبشستگی در پایاب محل سقوط قائم بلند شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه عددی و شبیه فیزیکی باهم مقایسه گردیده است که تطابق و همبستگی زیادی را نشان داد.

با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D عملکرد سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زوایای مختلف دیواره سرریز در امتداد جریان و طول‌های متغیر دماغه، بررسی شده است. برای شبیه‌سازی از شبیه‌سازی RNG و برای تعیین موقعیت نیم رخ سطح آزاد از روش VOF استفاده شد. برای سنجش درستی شبیه از داده‌های آزمایشگاهی تولیس و همکاران (۱۹۹۵) استفاده شد که نتایج شبیه هماهنگی مناسبی با نتایج داده‌های آزمایشگاهی داشت (اژدری مقدم و جعفری ندوشن، ۱۳۹۲).

نیم رخ سطح آب بر روی سرریز مثلثی لبه پهن با نرم‌افزار Flow-3D با روش حجم سیال (VOF) توسط سه شبیه‌سازی RNG، $K-\epsilon$ و LES شبیه‌سازی شد.

سرریزها به‌طور گسترده برای عبور سیل، اندازه‌گیری جریان، انحراف جریان و کنترل سطح آب در سدها، رودخانه‌ها و آب راه‌های باز مورد استفاده قرار می‌گیرند (فالوی، ۲۰۰۳).

سرریزهای معمولی به شکل‌های مختلفی مانند مستطیل، مثلث، دوزنقه، دایره‌ای و غیره وجود دارند که در آن‌ها شکل مقطع افقی تاج سرریز به‌صورت مستقیم می‌باشد. طرح‌های اصلاحی مختلفی مانند سرریزهای منقاری و سرریزهای کنگره ای نیز مورد بررسی و بهره‌برداری قرار گرفته که در آن‌ها، شکل مقطع افقی تاج سرریز مستقیم نیست و طول تاج افزایش پیدا کرده تا ظرفیت تخلیه سرریز افزایش یابد. یک نوع دیگر از این سرریزها سرریز با مقطع افقی مثلثی است (باقری و حیدرپور، ۲۰۱۰).

می‌توان با اصلاح مشخصات هندسی سرریز با مقطع مثلثی لبه تیز ظرفیت تخلیه جریان عبوری از روی سرریز را افزایش داد. اهمیت طرح اصلاح هندسه سرریزها به این دلیل مورد توجه قرار می‌گیرد که می‌توان با ایجاد تغییرات در هندسه ی سرریز، افزایش انتقال جریان روی سرریز به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز را ایجاد کرد و محدودیت ارتفاع سطح آب در بالادست سرریز و خطر آب‌گرفتگی اراضی بالادست بخصوص در مواقع محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز در رودخانه‌های سیلاب‌دستی مورد استفاده قرار داد (کومار و همکاران، ۲۰۱۱).

تقی زاده و همکاران (۱۳۸۹) به شبیه‌سازی عددی و بررسی الگوی جریان بر روی سرریز سه جانبی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D و شبیه‌سازی RNG^۱ پرداختند. مقایسه نتایج شبیه عددی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که این شبیه دارای دقت مناسب جهت پیش‌بینی الگوی سه‌بعدی جریان را دارا می‌باشد.

برای شبیه‌سازی نیم رخ سطح آب سرریز جانبی پلان مثلثی از روش VOF^۲ برای توصیف خصوصیات جریان در شرایط زیربحرانی استفاده شد و نتایج شبیه‌سازی عددی در

3-Two equation ($k-\epsilon$) model
4- Large eddy simulation model

1- Renormalization group (RNG) model
2- Volume-Fraction Methods

مواد و روش‌ها:

شبیه‌سازی آزمایشگاهی

با توجه به اینکه در این تحقیق برای اعتبارسنجی و امتحان شبیه‌سازی عددی از داده‌های آزمایشگاهی شبیه‌سازی هیدرولیکی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی با زاویه رأس‌های ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه انتخاب شده برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D در واقع همان شبیه‌سازی هستند که کومار و همکاران (۲۰۱۱) به صورت آزمایشگاهی برای بررسی ضریب دبی مورد بررسی قرار داده‌اند. اطلاعات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی آزمایش شده توسط کومار و همکاران (۲۰۱۱) در جدول (۱) نشان داده شده است.

نتایج به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که شبیه‌سازی RNG بیشترین دقت را در مقایسه با شبیه‌سازی های آشفتگی $k-\epsilon$ و LES دارد (حسینی، ۲۰۱۴).

هدف از تحقیق حاضر شبیه‌سازی توزیع فشار، توزیع سرعت، نیم رخ طولی و عرضی و الگوی جریان روی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی و خطی شبیه‌سازی آزمایشگاهی کومار و همکاران (۲۰۱۱) که به بررسی ضریب دبی پرداخته بودند در نرم‌افزار Flow-3D می‌باشد و همچنین مقایسه ارتفاع آب در آزمایشگاه و ارتفاع آب برآوردی از نرم‌افزار Flow-3D بر روی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه پرداخته شده است.

جدول ۱- داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده برای شبیه‌سازی عددی.

شماره شبیه	زاویه رأس (درجه)	P(m)	h(m)	Q(m ³ /s)	تعداد دفعات آزمایش
۱	۳۰	۰/۰۹۲	۰/۰۰۷۹-۰/۰۳۴۶	۰/۰۰۲۰-۰/۰۱۲۵	۲۰
۲	۶۰	۰/۱۰۱	۰/۰۱۲۹-۰/۰۵۶۵	۰/۰۰۲۱-۰/۰۱۲۰	۲۳
۳	۱۵۰	۰/۱۰۸	۰/۰۱۴-۰/۰۷۱	۰/۰۰۱۲-۰/۰۱۱۳	۲۰
۴	۱۸۰	۰/۱	۰/۰۲۴۲-۰/۰۷۲۴	۰/۰۰۲۲-۰/۰۱۰۹	۱۸

