شبیه سازی جریان در سرریزهای استوانهای با استفاده از مدل Fluent و

مقايسه نتايج با مدل فيزيكي

پیمان ور جاوند¹، داود فرسادیزاده^{2*}، پیام خسروینیا¹، زهرا رفیعی³

تاریخ دریافت: 87/11/19 تاریخ پذیرش: 88/3/17 1-دانشجویان سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز 2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز 3- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه مازندران *مسئول مکاتبه E-mail: <u>Farsadi d@yahoo.com</u>

چکيده

سرریز استوانه ای یکی از انواع سرریزهای لبه پهن بوده، که بدلیل الگوی جریان پایدار و سهولت عبور اجسام معلق دارای کاربرد گسترده ای میباشد. در تحقیق حاضر وضعیت جریان بر روی پنج مدل فیزیکی سرریز استوانه ای مورد آزمون قرار گرفت و تاثیر پارامتره ای قطر سرریز، بار هیدرولیکی در بالادست و فشار منفی روی سطح سرریز بر روی مشخصه های جریان بررسی شد. همچنین جریان بر روی سرریز استوانه ای با استفاده از مدل Fluent و کاربرد مدل آشفتگی *n*-*k* شبیه سازی و نتایج آن با مدل فیزیکی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که ضریب دبی با افزایش بار کل آب در بالادست و افزایش فشار منفی بر روی سطح سرریز، افزایش می ابد. همچنین میانگین خطای نسبی مدل Fluent در شبیه سازی عمق آب بالادست سرریز ۱۹۱۴ درصد، عمق آب بر روی سرریز ۱۳۹۹ درصد و ضریب دبی جریان ۲/۱۷۲ درصد بدست آمد. تطابق خوبی بین مدل Fluent و مدل فیزیکی در بررسی مشخصه های هردرولیکی جریان در سرریزه ای استوانه ای حاصل شد.

واژههای کلیدی: سرریز استوانهای، ضریب دبی، فلوئنت، مدل آشفتگی k – e، مدل حجم سیال

Simulation of Flow Over Cylindrical Weirs Using Fluent Model and Comparison with Experimental Data

P Varjavand¹, D Farsadizadeh^{2*}, P Khosravinia¹, Z Rafieey³

Received: 7 February 2009 Accepted: 7 June 2009 ¹Former MSc Students, Dept. of Water Engine. Univ. of Tabriz, Iran ²Assist. Prof., Dept. of Water Engin. Univ. of Tabriz, Iran ³MSc Student, Dept. of Water Engine. Univ. of Mazandaran, Iran ^{*}Corresponding author: <u>E-mail:Farsadi_d@yahoo.com</u>

Abstract

Cylindrical weir is one of the broad-crested weirs used extensively due to steady state flow pattern and free passing of suspended materials over it. In this study, flow conditions over five physical models of cylindrical weir were tested and the effects of parameters such as weir diameter, hydraulic head at the upstream side and negative pressure on the weir were investigated. The flow was also simulated using k - e turbulence model by Fluent software and the results were compared with those from the physical model. There was a rise in coefficient of discharge when the total head of flow and negative pressure over the weir were increased. The average relative errors of Fluent software in simulation of upstream flow depth, depth of flow over the weir and coefficient of discharge were 0.914%, 1.39% and 4.172%, respectively. By considering the hydraulic properties of flow over the cylindrical weir, a good agreement between the results of Fluent software and physical model was confirmed.

Keywords: Coefficient of discharge, Cylindrical weir, Fluent, k - e Turbulence model, VOF.

به دلیل سادگی و هزینه ساخت در سیستمهای توزیع و انتقال آب کاربرد زیادی در اندازهگیری جریان و تنظیم سطح آب دارند بررسی تغییرات ضریب دبی و عوامل موثر بر آن در سرریزهای استوانهای، به دلیل انحنای زیاد خطوط جریان بر روی این سرریزها، در طراحی و کاربرد این سازهها اهمیت زیادی دارد.

