



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال یازدهم

شماره سه

بهار ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۰۸/۲۶

صفحات: ۱۲۵-۱۴۱

شبیه‌سازی جریان آشفته دو فازی سرریزهای لولایی با شکل تاج مختلف^۱

بیژن خاتمی پور^۱، امیر خسرو جردی^{۲*}، محمدرضا کاویانپور^۳ و مجید قدسی حسن‌آباد^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
(۲) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
(۳) دانشیار گروه سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
(۴) استادیار گروه مهندسی صنایع دریایی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: khosrojerdi@srbiau.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: سرریزهای لولایی یکی از سازه‌های مهم جهت کنترل و تنظیم رقوم هیدرولیکی می‌باشند. سرریزهای آسانسوری سه لولایی در مقطع مجاری آب به صورت یک یا چند دریچه‌ای نصب می‌شوند که هر کدام دارای سیستم محرک مستقل جهت تغییر زاویه بدنه نسبت به کف کانال می‌باشند. با توجه به اینکه شرایط هیدرولیکی این نوع سرریزها به‌ویژه در حالت‌های چند دریچه‌ای و حالت‌های مختلف بازشدگی مشخص نمی‌باشد، در این تحقیق شرایط هیدرولیکی این سرریزها مورد بررسی گرفت.

روش پژوهش: در این پژوهش مدل‌سازی جریان به‌منظور تحلیل ضریب دبی سرریز و انتخاب مدل آشفتگی مناسب با استفاده از نرم‌افزار Ansys CFX و داده‌های آزمایشگاهی Wahlin و Replogle برای دبی‌ها و زوایای مختلف انجام گرفت. همچنین مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$, $k-\omega$, $RNG k-\epsilon$ استاندارد و SST مورد مقایسه قرار گرفت. با انتخاب مدل آشفتگی، شکل بهینه تاج سرریز آسانسوری در ۳ نوع شکل سرریز لبه‌تیز، دایره‌ای (لبه بالادست و پایین‌دست) و نیم‌دایره (لبه بالادست به صورت گرد گوشه) مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: مقایسه نتایج خروجی مدل نشان داد که مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد در مجموع تطابق بهتری با قرائت‌های آزمایشگاهی داشته، بطوریکه برای زوایای کم درصد خطای نسبی محاسبه شده بین ۱/۴ تا ۳/۱ درصد کمتر از بقیه مدل‌ها به‌دست آمد. با محاسبه عمق آب فلوم بالادست سرریز، خطای نسبی کمتر از ۴/۴ درصد برای مدل آشفتگی $k-\epsilon$ محاسبه گردید که تطابق بسیار خوبی را بین نتایج خروجی مدل و نتایج آزمایشگاهی نشان داد.

نتایج: محاسبه ضریب دبی در سرریزهای آسانسوری نشان داد که ضریب دبی برای سرریز با زاویه ۷۰ درجه و لبه تاج نیم‌دایره به ترتیب ۰/۷ تا ۷/۹ درصد بیشتر از سرریزهای با تاج نیم‌دایره و لبه تیز می‌باشد. این اختلاف برای سرریز با زاویه ۲۷/۸ درجه بین ۰/۴ تا ۳/۲ درصد به‌دست آمد. لذا سرریزهای با لبه تاج نیم‌دایره بیشترین ضریب آبگذری را دارا می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: انسیس CFX ، سرریز لولایی، مدل آشفتگی، شکل تاج سرریز

^۱ برگرفته از رساله دکتری



۰/۶۵ برآورد گردید. ولی تا زمان حاضر در رابطه با مقدار ضریب C تحقیقات گسترده‌ای توسط (Rehbock, 1929), (Bos, 1989) و (Sisman, 2009) برای سرریزهای لبه‌تیز قائم، زاویه‌دار با فشردگی و بدون فشردگی در شرایط مختلف انجام گرفته است. (Hulsing, 1968) نمودار دبی-اشل سرریز مستطیلی لبه‌تیز مایل ثابت هم‌عرض کانال را با نسبت شیب‌های ۳:۳، ۳:۳ و ۱:۳ (V:H) را ارائه نمود. ایشان مشخص نمود که ضریب دبی با کاهش شیب سرریز برای یک‌بار آبی ثابت (نسبت H/P مساوی)، نسبت به سرریز قائم افزایش می‌یابد. در تحقیقات انجام شده در رابطه با سرریز لبه‌تیز قائم با جریان آزاد توسط (Kindsvater and Carter, 1959) در معادله کلی سرریز با حذف اثر نیروی لزجت و کشش سطحی ارائه و به‌جای ضریب C از ضریب C_e استفاده گردید:

$$Q = C_e \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot (b + k_b) \cdot (H + k_h)^{1.5} \quad (2)$$

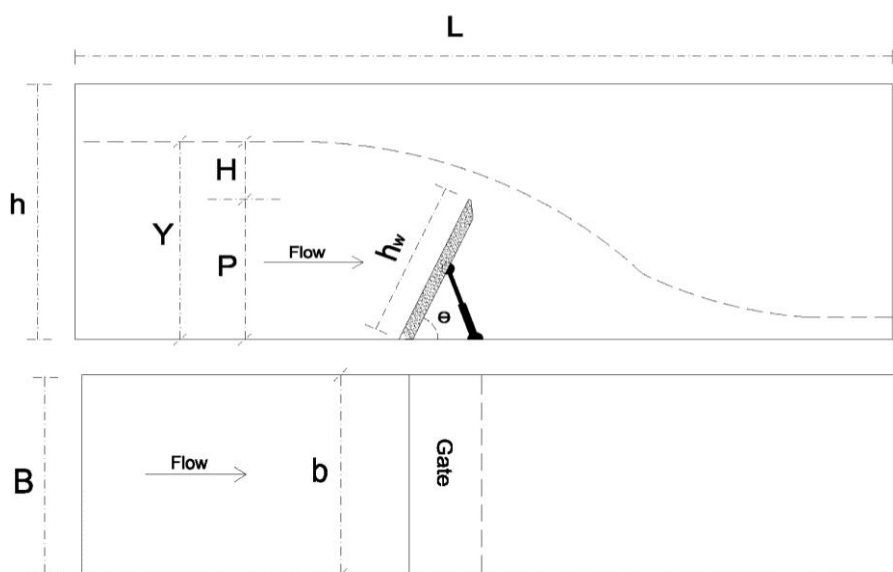
که در آن C_e ضریب دبی سرریز قائم، k_b و k_h به ترتیب فاکتورهای تصحیح بار آبی و فاکتور تصحیح طول مؤثر سرریز (متر) می‌باشند. ایشان اعلام کردند که در صورت برآورد صحیح یک ضریب دبی اصلاحی (C_a)

سرریزهای آسانسوری ۳ لولایی (3-pivot)، یکی از سرریزهای دریاچه‌ای متحرک می‌باشند. این سرریزها ترکیبی از یک صفحه، جک‌های هیدرولیکی، پایه نگه‌دارنده و سیلندرهای هیدرولیکی می‌باشند (شکل ۱). در پشت هر دریچه (gate)، سیلندرهای هیدرولیکی امکان مسدود کردن مسیر جریان در زمان آبیگیری (ذخیره آب در پشت سد) و باز کردن دریچه‌ها در زمان سیلاب را فراهم می‌کنند. ضمن اینکه به دلیل موقعیت قرارگیری جک‌ها امکان دستیابی افراد غیرمسئول به آن با دشواری انجام خواهد شد. این سرریزها قابلیت اتصال به سیستم‌های کنترل از راه دور (Remote Sensing) و قابل برنامه‌ریزی (Programmable Logic Controller) را دارا می‌باشند. امکان ساخت بدنه و تاج این سرریزها به شکل‌ها و ابعاد مختلف نیز امکان‌پذیر می‌باشد.

معادله کلی سرریز لبه‌تیز به‌صورت زیر بیان گردیده است:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^2 \quad (1)$$

که در آن، C ضریب دبی، b طول سرریز (متر)، H ارتفاع آب روی سرریز (متر) و Q دبی (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشند. برای ضریب تصحیح دبی در ابتدا مقدار