واکنجی

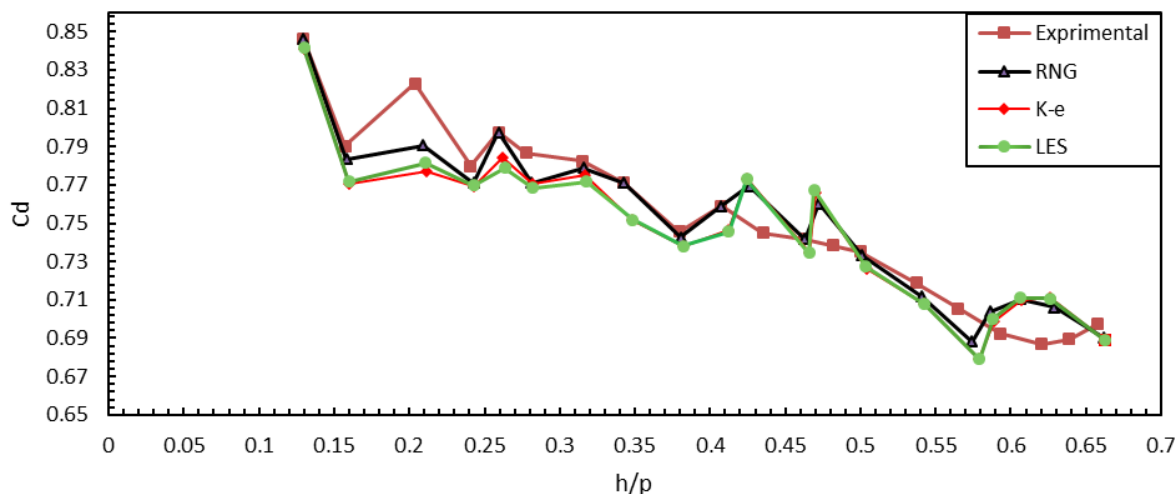
میدان جریان سه‌بعدی به وسیله شبیه‌سازی های آشفتگی RNG، $k-\epsilon$ و LES حل شد که با استفاده از نتایج آماری شاخص درصد میانگین خطای نسبی (MREP)، بین داده‌های ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و داده‌های برآوردی از شبیه‌سازی های عددی روی سرریز ۱۵۰ درجه نشان می‌دهد که داده‌های شبیه‌سازی RNG به داده‌های آزمایشگاهی نزدیک بوده و کمترین مقدار خطا را نسبت به شبیه‌سازی های $k-\epsilon$ و LES دارد.

برای انتخاب شبیه‌سازی مناسب که نتایج آن به داده‌های آزمایشگاهی نزدیک باشد و سایر داده‌های آزمایشگاهی بر اساس آن شبیه‌سازی حل گردد، میدان جریان سه‌بعدی به وسیله شبیه‌سازی های آشفتگی RNG، $k-\epsilon$ و LES برای سرریز با زاویه رأس ۱۵۰ درجه حل شد و نتایج برآوردی از شبیه‌سازی های عددی با استفاده از درصد میانگین خطای نسبی (MREP¹)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE²) و میانگین خطای مطلق (MAPE³) بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های شبیه‌سازی عددی استفاده شده است.

1- Mean Relative Error Percentage

2- Root Mean Squares of Error

3- Mean Absolute Percentage of Error



شکل ۱- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌های عددی برای سرریز ۱۵۰ درجه.

جدول ۲- مقایسه فراسنجهای آماری داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌های عددی برای سرریز ۱۵۰ درجه.

مدل	MREP	RMSE	MAPE	R ²
RNG	۰/۹۰۷۶	۰/۰۰۰۶۳۱	۰/۰۰۰۴۴	۰/۹۹۸۸
k-ε	۱/۴۵۴۸۵	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۶۴۸	۰/۹۹۸۱
LES	۱/۴۸۹۹۳۲	۰/۰۰۰۸۰۶	۰/۰۰۰۶۶۶	۰/۹۹۸

شبیه عددی

نرم‌افزار Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات احجام محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌هایی با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم‌بندی می‌شود که برای هر سلول مقادیر میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد. یعنی همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه

می‌شوند به جز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می‌شود. معادلات حاکم بر جریان شامل معادله پیوستگی، معادله ی اندازه حرکت و معادله ی نیم رخ سطح آزاد می‌باشند (Flow-3d, Help). معادله پیوستگی معادله پیوستگی به‌طور کلی به‌صورت زیر است:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\partial \rho u A_x}{\partial x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (1)$$

معادلات اندازه حرکت

معادلات اندازه حرکت برای اجزاء سرعت سیال (u, v, w) در سه جهت مختصات، معادلات ناویر-استوکس بوده که با یک سری عبارات اضافی به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

که V_F کسر حجمی جریان، ρ چگالی سیال و R_{DIF} عبارت پخش آشفتنگی و R_{SOR} برابر جرم است. اجزاء سرعت (u,v,w) در جهات (x,y,z) یا (r,θ,z) هستند. A_x ، A_y و A_z برابر کسرهای سطحی برای جریان در جهت‌های x, y و z است و مقدار ضریب R بستگی به نوع سیستم مختصات دارد.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \xi \frac{A_y w^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial x} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (4)$$

نتایج و بحث

جهت بررسی و مقایسه نتایج حاصل از شبیه عددی با شبیه آزمایشگاهی از شاخص درصد میانگین خطای نسبی (MREP) استفاده شده و نتایج بر اساس آن تحلیل شده است. حسینی (۲۰۱۴)، شجاعیان و کاشفی پور (۱۳۹۲)، سیحان آیدین^۷ (۲۰۱۱) و هان^۸ و همکاران (۲۰۱۱) نیز برای مقایسه نتایج شبیه آزمایشگاهی و شبیه عددی از این شاخص استفاده نموده‌اند.

نتایج به دست آمده از شاخص درصد میانگین خطای نسبی (MREP) با ضریب همبستگی (R^2) برای سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز با زوایای مختلف در جدول (۳) و همچنین همبستگی بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های برآورد شده از شبیه عددی در شکل (۳) نشان داده شده است.

نتایج به دست آمده از شاخص درصد میانگین خطای نسبی (MREP) با ضریب همبستگی (R^2) برای سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز با زوایای مختلف در جدول (۳) و همچنین همبستگی بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های برآورد شده از شبیه عددی در شکل (۳) نشان داده شده است.

