

ارزیابی نرم افزار ANSYS CFX در شبیه سازی توزیع سرعت و فشار بر روی سرریز تاج

دایره های

محمدجواد امیری^{۱*}، منوچهر حیدرپور^۲، مهدی بهرامی^۳ و رخساره رستمیان^۴

(۱) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه فسا، فسا، ایران.

(۲) استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(۳) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه فسا، فسا، ایران.

(۴) دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: mj_amiri@fasau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۷

چکیده

نرم افزار ANSYS CFX، نرم افزاری کارآمد و چند منظوره برای شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در تمام سطوح و پیچیدگی می باشد. این نرم افزار از روش حجم محدود برای حل عددی جریان های دو و سه بعدی، جریان های تراکم پذیر و تراکم ناپذیر، جریان های لزج و غیرلزج، آرام و آشفته با مدل های توربولانس مختلف، سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی، محیط های متخلخل، جریان های دائمی و غیردائمی، و مسائل تقابل سیال و جامد (FSI) استفاده می کند. سازه های کنترل و اندازه گیری جریان از اجزای مهم و ضروری در شبکه های آبیاری و زهکشی می باشند. در بین این سازه ها، سرریزها به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق از کاربرد بیش تری برخوردارند. به منظور ارزیابی نرم افزار ANSYS-CFX در شبیه سازی جریان بر روی سرریز تاج دایره ای، دو سرریز مجزا یکی با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و قائم و دیگری با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و ۶۰ درجه در نظر گرفته شد. شبیه سازی جریان برای ۳ دبی مختلف جریان و باطبع سه مقدار مختلف H_1/R انجام گردید. نتایج نشان داد که پیش بینی نرم افزار تطابق بسیار خوبی با مقادیر اندازه گیری دارد. شیب بالادست و پایین دست سرریز در خروجی مدل تأثیر چندانی نداشته و مدل به خوبی پروفیل های فشار و سرعت را برای هر دو شیب شبیه سازی کرده است. به طور کلی نتایج مدل در شیب ۹۰-۴۵ نسبت به ۶۰-۴۵ بهتر می باشد.

واژه های کلیدی: نرم افزار ANSYS-CFX، سرریز تاج دایره ای و پروفیل های فشار و سرعت.

مقدمه

با پیشرفت و گسترش روزافزون نرم افزارهای مهندسی و ساخت رایانه‌های پر قدرت، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای حل میدان‌های جریان سیالات گسترش قابل توجهی داشته است. در صورت داشتن دانش و تجربه کافی در استفاده از نرم افزار، علاوه بر تحلیل مسایل مورد نظر، به سادگی می‌توان تغییرات مورد نظر را در مورد شرایط مسأله اعمال کرد و اثرات ناشی از آن را پیش‌بینی نمود. نرم‌افزار ANSYS در سال ۱۹۷۱ توسط شرکت آمریکایی Swanson به‌عنوان یکی از پیشگامان نرم‌افزارهای اجزاء محدود ساخته شده و مورد استفاده محققان قرار گرفته است و جزء اولین نرم‌افزارهایی است که آنالیزهای غیرخطی، مکانیک شکست، مخازن و سایر آنالیزها را در بسته نرم‌افزاری خود قرار داده است. روش اجزاء محدود یک روش عددی است که می‌توان آن را برای حل مسائل متعدد مهندسی در حالات مختلف پایدار، گذرا، خطی یا غیر خطی مانند تحلیل تنش، انتقال حرارت و جریان سیال به‌کار برد (Raw, 1996). این نرم افزار یکی از چندین ابزار مهندسی کامپیوتری در محیط ANSYS می‌باشد که تولید مش برای تحلیل توسط CFX براحتی در محیط CFX-Mesh صورت می‌گیرد (Bardina et al., 1997). قوانین حاکم بر جریان سیال توسط معادلات پیوستگی و مومنتم که به معادلات ناویه- استوکس معروف هستند، بیان می‌شوند. این معادلات در واقع بیانگر پایداری جرم و مومنتم به زبان ریاضی است. برای بررسی میدان جریان بر روی سرریز، از آنجا که این نوع جریان، جریانی آشفته است باید معادلات ناویه- استوکس نسبت به زمان حل شوند و سپس معادلات آشفتگی به آن‌ها اضافه گردد. معادله پیوستگی جریان از قانون بقای جرم و با نوشتن رابطه تعادل جرم برای یک المان سیال بدست می‌آید. معادله عمومی پیوستگی به شکل زیر است (Baughn et al., 1984):