شکل ۱. پلان و پروفیل سرریز آسانسوری ۳ لولایی و موقعیت قرارگیری سیلندر

سرریز ارائه نمودند. (Gharajeh et al. 2012) تحقیقات آزمایشگاهی را بر روی سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی با فشردگی‌های جانبی مختلف انجام دادند و روابط مربوط به ضرایب دبی را ارائه نمودند. (Arvanaghi et al., 2013) تحقیقات عددی و آزمایشگاهی را بر روی ضریب دبی سرریز لبه‌تیز بدون فشردگی جانبی انجام دادند. در این مدل‌سازی از روش کنترل حجمی و مدل آشفته‌نگی RNG k-ε و نرم‌افزار Fluent استفاده گردید. نتایج مدل نشان داد که تطابق خوبی بین مدل آزمایشگاهی و عددی در پروفیل سطح آب وجود دارد. میزان خطا نیز در محدوده $\pm 5\%$ درصد اعلام گردید. (Abdolahpour et al., 2013) تحقیقاتی را بر روی سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی با وجوه شیب‌دار بالادست و پایین‌دست با نرم‌افزار Fluent انجام دادند. ایشان اعلام کردند که مدل k-ε استاندارد برای پیش‌بینی پروفیل سطح آب و برآورد ضریب دبی از دقت مناسبی برخوردار است و خطای نسبی را برای بار هیدرولیکی و ضریب دبی را به ترتیب $4/06\%$ و $6/54\%$ درصد اعلام نمودند. (Fenton, 2015) رابطه‌ای را برای مقدار C_d و استفاده از معادله کیندسواتر و کارتر ارائه نمود. در تحقیقات دیگری بر روی نوعی سرریز لولایی، (Sheikh Rezazadeh Nikou et al., 2016) روابط دبی-اشل را برای جریان آزاد ارائه نموده و با مقایسه معادلات استخراج شده با نتایج آزمایشگاهی، دقت روابط برای جریان آزاد در محدوده $\pm 15\%$ درصد به‌دست آمد. (Ahmed et al., 2018) مدل‌سازی سرریزهای جانبی کانال را با نرم‌افزار Ansys CFX انجام دادند. ایشان اعلام کردند که مدل‌های k-ε و RNG k-ε نتایج بسیار مناسبی را برای دبی‌های مختلف در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به‌دست می‌دهد. (Farzin et al., 2018) هیدرولیک جریان را روی سرریز لبه‌تیز مستطیلی با سه زاویه مختلف ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه نسبت به افق و با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی نموده و معادلاتی را برای ضریب دبی سرریز ارائه نمودند. شبیه‌سازی جریان آشفته با استفاده از

مربوط به زاویه در معادله ۲، رابطه فوق برای سرریزهای لبه‌تیز زاویه‌دار قابل استفاده می‌باشد. (Wahlin and Replogle, 1994) مطالعات آزمایشگاهی را با حمایت موسسه USBR، بر روی کانال روباز مستطیلی به طول ۱۵ متر و عرض ۱/۲۲۹ متر و برای دو سرریز لولایی به عرض‌های ۱/۲ و ۱/۱۴ متر و ارتفاع ۰/۶۱ متر (دریچه‌های Armtec) و ۰/۴۶ متر (دریچه‌های USWCL) انجام رساندند. بخشی از آزمایشات ایشان بر روی دریچه‌های Armtec برای زوایای ۱۶/۲، ۲۲/۴، ۲۸/۶، ۳۶/۴، ۴۳/۶ و ۶۲/۴ درجه و دبی‌های بین ۱۵/۷ الی ۱۷۰ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. ایشان با مقایسه و تحلیل نتایج مطالعات بر روی دو نوع سرریز لولایی با فشردگی جانبی مختلف و مقایسه داده‌های محاسبه شده با نتایج آزمایشگاهی خطای روابط ارائه شده برای جریان آزاد را ۶/۴ درصد اعلام نمودند. ضمن اینکه با کاهش زاویه تا ۴۰ درجه، ضریب دبی افزایش و سپس کاهش نشان داد. ایشان معادله دبی سرریز مستطیلی لولایی در جریان آزاد را به‌صورت رابطه زیر ارائه نمودند:

(۳)

$$Q = 2/3 \cdot C_a \cdot C_r \cdot C_e \cdot \sqrt{2g} \cdot [(H + k_h)(b + k_b) - 2A_s \cdot \cos\theta] \sqrt{H + k_h} \quad (4)$$

$$C_a = 1.0333 + 0.0038480 \cdot H - 0.0000450 \cdot H^2$$

که در آن C_a ضریب تأثیر زاویه، C_r ضریب تأثیر گردش‌دگی تاج سرریز، A_s مساحت آب‌بندها (مترمربع) و Y نیز زاویه سرریز نسبت به کف (درجه) می‌باشند. (Hargreaves et al., 2007) روش کنترل حجمی را برای جریان آزاد بر روی سرریزهای لبه‌پهن با نرم‌افزار Fluent برای مدل‌های آشفته‌نگی Standard K-ε و RNG K-ε با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار دادند. (Aydin et al., 2011) روابط دبی-اشل سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی قائم با فشردگی جزئی (partially contracted) و باریک (Slit) را برحسب نسبت فشردگی و ارتفاع مختلف

سیالات چندمنظوره و با دقت بالا می‌باشد. نتایج این تحقیق، در تحقیقات آتی اثر بازشدگی یک یا چند دریچه به‌طور هم‌زمان بر روی ضریب دبی سرریزهای چند دریچه‌ای و همچنین بررسی سازه‌ای و بررسی اندرکنش سیال و سازه استفاده خواهد شد.

لذا قابلیت‌های نرم‌افزار Ansys CFX (که در حال حاضر در خانواده نرم‌افزارهای یکپارچه Ansys قرار دارد) مورد بررسی قرار گرفت. این نرم‌افزار قادر به تحلیل مسائل چندفازی، اندرکنش سازه با سیال (FSI: Fluid Structure Interaction)، مدل‌سازی سازه‌های متحرک و دوار، طیف گسترده مدل‌های مختلف جریان آشفته، بررسی جریان‌های لزج و غیرلزج، کاویتاسیون و ... می‌باشد. همچنین امکان حل مسائل جریان به‌وسیله مش‌های ساختاریافته، مش‌های متحرک مربوط به سازه‌هایی که موجب تغییر شکل Domain جریان می‌شوند نیز وجود دارد. لذا با توجه به قابلیت‌های اشاره شده نسبت به نرم‌افزارهای مشابه و با توجه به تلفیق توانایی‌های مختلف در قالب بسته نرم‌افزاری Ansys، امکان حل عددی انواع جریان سیالات به‌ویژه بررسی اندرکنش سیال و جامد و تحلیل سازه‌ای با دقت بسیار بالا، بدون استفاده از نرم‌افزارهای جانبی دیگر وجود دارد. همچنین با توجه به اهداف اشاره شده به‌منظور تحلیل‌های هیدرولیکی و سازه‌ای در تحقیقات آتی به‌ویژه در حالت‌هایی که تعداد چند سرریز به‌طور سری در مقطع جریان وجود داشته باشد، در این تحقیق نرم‌افزار Ansys CFX مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به اهداف اشاره شده، علاوه بر بررسی کارایی نرم‌افزار Ansys CFX، مدل آشفتگی مناسب و شکل تاج سرریز به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفت. حال آنکه در مطالعات قبلی انجام شده بر روی سرریزهای لبه‌تیز موارد فوق به‌طور جداگانه و با نرم‌افزارهای مختلف انجام گرفت. ضمن اینکه بررسی اثر تاج سرریز تاکنون برای سرریزهای لبه تیز قائم انجام گرفته بود و در تحقیق حاضر اثر زاویه هم مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، با توجه

مدل‌های آشفتگی $K-\epsilon$ ، $K-\omega$ ، $K-\epsilon(RNG)$ و LES انجام گرفت. نتایج نشان داد که بهترین مدل آشفتگی برای شبیه‌سازی، مدل $K-\epsilon$ با ضریب همبستگی ۰/۹۶ می‌باشد. ضمناً مشخص گردید که سرریز با زاویه ۵۰ درجه بیشترین مقدار ضریب آبگذری معادل ۰/۷۴۷ را دارا می‌باشد. (Azimfar et al., 2018) تحقیقاتی را بر روی محاسبه ضریب دبی سرریزهای لولایی در جریان‌های آزاد و مستغرق با روش‌های تحلیلی انجام دادند. روابط ارائه شده برای هردو حالت جریان آزاد و مستغرق بر مبنای معادلات برنولی و ممنتوم انجام گرفته است. مقایسه نتایج نشان داد که روابط ارائه شده دارای پیچیدگی کمتر و دقت بالاتر است. تحقیقات فوق نشان داد که معادله ممنتوم برای جریان آزاد و مستغرق و معادله برنولی فقط برای جریان آزاد قابل کاربرد است. (Gong et al., 2019) تحقیقات آزمایشگاهی را بر روی چهار شکل مختلف تاج سرریز قائم شامل لبه‌تیز و لبه‌گرد انجام دادند. خطای حاصل از محاسبه C بین مقادیر آزمایشگاهی و روابط اشاره شده حدود ۲ درصد اعلام نمودند. نتایج آزمایشات نشان داد که گردگوشه بودن لبه بالادست تاج ضریب دبی را افزایش داده و مقدار آن نسبت مستقیمی با افزایش شعاع گردش‌دگی دارد. نتایج این تحقیقات نشان داد که برای نسبت گردش‌دگی بین ۰/۱ تا ۰/۳ و ۰/۷۵ تا ۱ ضریب آبگذری تغییر نمی‌یابد. در مورد بهینه‌سازی مکانیسم هیدرولیکی سرریزهای آسانسوری نیز (Kaixuan et al., 2021) تحقیقی را روی سه نوع سیستم بالابر انجام دادند. شرکت FRESNO در ایالات متحده آمریکا و شرکت Rubicon استرالیا نیز انواع دیگری از سرریز لولایی با امکان اتصال به سیستم‌های کنترل خودکار تولید نمودند. شرکت تحقیقات انرژی برقابی و منابع آب پکن (BIC) نیز در سال ۲۰۱۴ اقدام به ساخت سدهای آسانسوری هیدرولیکی نمود.