براساس مطالعات بازین طی قرن ۱۹ پیشرفتهایی برای بهبود ظرفیت دبی این سرریزها صورت گرفت که در نهایت منجر به طراحی سرریزهای تاج دایرهای شد. کریگر (۱۹۱۷) مطالعات بازین را برای شناسایی پروفیل سرریز اوجی توسعه داد. او همچنین آزمایشاتی در مورد پروفیل سرریزهای تاج دایرهای انجام داد که بعدا مقدمه

سرریزها یکی از سازه های هیدرولیکی با اهمیت هستند که امکان خروج سیلابهای اضافه بر ظرفیت در سدها و همچنین اندازه گیری و کنترل جریان در کانال ها را میسر میسازند. سرریزهای استوانهای ^۱ یکی از انواع سرریزها است که کاربرد وسیعی در مهندسی هیدرولیک به عنوان سازه تخلیه آب داشته و برای کنترل سطح آب در کانال ها مورد استفاده قرار می گیرند. سرریزهای استوانه ای به طور گسترده در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم قبل از ساخته شدن سرریزهای اوجی به کار می-رفتند (رامامورتی ۱۹۹۳). امروزه سرریزهای استوانهای

¹ Cylindrical weir

در طراحی سد پانت' دربورگوندی^۲ فرانسه به کـار بـرده شد (سویج و جانسون ۲۰۰۱).

مطالعات انجام یافته بر روی تاثیر مکش و هوادهی تیغه ریزش آب در این نوع سرریز انجام دادند. نتایج نشان داد که مکش تیغه ریزشی آب مانع جدایی جریان شده و ضریب دبی را ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می دهد (رامامورتی و وو ۱۹۹۳).

چان سون و مونتس (۱۹۹۸) آزمای شاتی در سرریزهای استوانهای با ۸ قطر مختلف و ۵ شرایط متفاوت در بالادست به منظور بررسی ضریب دبی انجام دادند. نتایج نشان داد که تغییر شیب بالادست تاثیری در ضریب دبی ندارد ولی سایر شرایط بررسی شده ضریب دبی را به شدت تحت تاثیر می دهد

حیدرپور و همکاران (۱۳۸۱) با به کارگیری تابع جریان در اطراف یک استوانه، توزیع سرعت روی تاج را تعیین و یک مدل ریاضی برای تعیین ضریب جریان در سرریزهای تاجدایرهای ارائه دادند. آنها نیمرخ توزیع سرعت و مدل ریاضی ضریب جریان را با استفاده از دادههای آزمایشگاهی به دست آمده از مدل فیزیکی سرریزهای استوانهای، نیماستوانهای و نیماستوانهای با ارتفاعات مختلف ارزیابی نمودند.

لییو و هوهی (۲۰۰۲) سرریز تاج دایره ای را بصورت دو بعدی مدل کردند. آنها بازه انجام محاسبات را 50D و 2.2D درنظر گرفتند که D قطر سرریز است. روش حل عددی معادلات، روش حجم کنترل بوده و برای شبیه سازی جریان چند فازی از روش حجم سیال^۲ و مدل بازسازی هندسی³ استفاده کردند. برای تحلیل جریان آشفته از مدل k-e استاندارد استفاده شد و نتایج عدی با مدل فیزیکی تطابق خوبی نشان داد.

درگاهی (۲۰۰۴) سرریز اوجی را بصورت سهبعدی و با استفاده از مدل CFD شبیه سازی نمود و نتایج را

با مدل فیزیکی مقایسه کرد. وی مدل فیزیکی خود را در فلومی با طول ۴متر، عرض ۰/۴۰۳ و عمق ۶/۶ متر ساخت و پروفیل سطح آب و پروفیل سرعت را در نقاط مختلف مدل بررسی نمود. وی برای شبیه سازی عددی آشفتگی جریان از مدل k-e استاندارد و RNG° استفاده نمود.

هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات ضریب دبی و پارامترهای هیدرولیکی جریان در سرریزهای استوانهای با استفاده از مدل آشفتگی e - k و مقایسه آن با نتایج مدل فیزیکی برای تعیین قابلیت این مدل ها در شبیه سازی وضعیت جریان در سرریزها میباشد.





مواد و روشها مدل فیزیکی تحقیــق حاضــر در آزمایــشگاه هیــدرولیک گــروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در فلومی به طول ۱۰ متر،

¹ Pont

² Burgundy ³Volume of fluid (VOF)

⁴Geo-reconstruct model

⁵Re-normalization group model

$$f_{1}(\frac{Y_{1}}{D}, \frac{B}{Y_{1}}, \frac{L_{u}}{Y_{1}}, \frac{P}{D}, \frac{H_{1}}{D}, \frac{t}{D}, S,$$

$$\frac{Q}{g^{0.5}Y_{1}^{2.5}}, \frac{rg^{0.5}}{Y_{1}^{4.5}m}, \frac{s}{m(Y_{1}^{0.5}g)}) = 0$$
[Y]