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u A_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v A_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w A_z)}{\partial z} = 0 \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه ρ چگالی سیال، V_f کسر حجم باز به جریان است. مولفه‌های سرعت (u, v, w) در جهات (x, y, z) می‌باشند. A_x کسر سطح باز جریان در جهت x است، A_y و A_z بطور مشابه کسر سطح در جهات y و z است. معادلات ناویه- استوکس بخش مهمی از معادلات هیدرودینامیک برای تشریح سرعت در میدان جریان به حساب می‌آید. این معادلات شرایط تعادل بین نیروهای وزن، فشار و لزجت (اصطکاک) از یک طرف و نیروهای اینرسی در طرف دیگر را بیان می‌کنند. کاربرد مهم این معادلات مربوط به سیالات لزج است. معادله ناویه- استوکس در فرم تانسوری به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial(\rho u)_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i = 0 \quad \text{رابطه ۲:}$$

معادلات ناویه- استوکس میانگین‌گیری شده زمانی، می‌تواند بیانگر حرکت متوسط جریان آشفته باشد. پخش آشفتگی متناسب با گرادیان ویژگی‌های آشفتگی است. گردها می‌تواند ایزوتروپیک و یا غیر ایزوتروپیک باشند. همه مقادیر انتقال آشفته توابع موضعی از جریان هستند. در مدل‌های آشفته باید همسازي وجود داشته باشد. این مدل‌ها می‌توانند یک مقیاسی و یا چند مقیاسی باشند. همه مدل‌ها در نهایت به کالیبراسیون به صورت تجربی نیاز دارند. مدل‌های آشفتگی شامل مدل‌های صفر معادله‌ای، مدل‌های تک معادله‌ای، مدل‌های دو معادله‌ای، مدل‌های دارای معادله تنش و مدل‌های شبیه‌سازی گرداب‌های بزرگ می‌باشند (Johnson and Savage, 2006). معادله صفر سریع‌ترین و آسان‌ترین مدل توربولانسی است که در مدل‌ها با هندسه ساده و مشخصه جریانی ساده به کار می‌رود. در صورت وجود گردابه و جدایش وسیع در مساله این مدل در حل دچار مشکل خواهد شد. مدل یک معادله ای بر خلاف مدل‌های صفر معادله‌ای، از یک معادله برای انتقال آشفتگی استفاده می‌کنند. این معادله ارتباط بین مقیاس سرعت نوسانی و کمیت آشفتگی می‌باشد که جذر انرژی جنبشی آشفتگی (\sqrt{k}) به عنوان مقیاس سرعت در حرکت آشفته مد نظر می‌باشد و مقدار آن توسط معادله انتقال محاسبه می‌گردد. مدل‌های دو معادله‌ای ساده‌ترین مدل‌ها هستند که قادرند نتایج بهتری در جریان‌هایی که مدل طول اختلاط نمی‌تواند به صورت تجربی در یک روش ساده مورد استفاده قرار بگیرند، ارائه دهند. جریان‌های چرخشی از این نمونه‌اند. مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ساده‌ترین مدل دو معادله‌ای است. در این مدل ویسکوزیته مغشوش به عنوان تابعی از انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اتلاف آن می‌باشد (Menter, 1993). مدل $k-\varepsilon$ استاندارد، ساده‌ترین مدل دو معادله‌ای است. در این مدل ویسکوزیته مغشوش به عنوان تابعی از انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اتلاف آن می‌باشد (Chen and Dai, 2002).

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{رابطه ۳:}$$

که C_μ ثابت توربولانسی و ε نرخ اتلاف انرژی جنبشی توربولانسی می‌باشد. در مدل $k-\varepsilon$ استاندارد، معادلاتی که جریان سیال را مدل می‌کنند شامل دو معادله می‌باشد. معادله اول، انرژی جنبشی توربولانسی می‌شود. این معادله در شکل تانسوری به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_t \Phi - \varepsilon \quad \text{رابطه ۴:}$$

که ترم Φ برابر است با:

$$\Phi = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad \text{رابطه ۵:}$$

معادله دوم که نرخ افت انرژی جنبشی توربولانسی نامیده می‌شود به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(v_t \frac{\partial \varepsilon}{\sigma_\varepsilon \partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} v_t \frac{\varepsilon}{k} \Phi - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \text{رابطه ۶:}$$

سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان از اجزای مهم و ضروری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشند. در بین این سازه‌ها، سرریزها به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق از کاربرد بیشتری برخوردارند و از دیر باز توجه متخصصین بسیاری را به خود جلب نموده‌اند و در این زمینه تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. به طور کلی سازه‌های آبی قبل از فرآیند ساخت، مدل‌سازی شده تا از صرف هزینه زیاد و بعضاً بی‌مورد جلوگیری گردد. اما مشکلی که وجود دارد این است که در برخی مواقع رفتار جریان در مدل فیزیکی با رفتار در مقیاس اصلی متفاوت می‌باشد و در نتیجه، بسط اطلاعات به دست آمده از مدل همیشه تمام جنبه‌های سیستم اصلی را شبیه‌سازی نمی‌کند. ضمن این‌که مشکلات جدی در اندازه‌گیری وجود داشته و وسایل اندازه‌گیری نیز عاری از خطا نمی‌باشند. به همین منظور نرم‌افزارهایی طراحی شدند تا با استفاده از مدل‌های ریاضی و پیشگویی‌های تئوری این اطلاعات را در حوزه جریان انجام داده و تفاوت‌های بین مطالعات در مدل و پروتوتایپ (نمونه اصلی) را به حداقل برسانند. پیشگویی‌های محاسباتی نسبت به کار آزمایشگاهی مزایایی دارد که از آن جمله هزینه پایین، سرعت بالا و بدست آوردن یکسری از اطلاعات مورد نیاز در سراسر حوزه مورد علاقه می‌باشد. Liu و همکاران (۲۰۰۲)، سرریز تاج دایره‌ای را بصورت دو بعدی مدل کردند. آنها بازه انجام محاسبات را 50D و 2.2D در نظر گرفتند که D قطر سرریز است. روش حل عددی معادلات، روش حجم کنترل بوده و برای شبیه‌سازی جریان چند فاز از روش حجم سیال و مدل بازسازی هندسی استفاده کردند. برای تحلیل جریان آشفته از مدل $k - \varepsilon$ استاندارد استفاده شد و نتایج عددی با مدل فیزیکی تطابق خوبی نشان داد. Dargahi (۲۰۰۴) سرریز اوجی را بصورت سه بعدی و با استفاده از مدل CFD شبیه‌سازی نمود و نتایج را با مدل فیزیکی مقایسه کرد. وی مدل فیزیکی خود را در طولی با طول ۴ متر، عرض ۰/۴۰۳ و عمق ۰/۱۶ متر ساخت و پروفیل سطح آب و پروفیل سرعت را در نقاط مختلف مدل بررسی نمود. وی برای شبیه‌سازی عددی آشفتگی جریان از مدل $k - \varepsilon$ استاندارد استفاده نمود. 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 تاج دایره‌ای 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، نیم استوانه‌ای و نیم استوانه‌ای با ارتفاعات مختلف ارزیابی نمودند. حیدرپور و همکاران (۱۳۸۵) به منظور بررسی تغییرات فشار روی تاج سرریز، آزمایشاتی با استفاده از یک مدل سرریز استوانه‌ای و یک مدل سرریز تاج دایره‌ای با ارتفاعات مختلف صفر، ۱۲/۵، ۱۵/۷، ۱۸/۷ سانتی متر و تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داد که برای سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با افزایش بار روی سرریز، توزیع فشار از

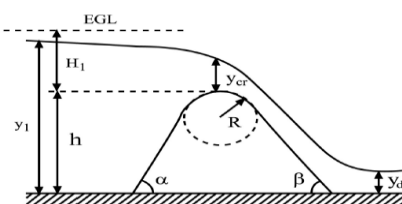
حالت هیدرواستاتیک خارج می شود. همچنین ارتفاع سرریز تأثیر زیادی بر توزیع فشار نداشته و با تغییر ارتفاع سرریز توزیع فشار تقریباً به صورت هیدرواستاتیک باقی می ماند. فرسادی زاده و همکاران (۱۳۸۷)، با کمک مدل عددی فلوئنت جریان عبوری از روی سرریز استوانه ای را شبیه سازی نمودند و اثر بار هیدرولیکی را بر ضریب تخلیه جریان بررسی کردند. نتایج آنالیز عددی به صورت منحنی های فشار و سرعت ارائه شده و ضریب جریان در این سرریز با دبی های متفاوت محاسبه شد. اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹)، با آزمایش روی مدل های مختلف سرریز استوانه ای، مقادیر فشار و سرعت اندازه گیری شده در آزمایشگاه را با مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل فلوئنت مقایسه کردند. نتایج حاکی از تطابق مناسب الگوی جریان اندازه گیری شده روی سرریز در آزمایشگاه و شبیه سازی مدل بود. آن ها همچنین مشاهده نمودند که محل تشکیل عمق بحرانی قبل از نقطه اوج سرریز و جدایش جریان از روی سرریز در ناحیه انتهایی آن صورت میگیرد. لذا هدف از پژوهش حاضر شبیه سازی سرعت و فشار جریان بر روی سرریز تاج دایره ای با استفاده از نرم افزار ANSYS-CFX و مقایسه آن با داده های آزمایشگاهی می باشد.