هدف از این تحقیق مدل‌سازی جریان عبوری از روی سرریزهای لولایی به‌منظور تعیین مدل آشفتگی مناسب و شکل بهینه تاج سرریز با استفاده از نرم‌افزارهای دینامیک

$$\rho = \alpha_A \rho_A + \alpha_W \rho_W \quad (7)$$

$$\mu_t = \rho C_u \frac{k^2}{\epsilon} \quad (8)$$

$$\mu = \alpha_A \mu_A + \alpha_W \mu_W \quad (9)$$

در رابطه‌های فوق u_i و u_j مؤلفه‌های سرعت جریان در جهات x و y ، α_A و α_W به ترتیب نسبت هوا و آب، ρ_A و ρ_W به ترتیب جرم مخصوص هوا، آب و مخلوط آب و هوا، μ و μ_t به ترتیب ویسکوزیته آشفته و ویسکوزیته مخلوط آب و هوا، μ_A و μ_W به ترتیب ویسکوزیته هوا و آب، k انرژی جنبشی جریان آشفته (Turbulent kinetic energy) و ϵ نرخ اضمحلال انرژی جریان آشفته (Turbulent dissipation rate) و C_u ضریب تجربی معادل 0.90 می‌باشد. تحلیل سیستم‌های چند فازی (شامل دو یا چند سیال غیرقابل اختلاط) با روش حجم کنترل به منظور تعیین موقعیت فصل مشترک (interface) دو فاز می‌باشد. در این روش نسبت حجمی هر فاز در هر سلول (درصد حجم اشغال شده توسط هر فاز) محاسبه می‌گردد. از این‌رو در هر حجم کنترل مجموع کسرهای حجمی در تمام فازها برابر 1 می‌باشد. کسر حجمی سیال q در یک سلول به صورت α_q نمایش داده می‌شود و سه شرط زیر برای آن وجود دارد:

- $\alpha_q = 0$: سلول خالی است.
- $\alpha_q = 1$: سلول پر از سیال q است.
- $0 < \alpha_q < 1$: سلول حاوی سطح مشترک بین سیال q و یک یا چند سیال دیگر می‌باشد.

الف) اجرای مدل برای انتخاب مدل آشفتهگی (دریچه‌های Armtec)

مشخصات هندسی مدل

ترسیم هندسه جریان شامل فلوم و سرریز کاملاً در محیط Ansys Workbench انجام گرفت. طول فلوم پس از کنترل خطوط جریان و پروفیل سطح آب 2 متر و ارتفاع

به روش ترسیمی بکار برده شده برای تعیین عمق سطح آب نهایی در کانال بالادست سرریز، میزان درصد خطای نسبی به‌طور قابل توجهی کاهش داشته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق مدل‌های آشفتهگی $k-\epsilon$ استاندارد، SST، $k-\epsilon$ RNG و $k-\omega$ استفاده گردید. ارزیابی نتایج مدل با داده‌های آزمایشگاهی (Wahlin and Replogle, 1994) بر روی سرریزهای لولایی Armtec برای جریان آزاد انجام گرفت. در گام نخست به منظور تعیین مدل آشفتهگی، اجرای برنامه برای زوایای $63/4$ و $22/4$ درجه و دبی‌های $62/22$ و $149/57$ لیتر بر ثانیه مطابق با نتایج آزمایشات مذکور انجام گرفته و در نهایت بهترین مدل آشفتهگی انتخاب گردید. سپس بر مبنای مدل آشفتهگی منتخب، تحلیل میزان دقت و کارایی نرم‌افزار برای سه زاویه حداکثر، متوسط و حداقل (به ترتیب $63/4$ ، $43/6$ و $22/4$ درجه) و دبی‌های $149/57$ ، $66/35$ ، $62/22$ ، $61/47$ و $27/92$ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. در گام دوم نیز شکل‌های مختلف تاج سرریز شامل سه نوع شکل تاج و برای 2 زاویه $27/8$ و 70 درجه و دبی 130 لیتر بر ثانیه انجام گرفت.

معادلات حاکم و رویکردهای حل مسئله

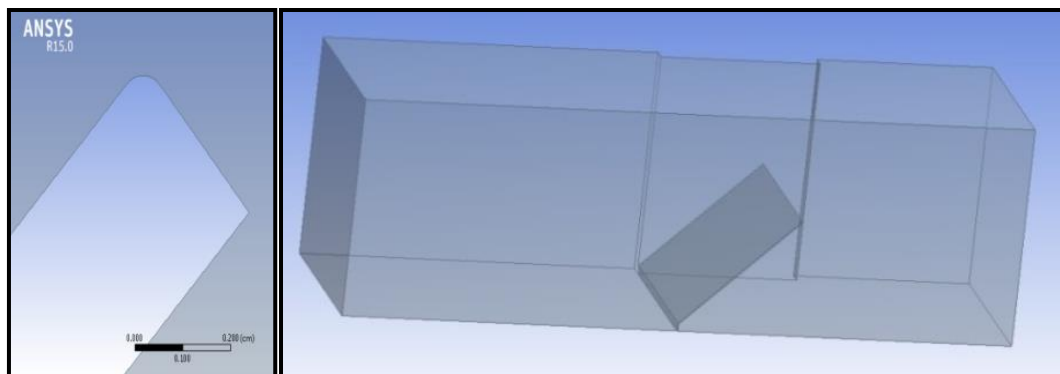
معادلات ناویر-استوکس جامع‌ترین معادلات حاکم بر حرکت سیالات می‌باشد. جریان در کانال‌ها به صورت آشفته دوفازی (آب و هوا) است. معادلات ناویر-استوکس آشفته (که پایه محاسبات در نرم‌افزارهای CFD می‌باشد) برای جریان‌های دوفازی به فرم زیر می‌باشد (Liu et al., 2002):

$$(5)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

$$(6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g$$



شکل ۲. نمایی از نیمه فلوم ترسیم شده و شکل تاج سرریز

حجم کنترل به منظور برقراری امکان تبادل آب و هوا به عنوان سطح باز تعریف گردیده است (شکل ۳). با توجه به نوع شرایط جریان از فشار نسبی صفر استفاده شده است؛ هـ) دیوار (Wall): این شرط برای سطوح جامد و محدودکننده دامنه جریان به کار گرفته می شود. به جزء سطوح مرزی مشخص شده بقیه سطوح به عنوان دیوار در نظر گرفته شد. با توجه به نوع شرایط جریان در این تحقیق از گزینه دیوار بدون لغزش استفاده شده است.

مش بندی

به منظور افزایش دقت مورد نیاز (لایه دیواره، تاج سرریز و ...) حجم و سطوح موجود به چند بخش تقسیم و برای هر بخش یک مش بندی مجزا انجام گرفت. با توجه به هندسه فلوم و سرریز برای حجم کنترل، از مش بندی شش وجهی استفاده گردید. پس از انجام تحلیل حساسیت مش بندی از مش ۳ سانتی متری در کل حجم استفاده گردید. در سطح فوقانی سرریز و لبه تاج سرریز از مش بندی ریزتر به ابعاد ۰/۷ سانتی متر استفاده شد (شکل ۴). در ابتدا به منظور دستیابی به ابعاد بهینه مش های حجمی، تحلیل حساسیت مش انجام گرفت.

تنظیمات مربوط به نوع و روش تحلیل

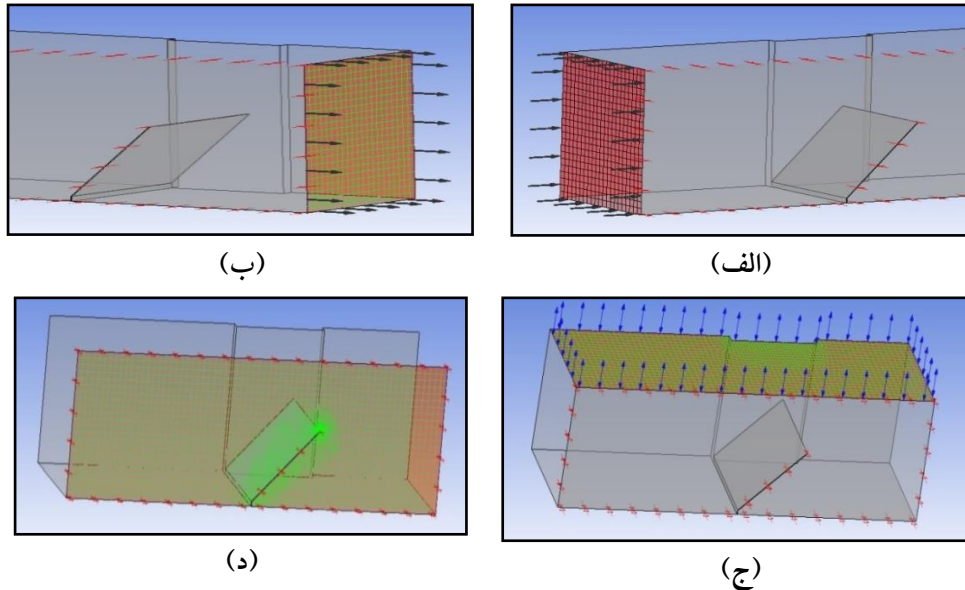
به دلیل تغییر پارامترهای هیدرولیکی جریان در طول اجرای برنامه نسبت به زمان، نوع جریان "Transient" تعیین گردید. سپس از بین مدل های آشفتگی موجود، مدل های مورد نظر انتخاب گردید. زمان کل اجرای مدل

فلوم نیز بسته به زاویه و دبی سرریز بین ۵۰ تا ۶۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. عرض فلوم و طول سرریز نیز مطابق مدل آزمایشگاهی (Wahlin and Replogle, 1994) به ترتیب ۱۲۳ و ۱۱۴ سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به متقارن بودن دامنه جریان (Domain) اجرای برنامه برای نیمی از فلوم مطابق شکل (۲) انجام گرفت. شکل تاج سرریز نیز با توجه به شعاع ۰/۰۵ سانتی متری به صورت دایره ای مطابق شکل (۲) ترسیم گردید.