با توجه به جدول (۳) ماکزیمم خطا با استفاده از شاخص درصد میانگین خطای نسبی (MREP)، که مقدار آن ۲/۷۱۵۸۱۹ درصد است برای سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه تیز ۳۰ درجه است و مینیمم خطا که مقدار آن ۰/۹۰۷۶ درصد است، برای سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه

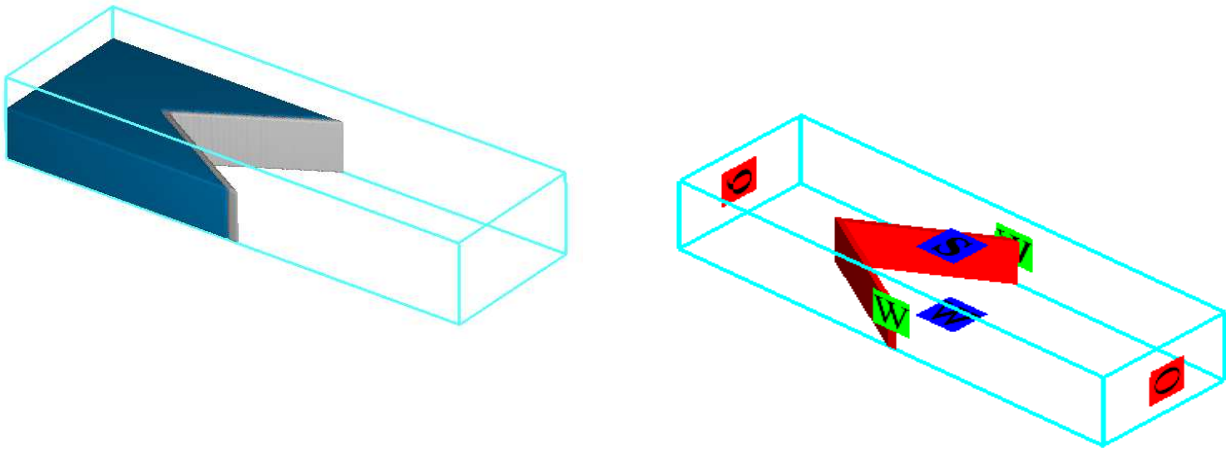
در این معادلات (p) فشار، (G_x, G_y, G_z) شتاب‌های بدنه، (f_x, f_y, f_z) شتاب‌های ناشی از لزجت، (b_x, b_y, b_z) افت جریان در محیط‌های دارای خلل و فرج و عبارت آخر سمت راست مربوط به تزریق جرم در سرعت صفر است. در نرم افزار FLOW-3D پنج شبیه آشفته‌گی ارائه شده است: طول اختلاط پراتل، یک معادله، دو معادله ($k - \epsilon$)، شبیه‌های RNG و شبیه شبیه‌سازی بزرگ LES شبیه‌های آشفته‌گی که اخیراً توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد عموماً بر اساس شبیه‌ی است که از آن به عنوان گروه‌های هم دامنه شده رینولدز (RNG) یاد می‌شود (قاسم زاده، ۱۳۹۰). طبق توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار برای موارد مشابه شرایط مرزی کف کانال Z_{min} و دیوارهای جانبی کانال Y_{min} و Y_{max} در نظر گرفته شده است. همچنین شرایط مرزی سقف بلوک Z_{max} ، (S)^۱ در نظر گرفته شده است، زیرا تا وقتی که جریان سیال به این مرز نرسد، شرایط بالای سطح سیال تا بینهایت مشابه شرایط اتمسفر در نظر گرفته می‌شود. شرایط خروجی X_{max} یعنی نقطه‌ای که جریان از کانال خارج می‌شود از نوع شرایط مرزی خروجی (O)^۲ در نظر گرفته شده است. از همه مهمتر شرایط مرزی ورودی یا X_{min} است، یعنی نقطه‌ای که جریان وارد آب راه می‌شود از نوع مرزی ورودی (Q)^۴ در نظر گرفته شد که برای تعریف دبی از داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. شرایط مرزی دیواره‌ها نیز به صورت عدم لغزش^۵ تعریف شده است.

3- No-Slip

1- Wall
2- Symmetry
1- Outflow
4- Mean Relative Error Percentage
5- Cihan Aydin
6- Haun
2- Volume flow rate

مشاهده شده است اما این اختلاف در سطح یک درصد و پنج درصد معنی دار نمی باشد.

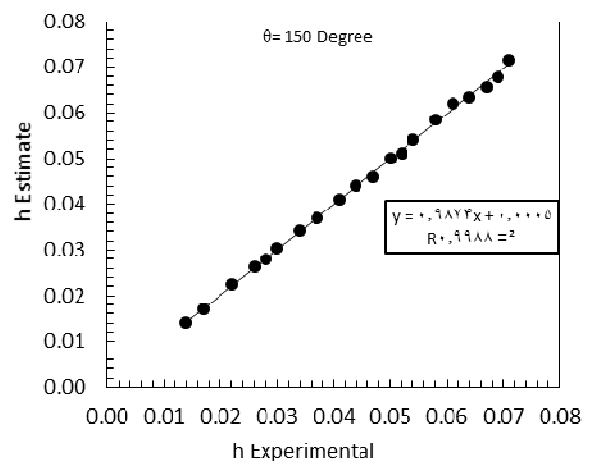
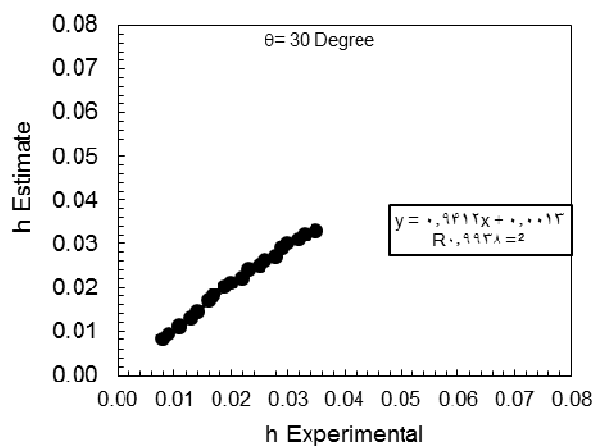
تیز ۱۵۰ درجه است. نتایج آماری نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های برآوردی از نرم افزار Flow-3D در سرریز ۳۰ درجه

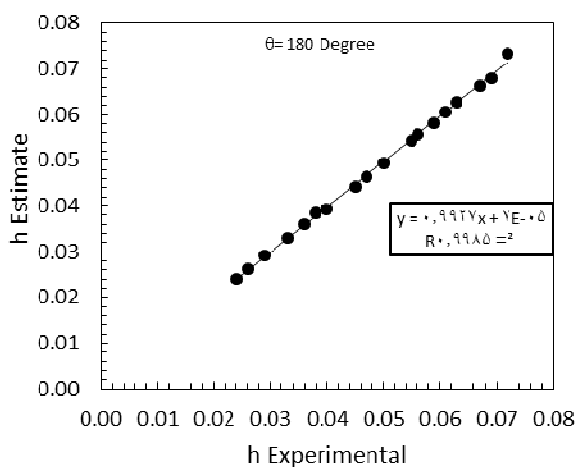


شکل ۲- شرایط اولیه و شرایط مرزی در نظر گرفته شده برای کلیه شبیه‌ها.