عدد رینولدز در محدوده ۲۵۴۰ تا ۱۰۴۰۴ است، بنابراین اثر لزجت m ناچیز می باشد. با توجه به اینکه عمق آب روی سرریز در محدوده ۲/۷۲ تا ۱۱/۱۴ می باشد، می توان از اثر نیروی کشش سطحی s صرفنظر کرد. همچنین به دلیل ثابت بودن شیب کانال S_{\bullet} فاصله ایستگاه اندازهگیری در بالادست L و عرض فلوم B از پارامتر بیبعد مربوط به آنها در معادله ۲ چشمپوشی گردید و نتیجه به صورت رابطه ۳ خلاصه شد. در آن رابطه که نتیجه به صورت رابطه ۳ خلاصه شد. در آن رابطه که فشار برروی سطح سرریز برحسب مترآب P، تنش برشی وارد برکف برحسب مترآب t، بار کل آب برروی سرریز در بالادست H و قطر سرریز D در

$$f_{1}\left(\frac{Y_{1}}{D}, \frac{Q}{g^{0.5}Y_{1}^{2.5}}, \frac{P}{D}, \frac{t}{D}, \frac{H_{1}}{D}\right) = 0 \qquad [r]$$

از آنجائی که سرریز استوانه ای در حقیقت سرریز لوله ای با ارتفاع و شیب بدنه صفر می باشد، این سرریزها همانند سرریزهای لبه پهن عمل می کند. بنابراین تحلیل جریان در سرریزهای استوانهای بر اساس رابطه سرریزهای لبه پهن نشان میدهد که ضریب دبی در این سرریزها به صورت معادله ۴ میباشد (باس ۱۹۷۸):

$$cd = \frac{q}{g^{0.5} (\frac{2}{3}H_1)^{1.5}}$$
 [*]

که در این رابطه C_d ضریب دبی جریان و q دبی عبوری از روی سرریز در واحد عرض آن $(m^3/s/m)$ ، $(m^3/s/m)$ و H_1 ارتفاع تراز آب در بالادست(m) میباشد.

ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و عرض ۲۵ سانتیمتر انجام گرفت. یک سیستم آرام کننده در ابتدای فلوم نصب شده و جریان آب در انتهای فلوم با سرریز مثلثی اندازهگیری می شود. به منظور اندازهگیری سطح آب در دو نقط ه از سنسبورهای اولتراسونیک با دقت ۱/۰ میلیمتر که خروجی آنها به کامپیوتر منتقل و با نرم افزار مربوطه یردازش میگردد، استفاده شد. برای اندازهگیری یروفیل سطح آب در فواصل کوتاہ که با سنسورها امکان یذیر نبود، از سطح سنج مکانیکی با دقت ۰/۱ میلیمتر استفاده شد. مدلهای سرریز در این تحقیق ، لوله هایی از جنس P.V.C با قطرهای ۹۱، ۱۱۱، ۱۲۵، ۱۶۰ و ۲۰۰ و به طول ۲۵۰ میلیمتر برابر عـرض فلـوم بـود. سـرریزها پـس از آببندی به وسیله نوار لاستیکی در فلوم نصب میشدند. جریان آب با دبی ثابت در کانال برقرار شده و ارتفاع سطح آب بر روی سرریز و در بالادست آن در فاصله L_u با سنسور اندازهگیری میشد. این مراحل بـرای کلیـه سرریزها در محدوده دبی های بین ۵/۲۲ تـا ۱۷/۷۵ لیتـر در ثانیه با جریان آزاد انجام شد. شـکل۱ طـرح شـماتیک مدل سـرریز اسـتوانهای درفلـوم آزمایـشگاهی را نـشان مىدھد.

ورجاوند، فرسادی زاده و

تحليل ابعادى

تابع جریان در سرریز استوانهای بر اساس خصوصیات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان به صورت معادله ۱ به دست آمد:

$$f(Y_1, D, B, L_u, P, H_1, t, S, Q, s, m, r, g) = 0$$
 [\]

که در آن *B* عرض کانال، *P* فشار بر روی سطح سرریز، *t* تنش برشی وارد بر کف، *S* شیب طولی کانال، *Q* دبی جریان، *S* کشش سطحی، *m* لزجت دینامیکی و *r* چگالی مخصوص سیال می باشند. پارامترهای دیگر بر روی شکل ۱ مشخص شدهاند. تحلیل ابعادی با استفاده از تئوری *p* باکینگهام صورت گرفت و پارامترهای بی بعد موثر در جریان به صورت معادل ۲

> به دست آمد: www.SID.ir

مدل Fluent

در تحقیق حاضر جریان بر روی سرریز استوانه ای با استفاده از مدل Fluent به روش حجم محدود شبیه سازی شد و نتایج آن با نتایج مدل فیزیکی مقایسه گردید. شبیه سازی جریان در سرریزهای استوانه ای با حل معادلات پیوستگی و مومنتوم با استفاده از مدل های آشفتگی، روشهای بررسی جریان چندفازی'، روش حل عددی حجم محدود' و الگوریتمهای حل همزمان سرعت فشار (الگوریتم SIMPLEC و OSIG³) انجام شد.