مواد و روش ها

سرریزهای تاج دایره ای به دلیل اقتصادی بودن و سهولت ساخت، کاربردهای وسیعی در مهندسی هیدرولیک به عنوان سازه های تخلیه آب داشته و می توانند برای کنترل سطح آب در کانال ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند. شمای کلی از یک سرریز تاج دایره ای در شکل ۱ آورده شده است. این سرریز شامل یک تاج دایره ای شکل با شعاع R و ارتفاع h است و زوایای دیواره های بالادست و پایین دست آن برابر α و β است. با توجه به شکل ۱، رابطه زیر به عنوان معادله عمومی دبی در واحد عرض سرریز، q ، بیان می شود:

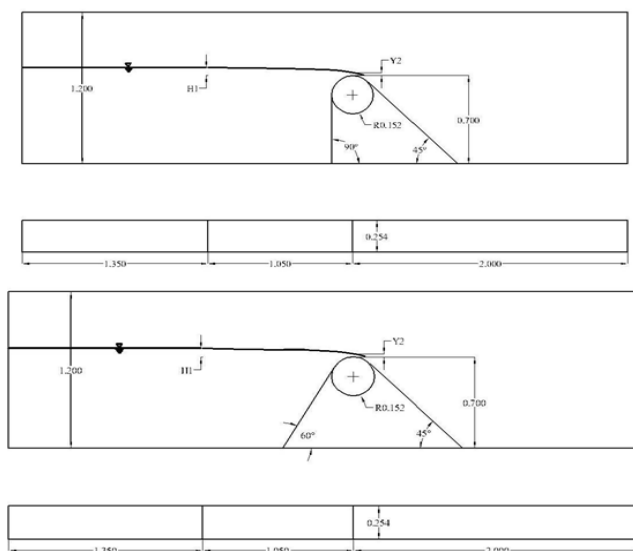
$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_1^{\frac{3}{2}} \quad \text{رابطه ۷:}$$

در تحقیق مذکور از یک سرریز تاج دایره ای به طول ۲۵/۴، ارتفاع ۷۰ و شعاع ۱۵/۲ سانتی متر از جنس پلکسی گلاس که در فلوم آزمایشگاهی به طول ۴/۴ متر، ارتفاع ۱/۲ متر و عرض ۲۵/۴ سانتی متر از جنس فولاد ضد زنگ قرار داشت، استفاده شد. در پروژه حاضر مطالعات بر روی دو سرریز مجزا یکی با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۶۰ درجه و قائم و دیگری با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۶۰ درجه و ۴۵ درجه انجام شد (شکل ۲).



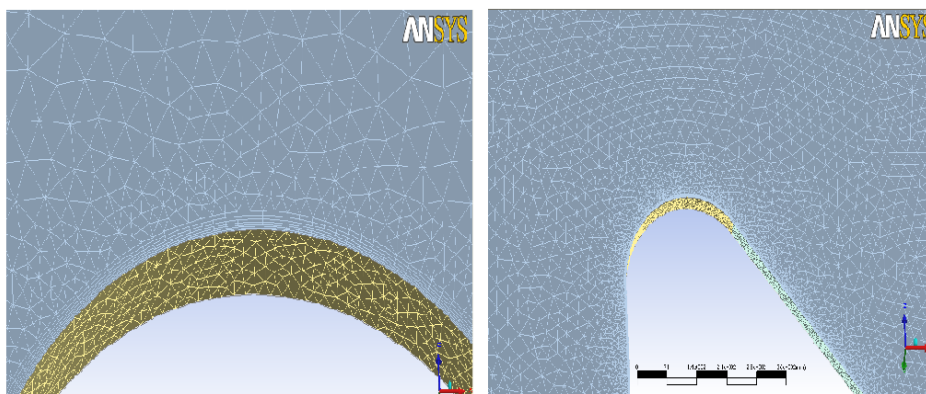
شکل ۱: مشخصات هیدرولیکی و هندسی یک سرریز تاج دایره ای