جدول ۳: مقایسه فراسنجهای آماری نتایج شبیه آزمایشگاهی و عددی ارتفاع آب روی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز

سرریز	MREP	R ²
سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه تیز ۳۰ درجه	۲/۷۱۵۸۱۹	۰/۹۹۳۸
سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه تیز ۶۰ درجه	۲/۴۷۱۷۱۲	۰/۹۹۳۵
سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه تیز ۱۵۰ درجه	۰/۹۰۷۶	۰/۹۹۸۸
سرریز با مقطع افقی مثلثی لبه تیز ۱۸۰ درجه	۰/۹۹۳۶۶۶	۰/۹۹۸۵



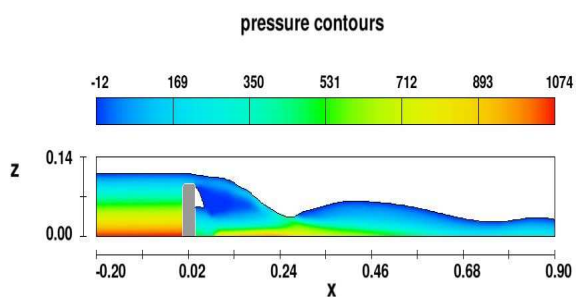


شکل ۳: نمودارهای همبستگی بین ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و شبیه عددی

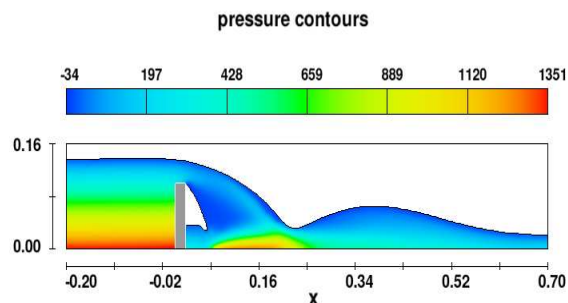
شبیه سازی توزیع فشار

متفاوت به صورت دوبعدی در شکل (۴) نمایش داده شده است. جریان در زمان ۲ ثانیه به بعد حالت پایدار می‌باشد.

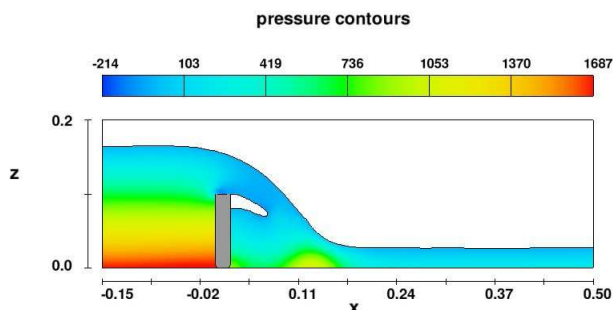
شبیه‌سازی توزیع فشار در زمان‌های مختلف و دبی‌های



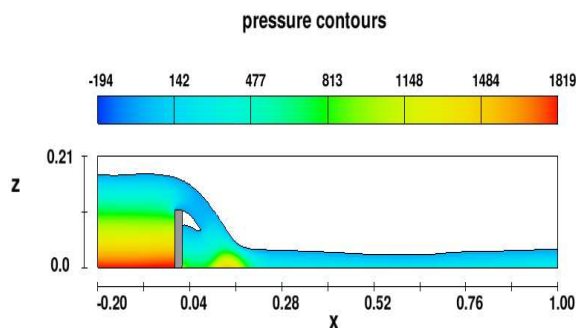
(ب) سرریز ۶۰ درجه با دبی ۰/۰۰۷۴ مترمکعب بر ثانیه



(الف) سرریز ۳۰ درجه با دبی ۰/۰۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه



(د) سرریز ۱۸۰ درجه با دبی ۰/۰۱۰۹ مترمکعب بر ثانیه



(ج) سرریز ۱۵۰ درجه با دبی ۰/۰۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه

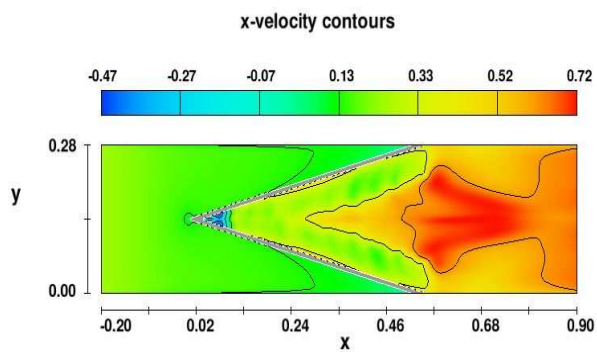
شکل ۴- توزیع فشار در دبی‌های متفاوت برای زاویه رأس مختلف به صورت دوبعدی.

می‌کند.

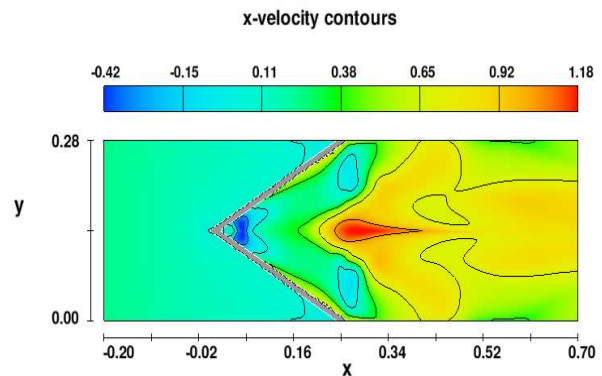
شبیه‌سازی توزیع سرعت

توزیع سرعت در سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز با دبی‌های متفاوت و زوایای رأس مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است.