شرایط مرزی

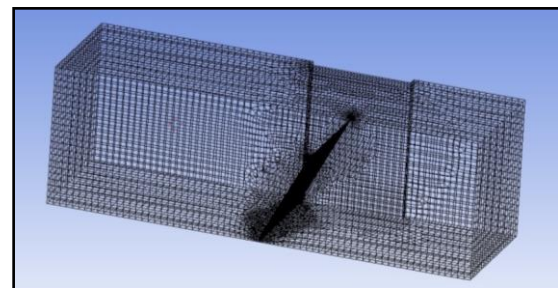
کلیه سطوح به نواحی مرزی مختلف به شرح زیر تقسیم گردید:

الف) ورودی (Inlet): مطابق شکل (۳) برای معرفی محل ورود جریان استفاده می شود. مقدار دبی برای شرط مرزی ورودی مشخص گردید؛ ب) خروجی (Outlet): محل خروج جریان را در پایین دست فلوم مطابق شکل (۳) نشان می دهد. شرایط مرزی خروجی فشار استاتیک معادل صفر در نظر گرفته شده است؛ ج) تقارن (Symmetry): بر بخش هایی از دامنه حل که تقارن هندسی و فیزیکی در آن حاکم است، اعمال می شود. با اعمال این شرط نیازی به انجام تنظیمات دیگر نمی باشد. سطح حد واصل بین دو نیمه تقارن به عنوان سطح تقارن تعریف گردیده است (شکل ۳)؛ د) سطح باز (Opening): با توجه به دو فازی بودن جریان (آب و هوا) و تغییر سطح آب و به تبع آن حجم هر دو سیال در طول اجرای برنامه، سطح بالای

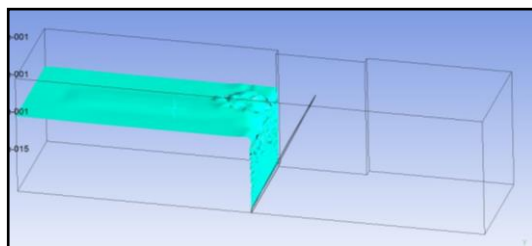


شکل ۳. موقعیت مرزهای ورودی (الف)، خروجی جریان (ب) سطح باز (ج) و مرز تقارن (د)

بخش‌هایی از جریان در حدفاصل ورودی تا لبه سرریز که همواره آب وجود دارد، مطابق شکل (۵) می‌باشد. به عبارتی کسر حجمی آب در این بازه معادل ۱ در نظر گرفته شده است. آب و هوا نیز به‌عنوان فازهای جریان (نوع سیال) انتخاب گردید.



شکل ۴. نمونه مش‌بندی انجام شده



شکل ۵. نمایی از شرط اولیه مشخص شده در مدل

پس از بررسی پروفیل سطح آب، زمان ۱۷ ثانیه در نظر گرفته شد. در زمان منظور شده نوسان سطح آب در بالادست سرریز تقریباً به صفر رسیده و جریان آب در خروجی فلوم نیز شکل گرفته بود. البته در برخی موارد که شرط فوق برقرار نبوده و سطح آب بالادست نوسان داشته، زمان اجرای برنامه تا ۱۸ ثانیه نیز افزایش داده شده است. برای گسسته‌سازی از گزینه "High resolution" که از دقت بالاتر برخوردار بوده، استفاده گردیده است.

ب) اجرای مدل برای تعیین شکل بهینه تاج (سرریزهای آسانسوری)

مشخصات هندسی مدل

اجرای برنامه برای فلوم و سرریز با مشخصات هندسی و پارامترهای هیدرولیکی مطابق جدول (۱) انجام گرفت. به‌منظور همگن بودن مدل‌سازی این دریچه‌ها با فلوم مورد استفاده توسط Wahlin و Replogle برای دریچه‌های Armtec و همچنین سهولت مدل‌سازی جریان،

شرایط اولیه

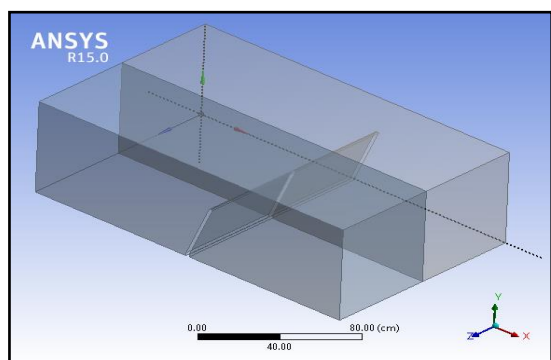
این شرایط شامل سرعت اولیه محاسبه شده (بر اساس ابعاد فلوم، مقادیر دبی و عمق آب برگرفته از نتایج آزمایشگاهی (Wahlin and Replogle, 1994) و تعیین

جدول ۱. مشخصات فلوم و سرریز و پارامترهای هیدرولیکی در پروتوتیپ

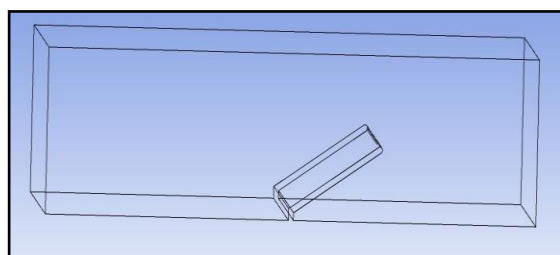
دبی (m ³ /s)	زاویه (Degree)	ابعاد سرریز (متر)			ابعاد فلوم (متر)	
		ضخامت	طول	ارتفاع	ارتفاع	عرض
Q	Y	t	B	h _w	h	B L
۱۶/۲۵	۷۰ و ۲۷/۸	۰/۱	۶	۲	۲/۵-۳/۲۵	۶ ۱۰

جدول ۲. مشخصات فلوم و سرریز و پارامترهای هیدرولیکی در مدل

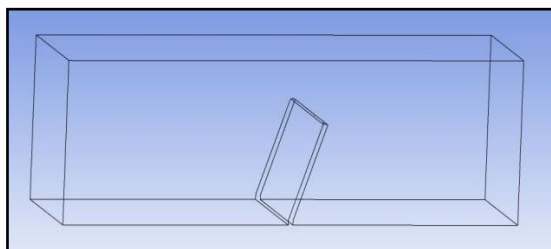
دبی (lit/s)	زاویه (Degree)	ابعاد سرریز (سانتی متر)			ابعاد فلوم (سانتی متر)	
		ضخامت	طول	ارتفاع	ارتفاع	عرض
Q	Y	t	b	h _w	h	B L
۱۳۰	۷۰ و ۲۷/۸	۲	۱۲۰	۴۰	۵۰-۶۵	۱۲۰ ۲۰۰



شکل ۶. سرریزهای آسانسوری یک دریچه‌ای و صفحه تقارن مشخص شده



(الف)



(ب)

شکل ۷. نیمه فلوم و سرریز با زوایای ۷۰ (ب) و ۲۷/۸ (د) درجه

از مقیاس طولی $\frac{1}{5} (Lr)$ برای شبیه‌سازی استفاده گردید. با توجه به توصیه کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (۱۳۸۰) به منظور اجتناب از خطای مقیاس حداقل عمق آب می‌بایست ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شود. ضمن اینکه تحقیقات انجام شده توسط (Sisman, 2009)، (Gharajeh et al. 2012) برای جلوگیری از تأثیر ویسکوزیته، ایجاد جریان چسبنده و هوادهی ضعیف حداقل عمق آب روی سرریز (H) به ترتیب ۲/۰ و ۱/۰ سانتی‌متر اعلام شد. لذا موارد فوق در انتخاب مقیاس در نظر گرفته شد. با اعمال مقیاس مشخصات هندسی و هیدرولیکی بر مبنای روابط (۱۰ و ۱۱) محاسبه و در جدول (۲) ارائه گردیده است.

$$(10)$$

$$L_r = L_m / L_p$$

$$(11)$$

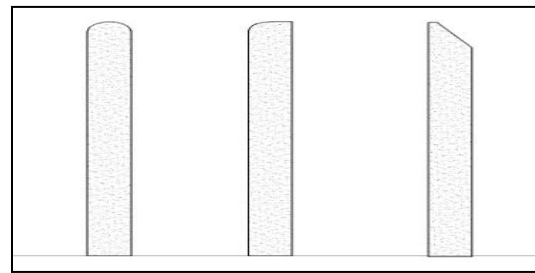
$$Q_m = L_r^3 * Q_r$$

که در آن اندیسهای p و m به ترتیب بیانگر مشخصات پروتوتیپ (prototype) و مدل می‌باشند.

با توجه به ابعاد اشاره شده ملاحظه می‌گردد که سرریز فاقد فشردگی جانبی است. با توجه به متقارن بودن دامنه جریان (شکل ۶) اجرای برنامه پس از مشخص کردن صفحه تقارن برای نیمه از فلوم (شکل ۷) انجام گرفت.