برای شبیه سازی جریان چند فازی از مدل حجم سیال و برای شبیه سازی جریان آشفته از روش آشفتگی RNG ، Standard و مدل های RNG و Realizable استفاده شد و روش حل معادلات مربوطه، روش حجم محدود می باشد. برای تحلیل جریان در کنار دیواره از مدل تابع دیوراه نامتقارن[°] و تابع دیواره استاندارد^۲ استفاده شد.

روش بررسی حجم که غالبا به عنوان روش حجم سیال نامیده می شود بوسیله نیکولس و هیرت (۱۹۷۵) بوجود آمد. این مدل بر این اساس استوار است که دو یا چند سیال با هم ترکیب نمی شوند. برای هر فاز یک متغیر در مدل در نظر گرفته می شود که همان نسبت حجمی آن فاز در سلول محاسباتی است. در هر حجم کنترل مجموع نسبت های حجمی تمامی فازها یک می باشد (چن و همکاران ۲۰۰۲). مرز بین دو فاز در روش حجم سیال نقطه ای در نظر گرفته می شود که مقدار عددی پارامتر کسر حجمی^۷ در آن ۵/۰ باشد (درگاهی ۲۰۰۴).

 a_q اگر نسبت حجمی سیال \mathbf{q} در سلول بصورت \mathbf{a}_q نشان داده شود یکی از سه شرایط زیر وجود دارد:

- ³ Semi-implicit method for pressure-linked equations consistent
- ⁴Pressure-implicit with splitting of operators
- ⁵ Non-equilibrium wall function
- ⁶ Standard wall function

الف) $a_q = 0$ ، سلول از سیال q خالی می باشد. q سلول پر از سیال q میباشد. q = 1(سلول پر از سیال q میباشد. q < 1($Q < a_q < 1($ $Q < a_q < 1($ $Q < q_q < 1)$ $Q < q_q < 1($ $Q < q_q < 1($ $Q < q_q < 1($ $Q < q_q < 1)$ Q < 1($Q < q_q < 1($ $Q < q_q < 1)$ Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1(Q < 1(Q < 1)) Q < 1(Q < 1)) Q < 1

معادله حاکم بر جریان در سرریز استوانه ای، معادلات پیوستگی و مومنتوم ناویر - استوکس میباشد. در این تحقیق از روش متوسط رینولدزی برای حل معادلات در جریان آشفته استفاده شده است. معادله پیوستگی رینولدز بصورت زیر میباشد (اندرسون و همکاران ۱۹۸۴).

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\overline{r u_j} + \overline{r' u'_j} \right) = 0$$
 [5]

فرم کلی معادله مومنتوم ناویر - استوکس متوسط رینولدزی بصورت زیر است (اندرسون و همکاران ۱۹۸۴).

[۶]

هستند (چادری ۱۹۹۳).

¹Multi phase flow

²Finite volume method

⁷Volume fraction

⁸Turbulent kinetic energy

⁹Dissipation rate of turbulent kinetic energy

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{rk}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\mathbf{rk}u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mathbf{a}_k \mathbf{m}_{eff} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + [V]$$
$$G_k + G_b + \mathbf{re} - Y_M$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(re) + \frac{\partial}{\partial x_i}(reu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(a_k m_{eff} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + [\Lambda]$$

$$C_{1z} \frac{e}{k} (G_k + C_{3z} G_b) - C_{2z} r \frac{e^2}{k} - R_z$$
sc. a. let $r = a_k, a_e$ be the second second

اغتشاش پرانتل برای k,e و سیکوزیته موثر میباشند. میباشند.