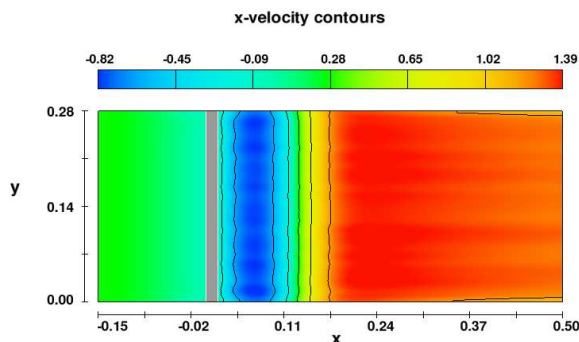
شبیه‌سازی شبیه‌ها نشان داد که با کاهش زاویه رأس سبب افزایش فشار در پایین دست سرریزها می‌شود. به علت اینکه اندازه حرکت جریان‌های ورودی در جهت عمود بر محور اصلی کانال (پایین دست سرریز) و جریان‌های جانبی ریزشی از بازوهای کناری سرریز با یکدیگر برخورد کرده و به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان خودنمایی



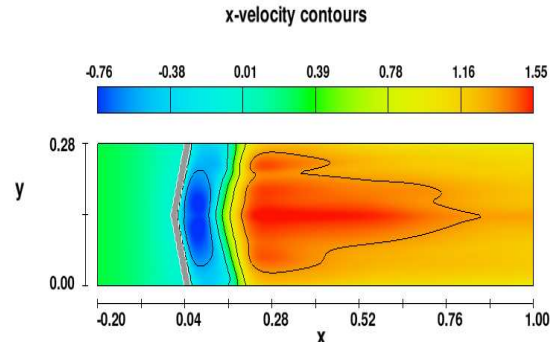
ب) سرریز ۶۰ درجه با دبی ۰/۰۷۴ مترمکعب بر ثانیه



الف) سرریز ۳۰ درجه با دبی ۰/۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه



د) سرریز ۱۸۰ درجه با دبی ۰/۰۱۰۹ مترمکعب بر ثانیه



ج) سرریز ۱۵۰ درجه با دبی ۰/۰۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه

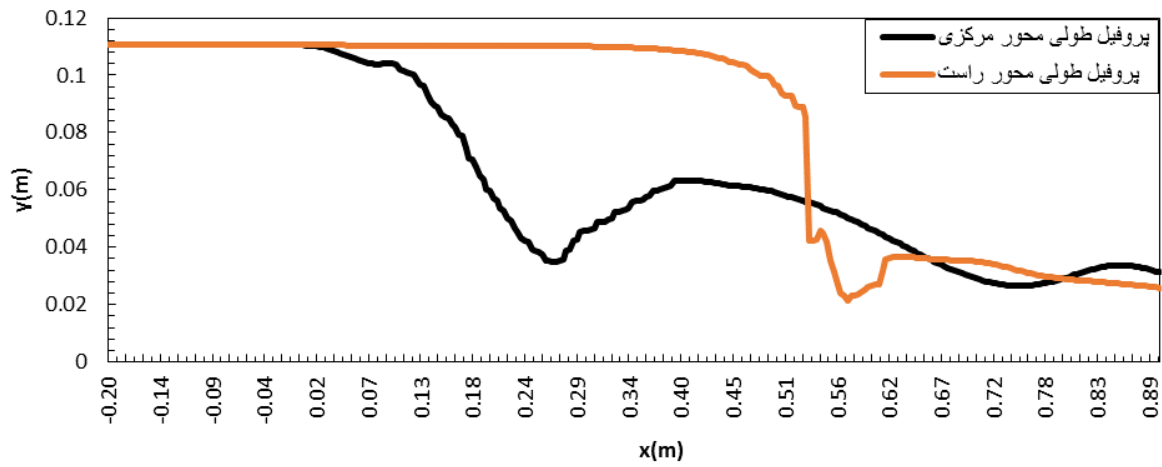
شکل ۵- توزیع سرعت در دبی‌های متفاوت برای زوایای رأس مختلف.

آب در محور مرکزی، نیم رخ طولی سطح آب در محور راست سرریزهای با مقطع افقی مثلثی را هم نشان می‌دهد. نیم رخ جریان پس از عبور از تاج سرریز به پایین دست سرریز منتقل می‌شود و در اثر تداخل با سفره‌های ریزشی جانبی، یک برآمدگی در سطح جریان در این ناحیه تشکیل می‌شود و با افزایش زاویه رأس سرریزهای با مقطع افقی مثلثی به علت اینکه تداخل با سفره‌های ریزشی جانبی کاهش می‌یابد، از برآمدگی در سطح جریان کاهش یافته و تا جایی که سرریز به صورت خطی می‌شود که دیگر برآمدگی در سطح جریان مشاهده نمی‌شود.

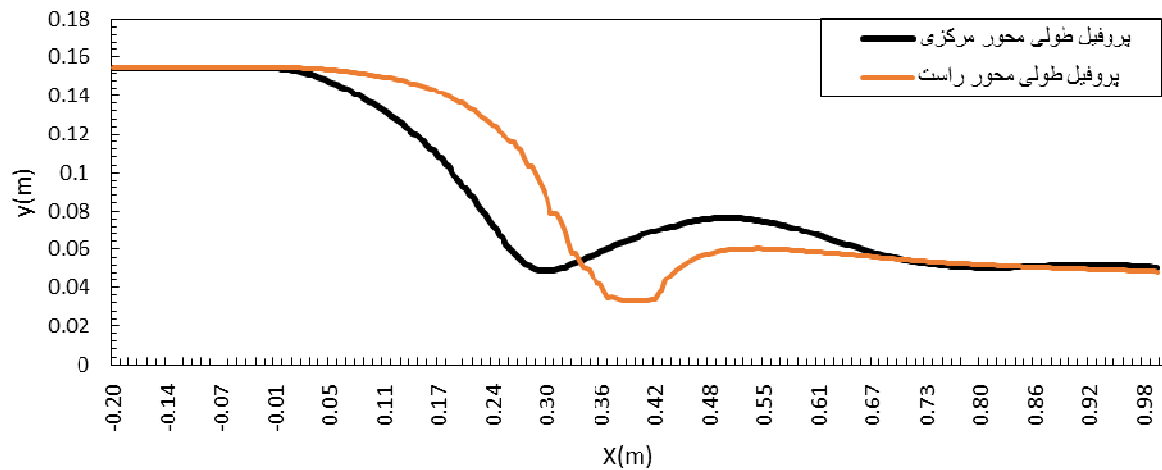
چنانچه در شکل (۵) مشاهده می‌شود، در سرریزهای با مقطع افقی مثلثی لبه تیز با افزایش زاویه رأس بر مقدار سرعت افزوده می‌شود، و با کاهش زاویه رأس به علت اینکه جریان‌های عرضی صورت می‌گیرد و تداخل جریان وجود دارد سبب کاهش سرعت در پایین دست سرریز می‌شود.