شکل تاج سرریز

در این تحقیق اجرای مدل برای ۳ نوع شکل سرریز لبه‌تیز (ضخامت ۱ سانتی‌متر با زاویه ۶۰ درجه‌ای در پایین‌دست)، دایره‌ای (لبه بالادست و پایین‌دست) و نیم‌دایره (لبه بالادست به‌صورت گردگوشه) انجام گرفت (شکل ۸).



شکل ۸. شکل‌های مختلف تاج سرریز

تنظیمات مدل

تنظیمات سرریزهای آسانسوری شامل مش‌بندی، تنظیمات حلگر، شرایط اولیه و معرفی مرزهای جریان مشابه دریچه‌های Armtec بوده و کلیه اجراها نیز بر مبنای مدل آشفته‌گی k-ε انجام گرفته است. برای مش‌بندی حجم (بدنه جریان) از مش‌های شش‌وجهی به ابعاد ۲ سانتی‌متر و برای تاج سرریز ۰/۵ سانتی‌متر استفاده گردید. زمان اجرای مدل نیز ۱۸ ثانیه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

الف) اجرای مدل برای تعیین مدل آشفته‌گی

برای این تحقیق مدل‌های آشفته‌گی K-ε استاندارد، SST، RNG K-ε و K-ω در نظر گرفته شد. برای انتخاب

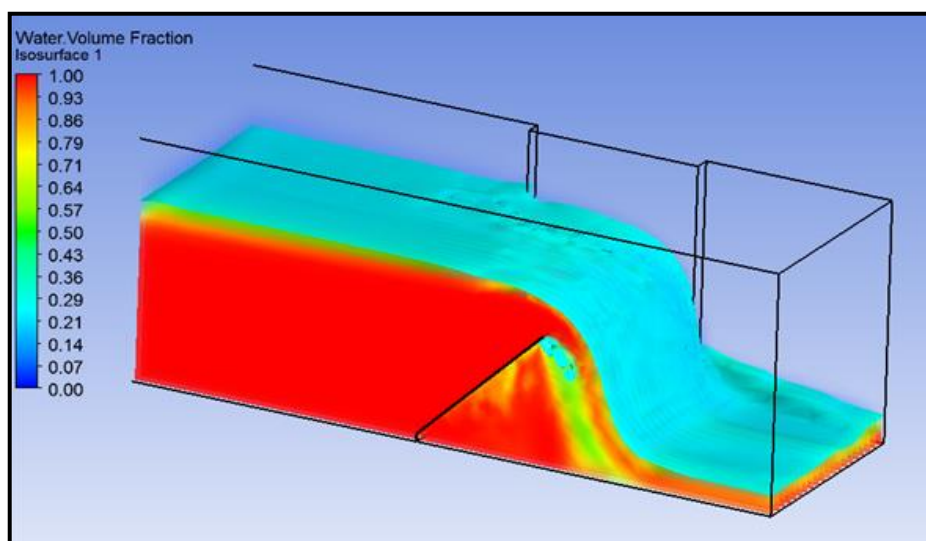
مناسب‌ترین مدل آشفته‌گی، اجرای مدل برای سرریز با زوایای ۶۳/۴ و ۲۲/۴ درجه و دبی‌های ۶۲/۲۲ و ۱۴۹/۵۷ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. نتایج خروجی نرم‌افزار در جدول (۳) ارائه گردیده است. نمونه‌ای از پروفیل سطح آب در شکل (۹) و تغییرات فشار در مجاورت سرریز در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

بررسی پروفیل سطح آب در خروجی نرم‌افزار برای کسرهای حجمی آب نشان داد که پروفیل سطح آب بالادست سرریز بازا کسر حجمی کمتر از ۰/۷۵ نوسان نداشته قرائت عمق سطح آب امکان‌پذیر می‌باشد. با افزایش کسر حجمی آب، عمق آب در کانال بالادست سرریز کاهش یافته و در نتیجه خطای محاسباتی نیز متناسب کاهش می‌یابد. لذا عمق آب در کانال بالادست برای کسر حجمی آب ۰/۷۵ در جدول (۳) ارائه گردیده است. سپس میزان درصد خطاهای مختلف بین عمق سطح آب کانال بالادست محاسبه شده توسط نرم‌افزار و نتایج آزمایشگاهی برای هریک از مدل‌های آشفته‌گی محاسبه گردیده است. در پایین‌دست سرریز همان‌طور که در شکل‌های (۹) و (۱۰) ملاحظه می‌گردد جریان متلاطم بوده و فشار در محدوده جزئی در پایین‌دست لبه سرریز منفی می‌باشد. بر اساس نتایج مدل مقدار فشار منفی بسته به زاویه سرریز بین منفی ۷۰۰ تا ۲۱۱۰ پاسکال (۰/۰۷ تا ۰/۲۲ متر آب) به‌دست آمد. مقدار فشار منفی با کاهش زاویه سرریز، کاهش داشته و از جنبه شاخص کاویتاسیون نیز در محدوده غیر خطرناک قرار گرفته است.

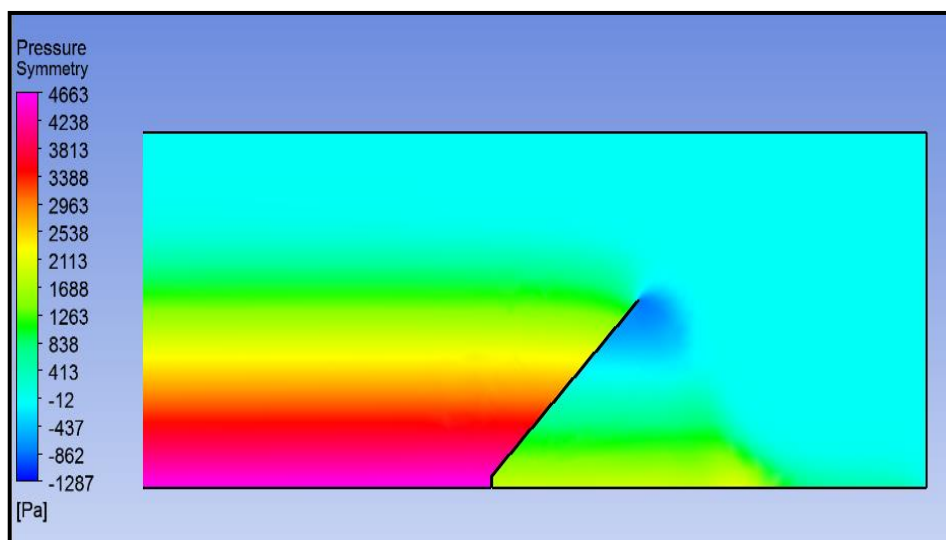
جدول ۳. مشخصات هندسی و هیدرولیکی و نتایج خروجی اجرای نرم‌افزار برای مدل‌های آشفته‌گی مختلف

مشخصات هندسی و هیدرولیکی	واحد	K-ω	Standard K-ε	RNG K-ε	SST	Standard K-ε	K-ω	SST
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
دبی	Q	لیتر بر ثانیه	۶۲/۲۲	۶۲/۲۲	۶۲/۲۲	۶۲/۲۲	۱۴۹/۵۷	۱۴۹/۵۷
زاویه سرریز	θ	درجه	۶۳/۴	۶۳/۴	۶۳/۴	۶۳/۴	۲۲/۴	۲۲/۴
ارتفاع تاج سرریز	P	سانتی‌متر	۴۳/۴	۴۳/۴	۴۳/۴	۴۳/۴	۲۰/۵	۲۰/۵
عمق آب کانال بالادست	Y _{0.75}	سانتی‌متر	۵۳/۵	۵۳/۵	۵۳/۶	۵۳/۸	۳۹/۱	۴۰/۲
	Y _{Arm}		۵۲/۳	۵۲/۳	۵۲/۳	۵۲/۳	۳۶/۳	۳۶/۳
ارتفاع آب روی سرریز	H _{0.75}	سانتی‌متر	۱۰/۱	۱۰/۱	۱۰/۲	۱۰/۴	۱۸/۶	۱۹/۷

مشخصات هندسی و هیدرولیکی	واحد	K- ω	Standard K- ϵ	RNG K- ϵ	SST	Standard K- ϵ	K- ω	SST
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
H_{Arm}		۸/۹	۸/۹	۸/۹	۸/۹	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸
نسبت ارتفاع آب به	$H/P_{0.75}$	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۳
ارتفاع سرریز	H/P_{Arm}	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷
خطای نسبی	$RE_{0.75}$	درصد	۲/۲	۲/۲	۲/۴	۲/۸	۷/۸	۱۰/۹
خطای جذر میانگین مربعات	$RMSE_{0.75}$	-	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۲/۸	۳/۹