از آنجایی که در جریانهای آشفته، جریان بشدت تحت تـاثیر بـستر قـرار دارد، تحلیـل مناسـب جریـان در نزدیکی دیوارہ بمنظور تشکیل پروفیل سے عت مناسب دارای اهمیت است. روشهـای شـبیه سـازی جریـان در نزدیکی دیواره بر دو نوع هستند. در روش اول لایه درونی تحلیل نمیشود بلکه بوسیله روابط نیمه تجربی از نزدیک دیوارہ به لایه بیرونی تعمیم دادہ شدہ کے این روش تابع دیواره ٔ نامیده میشود. در روش دوم لایله درونی تحلیل شدہ و پـس از آن بـه تحلیـل لایـه بیرونـی یرداخته مےشـود، کـه ایـن روش مـدل نزدیـک دیـواره ٔ نامیده می شود. در روش دوم چون نیاز به تعدادی المان در زیر لایه لزج می باشد، زمان و هزینه محاسبات را به شدت زیاد می کند. به همین دلیل برای تحلیل جریان کنار دیواره از مدل تابع دیواره نامتقارن که زیر مجموعه روش اول می باشد، استفاده شد (کیم و چادری ۱۹۹۵، چن و يتل۱۹۸۸).

برای معادلات مومنتوم، انـرژی جنبشی اغتـشاش و نرخ استهلاک انرژی اغتـشاش، از روش گسـسته سـازی مرتبـه دوم بالادسـت^۲ و بـرای معادلـه کـسر حجمـی از روش بازسازی هندسـی و بـرای معادلـه فـشار از روش PRESTO² استفاده شده است. در ابتدای جریان بـدلیل همگرایی نسبتا دشوار از ضـرایب همگرایـی[°] کوچـک در

حدود ۰/۱ تا ۱۰/۱۵ استفاده شد و پس از پیشروی زمان جریان، ضرایب همگرایی به مرور زیاد شد تا در نهایت با حداکثر گام زمانی ۰/۰۰۵ ثانیه به مقدار ۸/۸ تا ۱ افزایش یافتند.

در ورودی مدل عددی سرریز از دو نوع شرط مـرزی سـرعت ورودی و فـشار ورودی اســتفاده شــد. شیب فلوم که مقدار آن ۰/۰۰۲۲ می باشد، با تفکیک کردن شتاب ثقل در دو امتداد جهت جريان و عمود بر جهت جریان در مدل تاثیر داده شد. برای قطر ۲۰۰ میلیمتر با دبی ۱۷/۰۵ لیتربرثانیه و قطر ۹۱ میلیمتر با دبی ۵/۸۴ لیتر بر ثانیه بوسیله کد نویسی به زبان ۲۰۰۰ شرط مرزی فشار ورودی با مشخص بودن عمق ورودی جریان بصورت هيدرواستاتيك تعريف شد. بدليل اينكه برروى تشکیل پروفیل سرعت و مقدار سرعت متوسط در مدل کنترل وجود نداشت، مقدار دبی بین ۳۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از دبی موجود در مدل فیزیکی بدست آمد. با ایـن وجود بدلیل تشکیل سریعتر پروفیل سرعت، زمان ماندگار شدن جریان نسبت به شرط مرزی سرعت ورودی کمتر بدست آمید در نهایت همانطور که در شکل۲ نشان داده شده است، برای شبیهسازی جریان در مدل سرریز از شرط مرزی سرعت ورودی برای سطح a و فشار ورودی هـوا بـرای سـطح b کـه مقـدار نـسبی a صفر به آن اختصاص داده شد، فشار خروجی هوا بـرای سطح c که مقدار آن نیز صفر میباشد، فـشار خروجـی صفر برای سطح d و شرط مرزی دیواره بـرای سـطح e استفاده شد



شکل2- تصویر شماتیک از شرایط مرزی تعریف شده برای مدل

www.SID.ir

¹Wall function method ²Near wall treatment model

³Second order upwind

⁴Pressure staggering option

⁵ Under relaxation

برای شبکهبندی بازه محاسبات از المان های مربعی از نوع sub map و مثلثی از نوع pave استفاده گردید. برای مستقل از شبکه کردن مدل، برای قطر ۲۰۰ میلیمتر دبی ۱۷/۰۵ لیتربرثانیه و قطر ۹۱ میلیمتر دبی ۵/۸۴ لیتر بر ثانیه در نظرگرفته شد و چهار مدل با تعداد المان ۲۵۲۶۸، ۱۶۵۸۴، ۱۱۵۶۸ و ۸۶۲۴ اجرا شد. طبق نتایج بدست آمده بین نتایج مدل های ۲۵۲۶۸، ۱۶۵۸۴ و ۱۱۵۶۸ اختلاف محسوسي وجود نداشت ولي باكاهش تعداد المان به ۸۶۲۴ مشاهده شد که خطا نسبت به مدل فیزیکی افزایش چشمگیری پیدا کرد. به همین دلیل بارای همه مدلها از شبکههای یکسان با تعداد تقریبی ۱۱۵۰۰ المان محاسباتی استفاده شد. از المان لایه مرزی نیز برای کنترل معیار ⁺y در حدود ۲۸۰، با الگوی تبدیل^۲ ۲:۲ برای كاهش تعداد المان استفاده شد. مدل تابع ديواره نامتقارن، برای پذیرفتن توزیع لگاریتمی پروفیل سرعت، مقدار معیار ⁺y باید بین ۳۰ تا ۳۰۰ باشد.