شبیه‌سازی نیم رخ طولی سطح آب

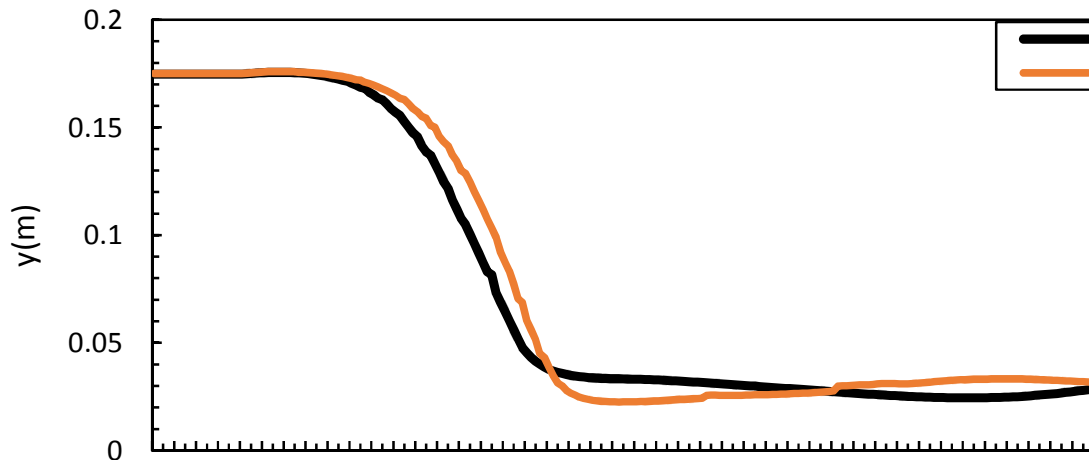
نیم رخ طولی سطح آب در سرریزهای با مقطع افقی مثلثی با زاویه رأس‌های مختلف و با دبی‌های مختلف در شکل (۶) آورده شده است. علاوه بر نشان دادن نیم رخ طولی سطح



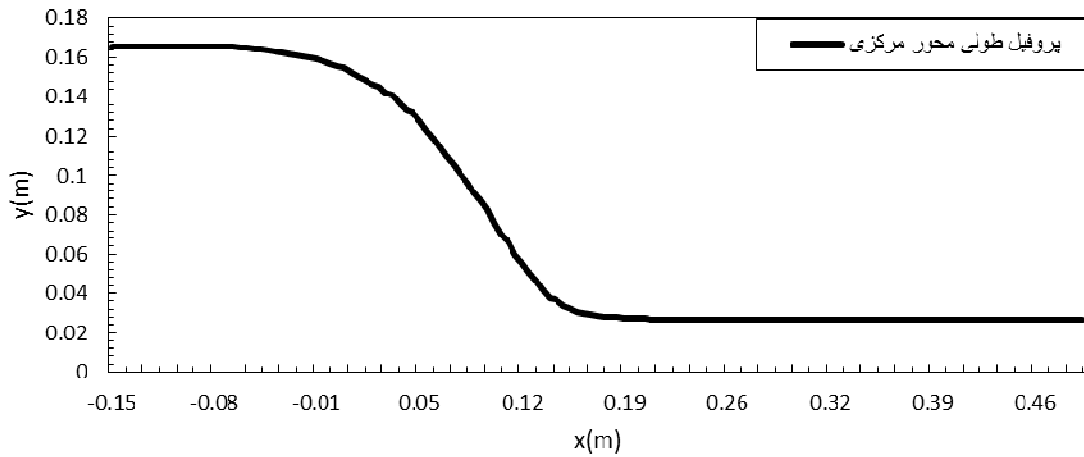
الف) نیم رخ طولی عمق جریان در سرریز با مقطع افقی مثلثی ۳۰ درجه برای دبی ۰/۰۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه



ب) نیم رخ طولی عمق جریان در سرریز با مقطع افقی مثلثی ۶۰ درجه برای دبی ۰/۰۱۲ مترمکعب بر ثانیه



ج) نیم رخ طولی عمق جریان در سرریز با مقطع افقی مثلثی ۱۵۰ درجه برای دبی ۰/۰۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه

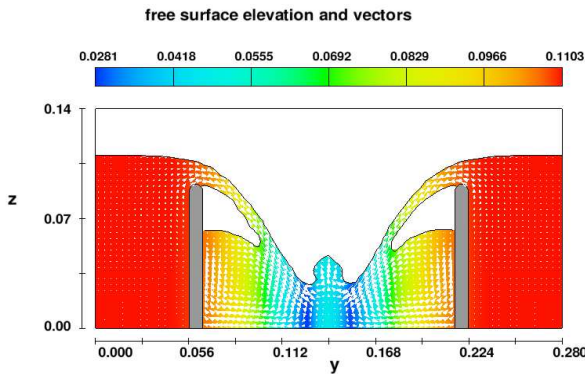


ج) نیم رخ طولی عمق جریان در سرریز مستطیلی یا ۱۸۰ درجه برای دبی ۰/۰۱۰۹ مترمکعب بر ثانیه شکل ۶- نیم رخ طولی عمق جریان در دبی‌های متفاوت برای زاویه رأس مختلف.

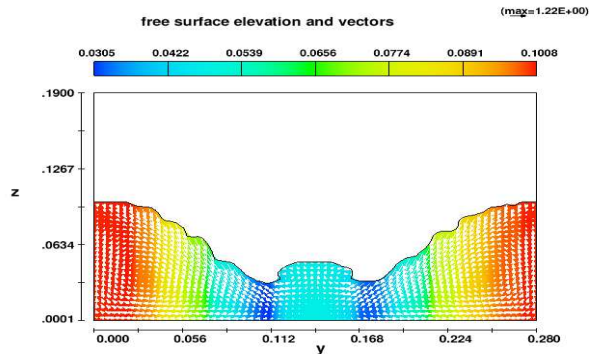
شبه‌سازی نیم رخ عرضی سطح آب

متفاوت به صورت دوبعدی در شکل (۷) نمایش داده شده است.