شکل ۹. نمونه‌ای از پروفیل سطح آب و توزیع کسر حجمی آب



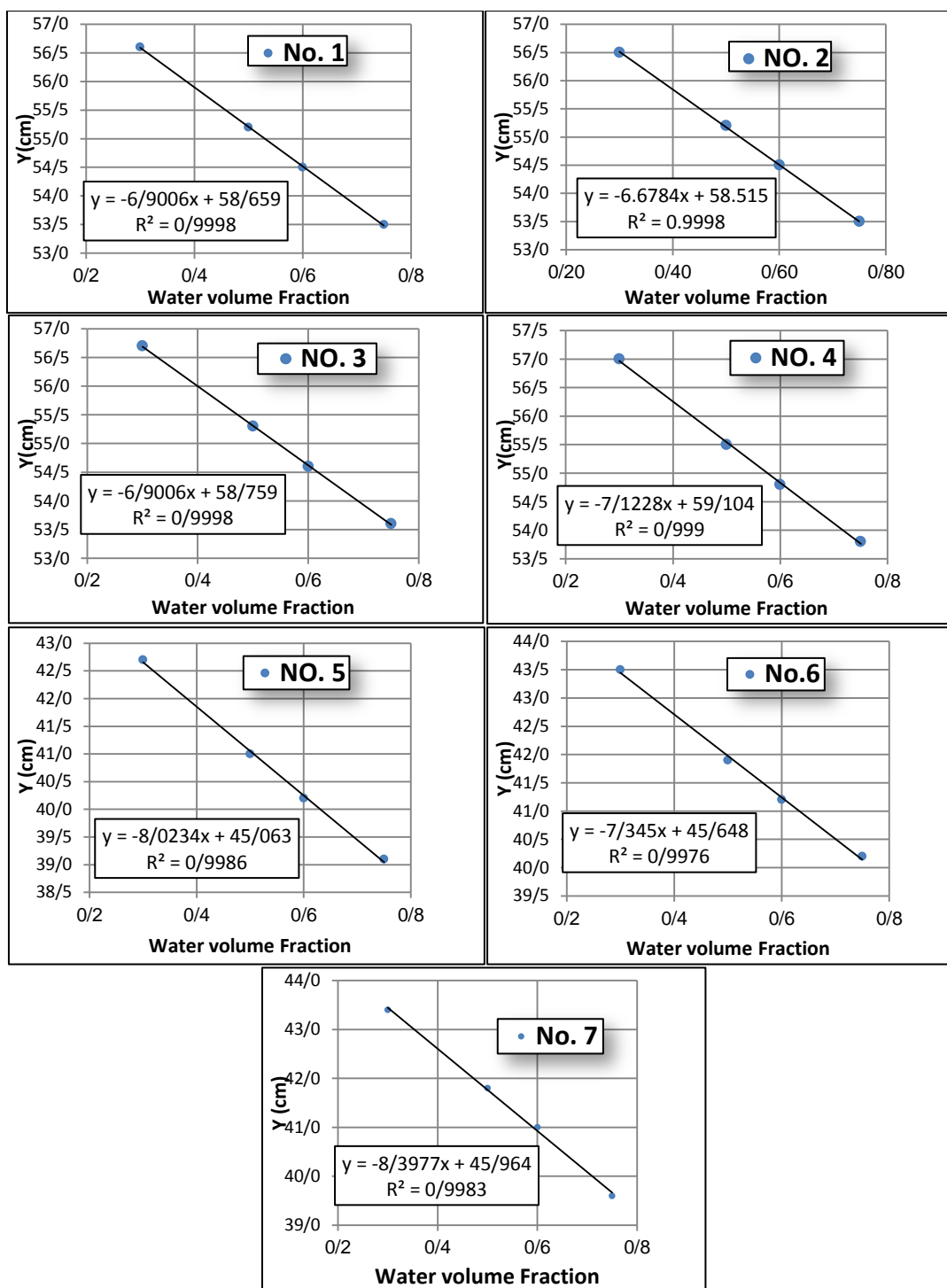
شکل ۱۰. تغییرات فشار در مجاورت سرریز

بررسی سطح آب در فلوم بالادست (روش ترسیمی) بررسی پروفیل سطح آب در خروجی نرم‌افزار برای تمام مدل‌های آشفته‌گی و دبی‌ها و زوایای مختلف نشان داد که تغییر عمق سطح آب کانال بالادست سرریز بازاء کسرهای حجمی ۰/۳ تا ۰/۷۵ دارای معادله خطی با همبستگی (R^2) بیش از ۰/۹۹ می‌باشد (شکل ۱۱). در کسرهای حجمی بیش از ۰/۷۵ سطح آب نامتقارن بوده و امکان قرائت مستقیم عمق آب فراهم نمی‌باشد. لذا در ابتدا عمق‌های مختلف سطح آب برای کسرهای حجمی آب ۰/۳، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷۵ معادلات خطی برای تعیین عمق واقعی سطح آب محاسبه و منحنی‌های (کسر حجمی - عمق آب) برای هر اجرا به‌طور مجزا ترسیم گردید. بر اساس روابط ارائه شده و تحلیل‌های انجام شده بر روی دبی و زاویه سرریز و مقایسه مدل‌های آشفته‌گی مختلف با نتایج آزمایشگاهی مشخص گردید که مطابق روند مشاهده شده برای هر مدل آشفته‌گی سطح آب واقعی مدل می‌بایست به ازاء کسر حجمی آب بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ به‌دست بیاید. لذا به‌منظور به حداقل رساندن خطای محاسباتی و رسیدن به نتایج مطلوب کسر حجمی معادل ۰/۹ انتخاب و با توجه به روابط استخراج شده عمق آب بالادست سرریز ($Y_{0.90}$) محاسبه و در جدول (۴) ارائه گردیده است.

در جدول (۳) اندیس‌های ۰/۷۵ و Arm به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر پارامترهای هیدرولیکی برای کسر حجمی آب ۰/۷۵ و داده‌های آزمایشگاهی دریچه‌های Armtec می‌باشد. به دلیل عدم همگرایی مناسب مدل آشفته‌گی RNG k-ε و نوسان زیاد سطح آب برای زاویه ۲۲/۴ درجه نتایج اجرا در جدول (۳) ارائه نشده است. مطابق جدول در سرریزهای با زاویه بزرگ‌تر (۶۳/۴ درجه) میزان خطای نسبی برای مدل‌های K-ε استاندارد، K-ω، RNG k-ε و SST بازاء کسر حجمی آب ۰/۷۵ به ترتیب ۲/۲، ۲/۲، ۲/۴ و ۲/۸ درصد و برای سرریزهای با زاویه کوچک‌تر برای مدل‌های K-ε استاندارد، K-ω و SST به ترتیب ۷/۸، ۱۰/۹ و ۹/۲ درصد محاسبه گردید. مقایسه نتایج سه مدل برای زوایای بزرگ‌تر نشان داد که بین مدل‌های مختلف اختلاف خطای محاسباتی ۰/۶ درصد (بین کمترین و بیشترین مقدار) می‌باشد که اختلاف معناداری را نشان نمی‌دهد. ولی برای سرریزهای با زاویه کوچک‌تر این اختلاف تا حدود ۳/۱ درصد افزایش یافته است. البته در تمامی این حالات خطای محاسبه شده در حد قابل قبولی بوده و نتایج خروجی نرم‌افزار با داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشته است. لذا در اجراهای بعدی برنامه مدل آشفته‌گی K-ε استاندارد که از نتایج مطلوب‌تری (برای زوایای مختلف) برخوردار بوده، مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۴. محاسبات پارامترهای هیدرولیکی برای مدل‌های آشفته‌گی مختلف

مشخصات هیدرولیکی	واحد	K-ω	Standard K-ε	RNG K-ε	SST	Standard K-ε	K-ω	SST
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
عمق آب نهایی در کانال بالادست	$Y_{0.90}$	۵۲/۴	۵۲/۵	۵۲/۵	۵۲/۷	۳۷/۸	۳۹/۰	۳۸/۴
	Y_{Arm}	۵۲/۳	۵۲/۳	۵۲/۳	۵۲/۳	۳۶/۳	۳۶/۳	۳۶/۳
ارتفاع آب روی سرریز	$H_{0.90}$	۹/۰	۹/۱	۹/۱	۹/۳	۱۷/۳	۱۸/۵	۱۷/۹
	H_{Arm}	۸/۹	۸/۹	۸/۹	۸/۹	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸
خطای نسبی	$RE_{0.90}$	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۷	۴/۴	۷/۷	۵/۹
خطای جذر میانگین مربعات	$RMSE_{0.90}$	-	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۳۶	۱/۵۸	۲/۷۸	۲/۱۵



شکل ۱۱. تغییرات عمق آب بالادست سرریز برای کسرهای حجمی مختلف

خطای کمتری برخوردار بوده و در اجراهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در جدول (۴) نیز مشاهده می‌گردد، چنانچه از روش ترسیم نمودار برای محاسبه عمق آب در کانال بالادست سرریز استفاده گردد، درصد خطای نسبی

در جدول ۴ اندیس ۰/۹ نشان‌دهنده مقادیر پارامترهای هیدرولیکی برای کسر حجمی آب ۰/۹ می‌باشد. در مجموع اجراهای انجام‌شده برای زوایای کم و زیاد سرریز، مدل آشفستگی K-ε استاندارد از دقت بالاتر و درصد

جدول ۵. مشخصات هندسی و هیدرولیکی و نتایج خروجی اجرای نرم‌افزار برای دبی‌ها و زوایای مختلف