نتايج و بحث

در این تحقیق برای یافتن مدل بهینه جهت شبیه-سازی جریان برروی سرریز ابتدا حالت های دوبعدی و سهبعدی برای حل عددی معادلات جریان در سرریز استوانهای استفاده شد. برای شبیهسازی جریان از مدلهای آشفتگی RNG ، Standard شامل RNG و Realizable همچنین از الگوریتمهای SIMLPEC و PISO استفاده شد(جدول۱).

خطای نسبی مدل Fluent در حالتهای مختلف بر حسب درصد جدول ۱ آورده شده است نتایج به دست آمده از مدل سهبعدی به دلیل تقارن جریان نسبت به خط مرکزی فلوم اختلاف محسوسی با حالت دو بعدی در شرایط مشابه نشان نداد با توجه به اینکه برای اجرای مدلهای سهبعدی نیاز به محاسبات و زمان بیشتری میباشد، لذا برای حل عددی کلیه حالتهای سرریز از

D = 91 mm Q = 5/84 l/s		D = 200 mm Q = 17 l/s		جزئيات مدل بكاررفته
Y_1	h	\mathbf{Y}_1	h	
0/39	1/5	0/79	0/91	3D,k-e,standard, VOF, Simplec
0/40	1/54	0/82	0/98	2D,k-e,standard, VOF, Simplec
0/15	1/08	0/37	0/67	2D,k-e,RNG, VOF, Simplec
0/12	0/99	0/35	0/64	3D,k-e,Realizable, VOF,Simplec
0/14	1/06	0/37	0/65	3D,k-e,RNG, VOF, PISO

مدل دو بعدی استفاده شد. در مدل های دو بعدی اجرا شده خطای نسبی روش Standard نسبت به روش RNG بی شده خطای نسبی روش RNG می باشد. لذا بدلیل مشابه با خطای روش RNG می باشد. لذا بدلیل ناپایداری بیشتر حل در روش RNG می باشد. لذا بدلیل روش RNG، در نهایت از روش RNG برای شبیه سازی استفاده شد. بدلیل کم بودن ضریب چولگی شبکه بندی مدل، اختلاف محسوسی بین دو روش SIMPLEC و روش PISO مشاهده نشد و بدلیل زمان محاسبات بیشتر در روش VOF، در نهایت از روش SIMPLEC بسرای شبیه سازی همه سرریزها با مدل دو بعدی VOF به روش e - A، RNG با الگوریتم فیشار - سرعت روش SIMPLEC استفاده شد

نتایج بـه دسـت آمـده از مـدل فیزیکی سـرریزهای اسـتوانهای و شـبیهسـازی جریـان بـا مـدل Fluent بـه صورت پارامترهای بی بعد مورد مقایسه قرار گرفت.

شـکل۳ تغییـرات h/D در مقابـل H1/D را در مـدل Fluent و مدل فیزیکی نشان میدهد. در ایـن نمـودار بـا افـزایش عمـق آب در بالادسـت عمـق آب روی سـرریز افزایش می یابد. این نمودار بیانگر تطابق خوبی بین نتایج حاصـل از شـبیه سـازی عـددی بـا مـدل Fluent و آزمایشات فیزیکی میباشد. خطـای نـسبی مـدل Fluent در شـبیهسـازی عمـق آب بالادسـت Y1

¹Transition pattern



شکل3- مقایسه نتایج مدل Fluent با مدل فیزیکی الفh/D ب-H1/D

روند تغییرات ضریب دبی C_d در مقابل H1/D برای مدل Fluent و مدل فیزیکی در شکل ۴ نشان داده شده است. این نمودار نشان میدهد که در هر دو مدل با افزایش بار کل آب در بالادست (H₁) ضریب دبی افزایش مییابد. همچنین مشاهده میشود که ضریب دبی در مدل Fluent برای همه مقادیر H1/D همواره بیشتر از ضریب دبی در مدل فیزیکی است. این این روند یکسان

۳/۰۳۱ درصد و عمق آب بر روی سـرریز h بـین ۲۱۹/۰ تا ۳/۰۲۸ درصد می باشد.