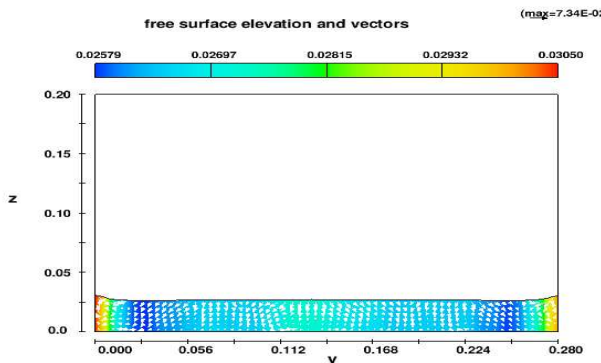
نیم رخ عرضی سطح آب در مقطع مشخص سرریزهای با مقطع افقی مثلثی با زاویه رأس مختلف و با دبی‌های



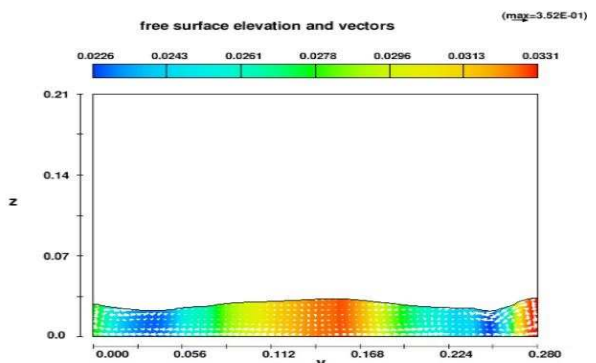
ب) سرریز ۳۰ درجه برای دبی ۰/۰۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه



الف) سرریز ۶۰ درجه با دبی ۰/۰۱۲ مترمکعب بر ثانیه



د) سرریز مستطیلی یا خطی برای دبی ۰/۰۱۰۹ مترمکعب بر ثانیه



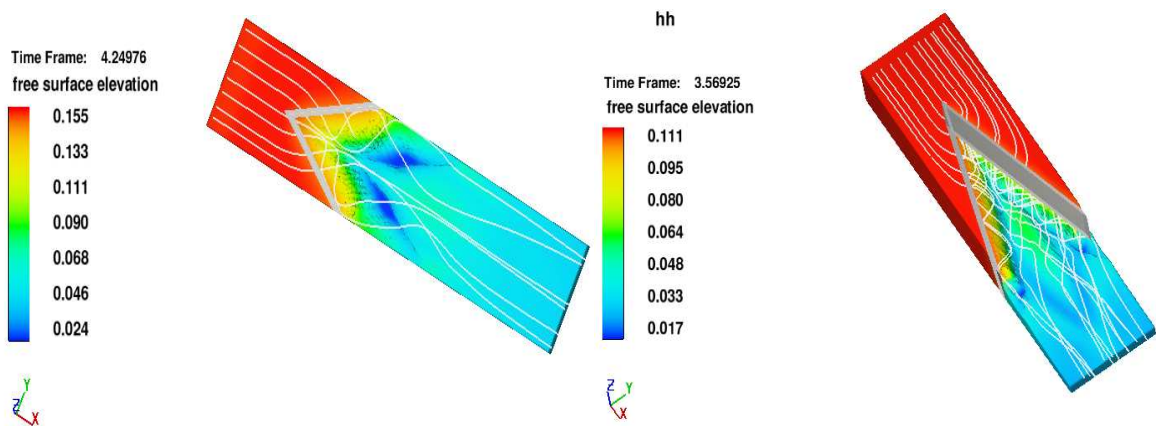
ج) سرریز ۱۵۰ درجه با دبی ۰/۰۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه

شکل ۷- نیم رخ عرضی عمق جریان در دبی‌های متفاوت برای زاویه رأس مختلف به صورت دوبعدی.

ویژگی‌های هیدرولیکی به وجود آمده برای جریان در داخل کانال جانبی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی ناشی از دو نوع جریان ورودی است، جریان اول، جریان‌های ورودی در جهت محور اصلی کانال و جریان دوم نیز جریان جانبی ریزشی از بازوهای کناری سرریز هستند. در محدوده پایین‌دست سرریز در راستای محور مرکزی کانال، یک برآمدگی در سطح جریان تشکیل می‌شود که عامل اصلی آن برخورد جریان‌های ورودی در این محدوده می‌باشد. در شکل (۸) که خطوط جریان شبیه سازی شده برخورد جریان را می‌توان مشاهده کرد.

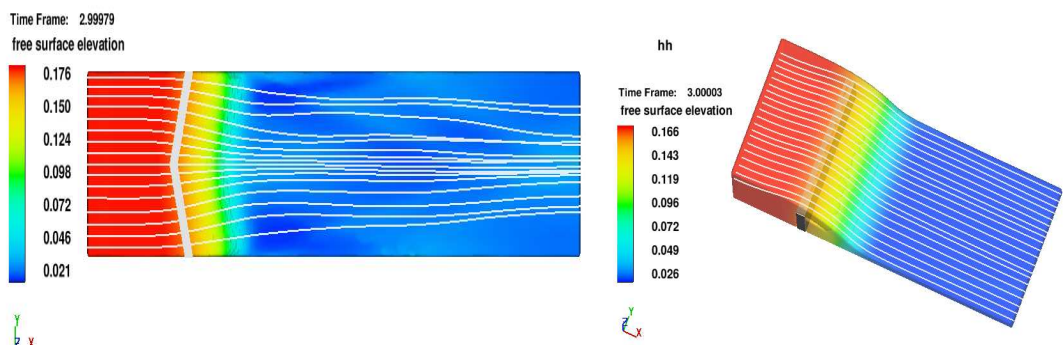
بیشترین اختلاف ارتفاع عرضی جریان بین محور مرکزی و کناره‌های پایین‌دست سرریزهای با مقطع افقی مثلثی می‌باشد که به تدریج با پیشروی در امتداد جریان این اختلاف کاهش یافته و به میزان یکسان میل می‌کند. دلیل این مسئله این است که بیشترین تداخل جریان جانبی با جریان عمودی در زاویه رأس کم اتفاق می‌افتد و با افزایش زاویه رأس از اختلاف ارتفاع جریان عرضی و تداخل جریان جانبی با جریان عمودی کاهش یافته که در پایین‌دست سرریز مستطیلی ۱۸۰ درجه یا خطی اختلاف ارتفاع جریان وجود نداشته و سطح آب یکسان می‌باشد.