مشخصات هندسی و هیدرولیکی	واحد	مدل آشفته‌گی					
		Standard K-ε					
		۱	۲	۳	۴	۵	
دبی	Q	لیتر بر ثانیه	۶۲/۲۲	۶۵/۳۵	۲۷/۹۲	۱۴۹/۵۷	۶۱/۴۷
زاویه سرریز	θ	درجه	۶۳/۴	۴۳/۶	۴۳/۶	۲۲/۴	۲۲/۴
ارتفاع تاج سرریز	P	سانتی‌متر	۴۳/۴	۳۴/۴	۳۴/۴	۲۰/۵	۲۰/۵
عمق آب کانال بالادست	$Y_{0.90}$	سانتی‌متر	۵۲/۵	۴۴/۳	۳۹/۷	۳۷/۸	۲۹/۶
	Y_{Arm}		۵۲/۳	۴۳/۷	۳۹/۶	۳۶/۳	۲۹/۴
ارتفاع آب روی سرریز	$H_{0.90}$	-	۹/۱	۹/۹	۵/۳	۱۷/۳	۹/۱
	H_{Arm}		۸/۹	۹/۳	۵/۲	۱۵/۸	۸/۹
نسبت ارتفاع آب به ارتفاع سرریز	$H/P_{0.90}$	سانتی‌متر	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۸۵	۰/۴۴
	H/P_{Arm}		۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۷۷	۰/۴۴
خطای نسبی	$RE_{0.90}$	درصد	۰/۳	۱/۳	۰/۲	۴/۴	۰/۶
خطای جذر میانگین مربعات	$RMSE_{0.90}$	-	۰/۱۷	۰/۵۶	۰/۰۹	۱/۵۸	۰/۱۸

مطلوب بودن نرم‌افزار فوق و همچنین تأیید مجددی بر مدل آشفته‌گی منتخب را برای ادامه تحقیقات نشان داد.

ج) انتخاب شکل بهینه تاج سرریز آسانسوری

نتایج خروجی مدل برای سرریزهای آسانسوری با شکل تاج مختلف در جدول (۶) و پروفیل سطح آب در شکل (۱۲) و توزیع فشار در شکل (۱۳) نمایش داده شده است. سپس بر مبنای مشخصات هندسی (شامل عرض فلوم، ارتفاع دریچه و زاویه سرریز) و پارامترهای هیدرولیکی خروجی مدل شامل ارتفاع آب بالادست روی تاج سرریز و دبی عبوری مقادیر ضریب سرریز محاسبه گردید. نتایج محاسبات فوق در جدول (۶) ارائه گردیده است.

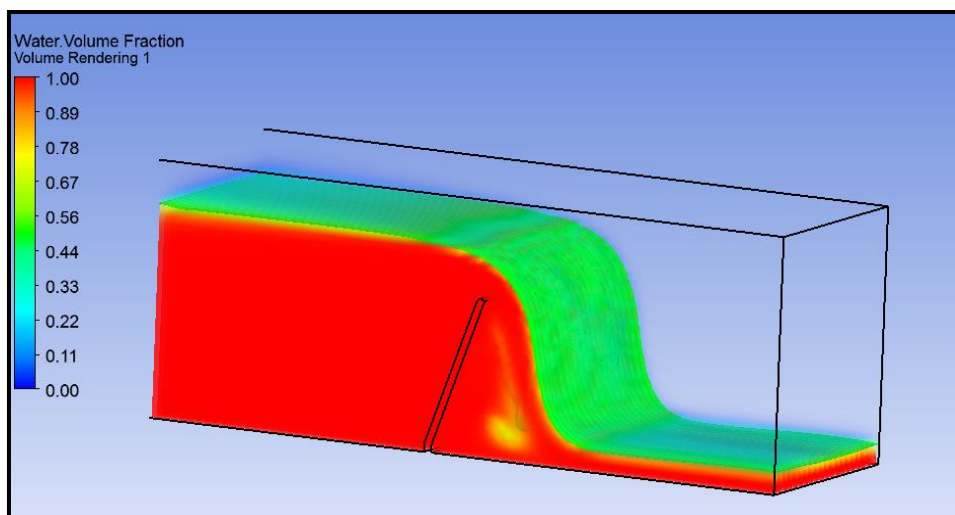
مشابه دریچه‌های Armtec بر اساس شکل (۱۳) فشار در محدوده‌ای در پایین‌دست لبه سرریز منفی بوده و بر اساس نتایج خروجی مدل مقدار فشار منفی بسته به زاویه سرریز بین منفی ۱۶۱۰ تا ۳۵۵۰ پاسکال (۰/۱۶ تا ۰/۳۶ متر آب) به دست آمد. مقدار فشار منفی با کاهش زاویه سرریز، کاهش داشته است. البته با محاسبه شاخص کلویتاسیون این مقدار فشار در محدوده مجاز می‌باشد.

کاهش قابل توجهی خواهد داشت. البته چنانچه عمق آب برای کسر حجمی ۰/۷۵ در نظر گرفته شود، نیز خطای نسبی در حد قابل قبول می‌باشد. به‌طور مثال با تغییر عمق آب در مدل K-ε از ۵۳/۵ (کسر حجمی ۰/۷۵) به ۵۲/۵ (کسر حجمی ۰/۹) درصد خطا از ۲/۲ به ۰/۳ درصد تقلیل خواهد یافت.

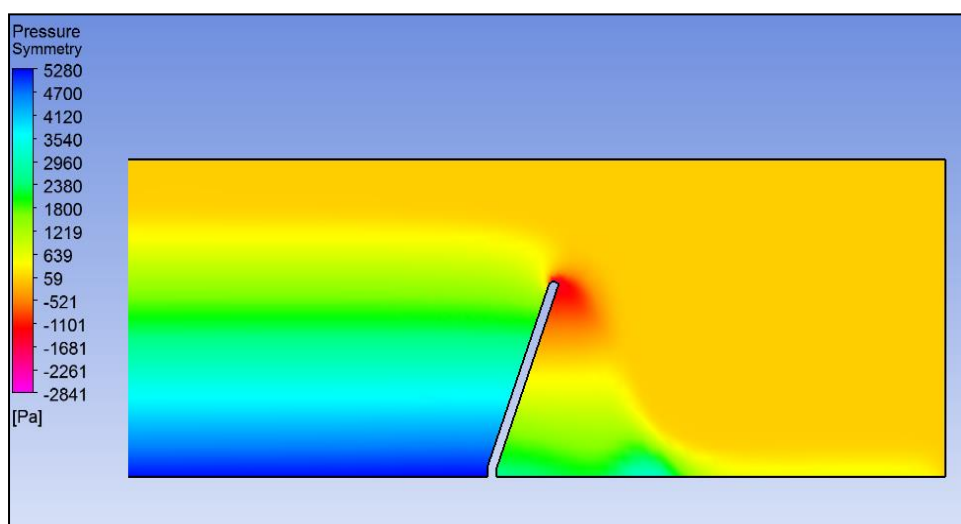
ب) اجرای مدل برای زوایا و دبی‌های مختلف جهت بررسی قابلیت و دقت نرم‌افزار

با انتخاب مدل آشفته‌گی، اجرای برنامه بر مبنای نتایج آزمایشات Wahlin و Replogle برای دبی‌های مختلف و زوایای ۶۳/۴، ۴۳/۶ و ۲۲/۴ درجه انجام گرفته و خلاصه نتایج در جدول (۵) نمایش داده شده است.

با انتخاب و اجرای مدل آشفته‌گی K-ε برای دبی‌ها و زوایای مختلف و ارائه نتایج آن در جدول (۵) مشاهده می‌گردد که میزان خطای نسبی بین نتایج خروجی مدل و نتایج آزمایشگاهی بین ۰/۲ تا ۴/۴ درصد می‌باشد که



شکل ۱۲. نمونه پروفیل سطح آب سرریز با زاویه ۷۰ درجه



شکل ۱۳. تغییرات فشار در مجاورت سرریز

جدول ۶. مشخصات هندسی و هیدرولیکی و نتایج خروجی اجرای نرم افزار برای شکل های مختلف تاج سرریز

مشخصات هندسی و هیدرولیکی	واحد	تعداد اجرای مدل					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
شکل تاج سرریز	-	نیم دایره	دایره	لبه تیز	نیم دایره	دایره	لبه تیز
دبی	Q	لیتر بر ثانیه	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
زاویه سرریز	θ	درجه	۷۰	۷۰	۷۰	۲۷/۸	۲۷/۸
ارتفاع تاج سرریز	P	سانتی متر	۳۹/۹	۳۹/۹	۴۰/۲	۲۲/۷	۲۲/۷
عمق آب کانال بالادست	Y	سانتی متر	۵۷/۰	۵۷/۱	۵۸/۲	۳۹/۸	۳۹/۹
ارتفاع آب روی سرریز	H	سانتی متر	۱۷/۱	۱۷/۲	۱۸/۰	۱۷/۱	۱۷/۲
نسبت ارتفاع آب به ارتفاع سرریز	H/P	-	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۷۶	۰/۷۶
ضریب دبی سرریز	C	-	۰/۵۱۹	۰/۵۱۵	۰/۴۸۱	۰/۵۱۷	۰/۵۱۵

خطا بین ۰/۲ و ۴/۴ درصد به دست آمده که کاهش قابل توجهی را نشان داده و بیانگر مطلوب بودن نرم‌افزار Ansys CFX و مدل آشفته‌گی منتخب برای ادامه تحقیقات می‌باشد. تحقیقات انجام شده قبلی نیز مؤید مدل آشفته‌گی منتخب بوده، ولی با توجه به روش ترسیم‌ی اعلام شده میزان خطای نسبی و یا خطای جذر میانگین مربعات (در بالاترین مقادیر آن) در این تحقیق کاهش بسیار خوبی را نشان داد.