بدلیل کمتر محاسبه شدن عمق جریان به ازای یک دبی ثابت در مدل Fluent نسبت به مدل فیزیکی در روش حجم سیال میباشد. از آنجایی که اختلاف عمق جریان در روش حجم سیال در جریانهای زیربحرانی نسبت به مدل فیزیکی ثابت میباشد و مبنای مقایسه و ارزیابی مدل Fluent، مدل آزمایشگاهی است، لذا با کاهش مقدار عمق در مدل آزمایشگاهی خطای برآورد عمق جریان در مدل Fluent بیشتر می شود، از آنجاییکه بازه تغییرات H1 نسبت به D کمتر است، در یک دبی ثابت با کاهش قطر سرریز مقدار H1/D افزایش می یابد و با کاهش قطر سرریز عمق جریان بالادست کاهش مییابد، لذا با افزایش H1/D در واقع مقدار خطا در برآورد عمق جریان و در نتیجه آن Cd افزایش می یابد. به همین دلیل است که در شکل ۴ در H1/D های کوچکتر تطابق نمودارهای مربوط به مدل Fluent و مدل فیزیکی بهتر میباشد. در حالت کلی مشاهده میشود که خطا در برآورد ضریب دبی بیشتر از خطای برآورد عمق جریان است که این اختلاف در اثر آن توان ۱/۵ بار کل آب در بالای سرریز طبق معادله ۴ میباشد.

همانطور که در شکل ۴ مشخص است روند تغییرات ضریب دبی C_d نسبت به H1/D را میتوان به سه بخش تقسیم کرد.

-) افزایش H1/D تـا حـدود ۰/۷ رونـد تغییـرات ضـریب دبی را تحت تـاثیر قـرار مـیدهـد و ضـریب دبـی در سرریز را به مقدار زیادی افزایش میدهد.
- ۰/۷ در بازه ۲/۷ تا ۰/۹۵ در با آهنگ کمتری انجام می یابد.
- مقدار C_d در H1/D های بزرگتر از ۰/۹۵ تقریبا ثابت (۳ شده و افزایش H1/D تاثیر چندانی در ضریب دبی سرریز ندارد.

در مطالعه مشابهی حیدر پور و همکاران (۱۳۸۱) تغییرات ضریب دبی جریان را در مقادیر مختلف H1/R سرریزهای تاج دایره ای و استوانه ای بررسی کردند کهR شعاع استوانه می باشد. نتایج نشان داد که در

www.SID.ir

سرریز استوانه ای با افزایش H1/R ضریب دبی جریـان افزایش می یابد.



m-n فشار منفی در سرریزهای استوانهای در سطح (شکل۱) ایجاد میشود. همانطور که شکل ۵ نشان میدهد با افزایش مقدار H1 فشار منفیP بر روی سطح مذکور به صورت خطی افزایش مییابد.



شکل5- تغییرات فشار منفی P برروی سرریز (در سطح m-n) در مقابل بار آب در بالادست H1

شکل ۶ روند تغییرات C_d را در مقابل P/D نشان میدهد. با توجه به این شکل تغییرات C_d تا ۶/۰--افزایشی محسوسی در مقدار ضریب دبی دیده نشده و به مقدار ثابت حدود ۱/۳۷ نزدیک میشود. این روند تغییرات در نمودار مربوط به نتایج عددی شکل ۴ برای ۰/۹۵ (H1/D نیز www.SID.ir

مشاهده می شود. تغییرات فشار نسبت به H1 طبق شکل ۵ خطی است، از آنجایی که در معادله ، تغییرات ضریب دبی نسبت به H1 غیر خطی می باشد انتظار می رود که رابطه بین فشار منفی بر روی سرریز و ضریب دبی نیز غیر خطی باشد. شکل ۶ دلالت بر غیر خطی بودن رابطه فشار و ضریب دبی دارد.





همچنان که گفته شد یکی از خصوصیات بارز سرریزهای استوانهای انحنای زیاد خطوط جریان در این سرریزهای است در شکل ۷ نمودار تغییرات انحنای جریان با معیار h/H0 در سرریزهای استوانهای، با قطرهای مختلف ترسیم شد نمودار حاصل نشان میدهد که با افزایش H1/D مقدار h/H0 نیز با شیب ملایمی افزایش می یابد در تحقیقی که قبلاً بر روی سرریزهای استوانهای انجام شده، نتایج مشابهی بدست آمده است (رامامورتی و وو ۱۹۹۳).