الگوی جریان



ب) سرریز با مقطع افقی مثلثی ۶۰ درجه با دبی ۰/۰۱۲ مترمکعب بر ثانیه

الف) سرریز با مقطع افقی مثلثی ۳۰ درجه با دبی ۰/۰۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه



ج) سرریز مستطیلی یا ۱۸۰ درجه با دبی ۰/۰۱۰۹ مترمکعب بر ثانیه

ج) سرریز با مقطع افقی مثلثی ۱۵۰ درجه با دبی ۰/۰۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه

شکل ۸: خطوط جریان در دبی‌های متفاوت با زوایای ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه.

همان‌گونه از خطوط جریان رسم شده بر روی تاج سرریز شکل (۸) مشخص می‌باشد، جریان در زاویه رأس ۳۰ درجه دارای اغتشاشات و نامنظمی‌های فراوانی است و با افزایش زاویه رأس از اغتشاشات و نامنظمی‌ها به‌طور تدریجی کاهش می‌یابد به‌طوری که در زاویه ۱۸۰ درجه یا سرریز مستطیلی به یک حالت کاملاً پایدار و منظم رسیده است.

نتیجه‌گیری

الگوی جریان بر روی سرریزهای با مقطع افقی مثلثی با زوایای رأس ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه با استفاده از شبیه‌سازی RNG بررسی شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که این شبیه در تعیین نیم رخ سطح آب در طول آب راهه پایین‌دست سرریز از دقت مناسبی برخوردار است. شبیه‌سازی شبیه‌ها نشان داد که داده‌های ارتفاع آب برآوردی از شبیه عددی در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی دارای انطباق خوبی است. با کاهش زاویه رأس سبب افزایش فشار و کاهش سرعت در پایین‌دست سرریزها می‌شود. در بین شبیه‌های شبیه‌سازی شده سرریزهای با مقطع افقی مثلثی ۳۰، ۶۰ و ۱۵۰ درجه بیشترین فشار را نسبت به سرریز ۱۸۰ درجه یا خطی در پایین‌دست سرریز دارد. به علت اینکه اندازه حرکت جریان‌های ورودی در جهت محور اصلی آب راهه (پایین‌دست سرریز) و جریان‌های جانبی ریزشی از بازوهای کناری سرریز با یکدیگر برخورد کرده و به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان خودنمایی می‌کند. شبیه‌سازی نیم رخ طولی شبیه‌ها نشان داد که نیم رخ جریان پس از عبور از تاج سرریز به پایین‌دست سرریز در اثر تداخل با سفره‌های ریزشی جانبی، همان‌طور که از خطوط جریان هم معلوم می‌باشد یک برآمدگی در سطح جریان در این ناحیه تشکیل می‌شود و با افزایش زاویه رأس سرریزهای با مقطع افقی مثلثی به علت اینکه تداخل با سفره‌های ریزشی جانبی کاهش می‌یابد، از برآمدگی در سطح جریان کاهش یافته و تا جایی که سرریز به‌صورت خطی می‌شود که دیگر برآمدگی در سطح جریان مشاهده نمی‌شود. بیشترین اختلاف ارتفاع عرضی جریان بین محور مرکزی و کناره‌های پایین‌دست سرریزهای با مقطع افقی مثلثی می‌باشد که به تدریج با پیشروی در امتداد جریان این اختلاف کاهش یافته و به میزان یکسان

میل می‌کند. دلیل این مسئله این است که بیشترین تداخل جریان جانبی با جریان عمودی در زاویه رأس ۳۰، ۶۰ و ۱۵۰ درجه اتفاق می‌افتد و با افزایش زاویه رأس از اختلاف ارتفاع جریان عرضی و تداخل جریان جانبی با جریان عمودی کاهش یافته که در پایین‌دست سرریز مستطیلی ۱۸۰ درجه یا خطی اختلاف ارتفاع جریان وجود نداشته و سطح آب یکسان می‌باشد و سرعت به حداکثر مقدار می‌رسد.

منابع

۱. اژدری مقدم م و جعفری ندوشن ا، ۱۳۹۲. طراحی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی. مجله عمران مدرس، دوره سیزدهم. شماره ۲.
۲. تقی زاده ح، ۱۳۸۹. بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریزهای سه جانبی به وسیله شبیه‌سازی عددی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۳. حبیبی م و قربانی ح، ۱۳۹۱. تحلیل آبستگي در پایاب جریان‌های فروریزشی با مدل فیزیکی و عددی. اولین همایش ملی توسعه سواحل مگران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران.
۴. سوری ص و منصوری ع، ۱۳۹۱. مقایسه اثر شیب روی استهلاك انرژی در جریان ریزشی سرریز پلکانی یا استفاده از شبیه عددی. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۵. شجاعیان، ز. کاشفی پور، س. م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی عددی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش سد مخزنی نمود. مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۳. شماره ۲.
۶. قاسم‌زاده ف، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در Flow-3D. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۴ صفحه.
7. Bagheri s, and Heidarpour M. 2010. Application of free vortex theory to estimate discharge coefficient for sharp-crested weirs. Biosystems Eng, 105(3): 423-427.

8. Cihan Aydin M. 2011. CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir. *Advances in Engineering Software* 45: 159–166.
9. Falvey HT. 2003. *Hydraulic design of labyrinth weirs*. ASCE press.pub. Virginia, USA.
10. Hoseini S H. 2014. 3D Simulation of Flow over a Triangular Broad-Crested Weir. *J. of River. Eng. SCIJOUR*.
11. Haun, S., N. Reidar and R. Feurich. 2011. Numerical modeling of flow over trapezoidal broad-crested weir. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 5, No. 3, pp. 397-405.
12. Flow-3D® User's Manual, Version 10.0.1, Flow Science, Inc. 2011.
13. Kumar S, Ahmad Z and Mansoor T. 2011. A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. *flow measurement and instrumentation*, Elsevier, Vol.22, pp.175-180.
14. Tullis Bp, Amanian N and Woldron D, 1995. Design of labyrinth spillways. *ASCE J Hyd Eng*, 121(3):247-255.