در ادامه سه شکل تاج سرریز مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. با محاسبه ضریب دبی بازا دبی و زاویه یکسان مشاهده گردید که ضریب دبی سرریز با لبه تاج نیم‌دایره (گردگوشه در بالادست) به ترتیب ۰/۷ تا ۷/۹ درصد بیشتر از سرریزهای با تاج نیم‌دایره و لبه‌تیز برای زاویه ۷۰ درجه و ۰/۴ تا ۳/۲ درصد برای زاویه ۲۷/۸ درجه به دست آمد. در مطالعات انجام شده قبلی تغییر شکل تاج سرریز برای سرریز قائم در نظر گرفته شده بود و نتایج آن نیز نشان داد که گردگوشه بودن لبه بالادست تاج ضریب دبی را افزایش داده و با افزایش شعاع گردشدگی افزایش می‌یابد. در این تحقیق شکل تاج برای سرریزهای زاویه‌دار بررسی گردید.

با توجه به کاربرد این سرریزها (در شبکه‌های آبیاری و رودخانه‌ها) و تنوع ساخت آنها لازم است تحقیقات تکمیلی سازه‌ای بر روی بدنه سرریز و جک‌های هیدرولیکی آن و همچنین سیستم‌های کنترل از راه دور برای حالت‌های یک یا چند دریچه‌ای انجام پذیرد.

Reference:

- Abdolahpour, M., Abbaspour A., hasanpour N. and Salmasi F. 2013. Numerical Simulation of Flow over Rectangular Broad-crested Weir with Upstream and Downstream Side Slopes Using Fluent Model. 9th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University.
- Ahmed S. and Aziz W. 2018 Numerical Modeling of Flow in Side Channel Spillway Using ANSYS-CFX. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 30(s1), doi: 10.21271/zjpas.30.s1.10
- Arvanaghi, H. and Oskuei, N. 2013. Sharp-Crested Weir Discharge Coefficient. Journal of Civil Engineering and Urbanism, 3(3): 87-91.
- Aydin, I., Altan-Sakarya, A. B. and Sisman, C. 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 22(2):144-151. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.01.003>
- Azimfar, S. M., Hosseini, S. A., & Khosrojerrdi, A. (2018). Derivation of discharge coefficient of a pivot weir under free and submergence flow conditions. Flow Measurement and Instrumentation, 59, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.010>
- Bos, MG. 1989 Discharge Measurement Structures. Third revised edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, the Netherlands.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، اجرای برنامه بازا دو دبی و زاویه سرریز انجام گرفته است. بر مبنای نتایج به دست آمده، عمق آب در کانال بالادست سرریز بین سرریزهای با شکل تاج دایره‌ای و نیم‌دایره‌ای تفاوتی معادل حدود ۱ میلی‌متر را برای هر دو زاویه ۷۰ و ۲۷/۸ درجه را نشان داد. این در حالی است که اختلاف عمق آب در کانال بالادست بین سرریزهای نیم‌دایره و لبه‌تیز ۱۲ و ۷ میلی‌متر به ترتیب برای زوایای ۷۰ و ۲۷/۸ درجه به دست آمد. ضرایب سرریز محاسبه شده در جدول (۶) نشان داد که ضرایب دبی سرریز در حالت تاج دایره‌ای و نیم‌دایره بیش از سرریز لبه‌تیز محاسبه گردیده، ضمن اینکه بین سرریزهای تاج دایره‌ای و نیم‌دایره‌ای تفاوت معناداری وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

مدل آشفته‌گی K-ε استاندارد در مقایسه با SST, K-ω و RNG k-ε از نتایج مطلوب‌تر و درصد خطای کمتری (بین ۲/۲ و ۷/۸ درصد) برای زوایای مختلف سرریز برخوردار می‌باشد. لذا با توجه به کاربرد سرریزها با چند دریچه متوالی در مقطع جریان و استفاده از ترکیب زوایای مختلف، در اجراهای بعدی برنامه از مدل K-ε استاندارد استفاده گردید.

در ادامه عمق آب در فلولم بالادست سرریز از روش ترسیم نمودار محاسبه گردیده و درصد خطای نسبی محاسبه شده مجدداً محاسبه گردید. در این حالت درصد

- Farzin, S., Karami, H. and Yahyavi F. 2018 Numerical Study of Hydraulic Characteristics Around the Vertical and Diagonal Sharp-Crested Weirs Using FLOW3D Simulation. *Journal of Civil Infrastructure Researches*, 4(1): 15-24. doi: <https://dx.doi.org/10.22091/cer.2017.1661.1068>
- Fenton, J. D. 2015. Calculating flow over rectangular sharp-edged weirs. *Alternative Hydraulics Paper 6*, 1–14. <http://johndfenton.com/Papers/Calculating-flow-over-rectangular-sharp-edged-weirs.pdf>
- Gharahjeh, S., Aydin, I. and Altan Sakarya A. B. 2012. Discharge Formula for Sharp-Crested Rectangular Weirs. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Gong, J., Deng, J. and Wei, W. 2019. Discharge coefficient of a round-crested weir. *Water (Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/w11061206>
- Hargreaves, D. M., Morvan, H. P. and Wright, N. G. 2007. Validation of the Volume of Fluid Method for Free Surface Calculation: The Broad-Crested Weir. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 1(2): 136–146. <https://doi.org/10.1080/19942060.2007.11015188>
- Hulsing, H. 1968. Measurement of peak discharge at dams by indirect method. USBR, Chapter A5, Book 3, Applications of hydraulics.
- Kaixuan, L., Yehan, G., Zhan, W. and Yongsheng, Y. 2021. Research and Calculation on the Optimization of Hydraulic Lifting Mechanism for New Steel Gate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 643, 012136. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/643/1/012136>
- Kindsvater, C.E., and Carter, R. W. (1959). "Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs." ASCE., Vol. 124, Issue 1, p. 772-822.0
- Liu, C., Huhe, A. and Ma, W. 2002. Numerical and experimental investigation of flow over a semicircular weir. *Acta Mechanica Sinica/Lixue Xuebao*, 18(6): 594–602. <https://doi.org/10.1007/bf02487961>
- Niksefat, GH. 2001. Theoretical aspects and application of hydraulic models in hydraulic structures designing. Ministry of Energy of the Islamic Republic of Iran, The Iranian National Committee on Large Dams (IRCOLD) [in Persian]
- Rehbock, T. 1929 Discussion of Precise Weir measurements. By Turner, K.B, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 93(1): 1143-1162, <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0004045>
- Sheikh Rezazadeh Nikou, N., Monem, M. J. and Safavi, K. 2016. Extraction of the Flow Rate Equation under Free and Submerged Flow Conditions in Pivot Weirs with Different Side Contractions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(8), 04016025. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001027](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001027)
- Sisman, HC. 2009. Experimental Investigation on Sharp-Crested Rectangular Weirs. M.Sc.Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara (Turkey).
- Wahlin, B. T. and Replogle, J. A. 1994. Flow Measurement Using an Overshot Gate. U.S. Dept. of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, (1425).



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation**
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 11
No. 3
Spring 2022**

Received:
2021-01-23

Accepted:
2021-04-21

Pages: 125-141

Simulation of Two-Phase Turbulent Flow of Pivot Weirs with Different Crest Shapes

Bijan Khatamipour¹, Amir Khosrojerdi^{2*}, Mohammad Reza Kavianpour³
and Majid Ghodsi Hassanabad⁴

1) PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2) Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3) Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

4) Assistant professor, Department of Marine Industry Engineering, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* Corresponding author email: khosrojerdi@srbiau.ac.ir

Abstract

Background and Aim: Pivot weirs are one of the most important structures to control and regulate the water level. Three-Pivot elevator weirs can be installed as one or more gates in a row in the waterways. Each of them has an independent hoist system to change the weir angle relative to the bed. The hydraulic conditions of this type of weirs (especially in multi-gates and different angles) are not studied. Therefore, the hydraulic conditions of these weirs were investigated.

Method: In this study, flow modeling was performed to analyze the weir discharge coefficient and select the appropriate turbulence model using Ansys CFX software. The model was evaluated using Wahlin and Rople experimental data for different angles and discharges. Also, RNG K- ϵ , K- ω , standard k- ϵ and SST turbulent model were compared. By determining the turbulence model, the optimal shape of the crest was studied in 3 types: Sharp, circular (upstream and downstream of crest edge in round shape) and semicircular (upstream of crest edge in a round shape).

Results: Comparison of the model output results for different turbulence models showed that the standard k- ϵ turbulence model is generally more consistent with laboratory readings so that for low angles the relative error calculated was between 1.4 to 3.1% less than the other models. Relative error between was calculated to be less than 4.4%, which showed a very good agreement between the model output and laboratory results.

Conclusion: The results of calculating the discharge coefficient in elevator weirs showed that the discharge coefficient for weirs with an angle of 70 degrees and the semicircular crest are 0.7 to 7.9 percent higher than the weirs with circular and sharp-crested weirs, respectively. Similarly, the increase of discharge coefficient for weirs with an angle of 27.8 degrees was obtained between 0.4 to 3.2 percent. Therefore, weirs with semicircular crest edges have the highest discharge coefficient.

Keywords: Ansys CFX; Pivot Weir; Turbulence model; weir crest shape