تنشبرشی در محدوده pq بهطول ۳۰ سانتیمتر (شکل۱) ناشی از برخورد بردارهای سرعت سیال عبوری از روی سرریز به کف قابل بررسی میباشد. با توجه به اینکه سرعت، پارامتری برداری است، با تغییر در زاویه برخورد آن با کف، مقدار تنش برشی نیز تغییر میکند. هرچه این زاویه برخورد به حالت قائم نزدیکتر باشد مقدار تنش افزایش مییابد. شکل ۸ روند تغییرات *t / D* را درمقابل *H1/D* برای قطرهای مختلف سرریز نشان میدهد. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش بار آب برروی سرریز جریان از حالت ریزشی به حالت جت آب نزدیک شده و در اثر کاهش زاویه برخورد آب با کف مقدار تنش برشی کاهش می-یابد همچنین در یک نسبت ثابت *H1/D* با افزایش قطر سرریز *t/D* کاهش می یابد.





Fluent مقایسه نتایج حاصل از مدل فیزیکی و مدل Fluent بیانگر تطابق خوبی بودند. لذا میتوان مدل را به دلیل هزینه کمتر و زمان بهینهتر جایگزین مدل فیزیکی کرد.

ضریب دبی در سرریزهای استوانهای بدلیل انحنای زیاد بیشتر از سایر سرریزهای لبه پهن میباشد. این ضریب با افزایش نسبت بار کل هیدرولیکی در بالادست سرریز بهقطر آن تا حد معینی افزایش می-یابد نتایج مدل Fluent و مدل فیزیکی هر دو موید این قضیه میباشند.

- با افزایش بار آب در بالادست سرریز فشار منفی برروی سطح سرریز بصورت خطی تغییر یافته و متعاقب آن ضریب دبی تا مقدار معینی افزایش می-یابد این مقدار حدود ۱/۳۷ تخمین زده میشود.
- خطای نسبی مدل Fluent در شبیه سازی عمق آب بالادست سرریز بین ۰/۰۳۵ تا ۳/۰۳۱ درصد و در عمق آب بر روی سرریز بین ۱/۲۱۹ تا ۳/۰۲۸ درصد می باشد.

استفاده از روش RNG در مدل k - e برای شبیه-سازی آشفتگی جریان و مدل حجم سیال برای شبیهسازی جریان چندفازی در تحلیا جریان برروی سرریز استوانهای نتایج بهتری نشان دادند.



منابع مورد استفاده

حیدرپور م، افضلی مهر ح و خرمی الف، ۱۳۸۱ کاربرد تابع جریان در اطراف سیلندر دایره ای شـکل در سـرریزهای تـاج دایره ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، شماره ۶ صفحههای ۵۱ تا ۶۰.

Anderson D, Tannehill J and Pletcher R, 1984. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. Hemisphere Publishing Corporation, New York.

- Bos MG, 1978. Discharge Measurement Structures. 3rd ed., Publication 20, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Chanson H and Montes JS, 1998. Over flow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions. J Irrig and Drain Engin, ASCE, 124:152-161.
- Chen Q, Dai G and Liu H, 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. J Hydraul Engin, ASCE, 128:683-688.

Chaudhury D, 1993. Introduction to the renormalization group method and turbulence modeling. Fluent Inc. Technical Memorandum TM-107.

- Dargahi B, 2004. Experimental study and 3D numerical simulations for a free over flow spillway. J Hydraul Engin, ASCE, 132:899-907.
- Chen HC and Patel VC, 1988. Near-wall turbulence models for complex flows including separation. AIAA Journal, 26:641-648.
- Kim SE and Chaudhury D. 1995. A near-wall treatment using wall functions sensitized to pressure gradient. In: ASME FED Vol. 217, Separated and Complex Flows, ASME.
- Liu C, Huhe A and Wenju MA, 2002. Numerical and experimental investigation of flow over a semicircular weir. Acta Mechanica Sinica, 18:594-602.
- Ramamurthy AS and Vo ND, 1993. Characteristics of circular-crested weir. J Hydraul Engin, ASCE, 119:1055-1062.
- Savage BM and Johnson C, 2001. Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study. J. Hydraul Engin, ASCE, 127:640-649.

r