به منظور بررسی توانایی نرم افزار ANSYS-CFX در شبیه‌سازی جریان بر روی هر یک از این سرریزها، شبیه‌سازی برای ۳ دبی مختلف جریان و باطبع سه مقدار مختلف برای (H_1/R) انجام گردید. برای وارد کردن اطلاعات ورودی در قسمت Design Modeler، هندسه مسأله تعریف می‌شود. در این قسمت مبدأ مختصات متناظر با مرکز دایره در کف کانال تعریف شد. به دلیل تقارن عرضی مسأله مورد مطالعه، جریان ذاتاً دو بعدی است بنابراین به منظور ساده‌تر کردن مساله، عرض به ضخامت یک المان در نظر گرفته شد و مساله به صورت دو بعدی حل شد. بعد از وارد کردن هندسه مدل، نوبت به مش‌بندی می‌رسد. تولید مش در محیط CFX-Mesh به راحتی انجام می‌شود (شکل ۳). در این قسمت نواحی را که مش بندی مد نظر است، تعریف می‌کنیم. برای مسأله مربوطه شش ناحیه تعریف شده است: (۱) Inlet: شامل مرز ورودی است. (۲) Outlet: شامل مرز خروجی می‌باشد. (۳) Air: از آنجا که سیستم مورد مطالعه دو فاز می‌باشد، ناحیه بالای سطح آزاد آب هوا در نظر گرفته شده است. (۴) Floor: این ناحیه شامل کف و دیواره‌های کانال می‌باشد. در حقیقت سطوح جامد که با آب در تماس است. (۵) Weir: این ناحیه شامل بدنه سرریز می‌باشد که با آب در تماس است. (۶) Symmetry: این ناحیه مربوط به مرز تقارنی است. مش پیش فرض مدل به صورت مش بی سازمان (Unstructured Mesh) می‌باشد. به جز نواحی مرزی، برای تمام نواحی که در بالا به آن اشاره شده از مش پیش فرض یعنی مش بی سازمان استفاده شد. برای لایه مرزی یعنی جایی که سیال با سطح جامد در تماس است، لایه Inflation که مخصوص لایه مرزی است تعریف شد. لایه Inflation متشکل از چندین لایه باریک مستطیلی شکل است. استفاده از این لایه دقت شبیه‌سازی را افزایش می‌دهد. جهت شبکه بندی مدل در نواحی نزدیک به دیواره‌ها از مش ریزتر استفاده شد.



شکل ۲: شکل شماتیک سرریزها با زوایای ۴۵ - ۹۰ و ۴۵ - ۶۰ درجه

در قسمت توربولانس نوع مدل آشفتگی تعیین می‌شود. در این پروژه از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده شد. مدل $k-\epsilon$ نمی‌تواند برای شبیه‌سازی جریان لایه مرزی در کنار دیواره‌ها استفاده شود. بنابراین وقتی مدل $k-\epsilon$ انتخاب می‌شود به طور خودکار روش Scalable برای شبیه‌سازی جریان لایه مرزی انتخاب می‌شود. بعد از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز نوبت به حل مسأله می‌رسد. زیر بخش‌های این محیط شامل Solution Units، Solver Control و Output Control می‌باشد. در محیط Solution Units واحد پارامترهایی مثل دما، طول، زمان، زاویه و جرم تعیین می‌شوند. بخش Solver Control شامل ۳ زیر بخش Basic Setting، Equation Class Settings و Advanced Option می‌باشد که عموماً مربوط به حل عددی معادلات حاکم بر جریان است. بخش Output Control ملاک هم‌گرایی را برای متغیرهای مختلف تعریف می‌کند.

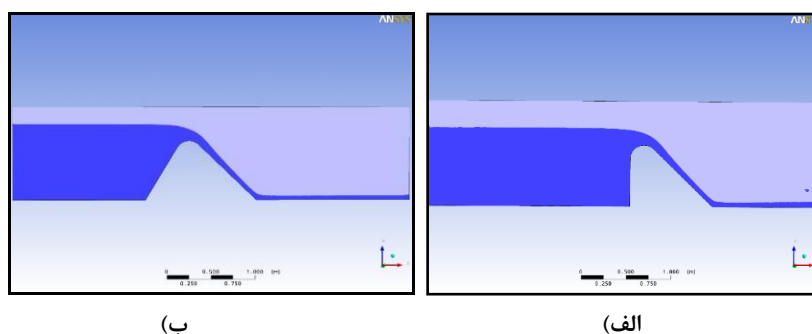


شکل ۳: مش بندی در محیط CFX-Mesh

نتایج و بحث

در این مطالعه شبیه‌سازی جریان بر روی دو سرریز تاج دایره‌ای، یکی با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و ۹۰ درجه و دیگری با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و ۶۰ درجه، صورت گرفت. به منظور بررسی توانایی این نرم افزار، شبیه‌سازی به ازای دبی‌های متفاوت متناظر با H_1/R مختلف انجام گرفت. شبیه‌سازی برای سرریز با زوایای ۴۵ و ۹۰ درجه به ازای H_1/R های ۰/۴۴، ۰/۹۰ و ۱/۳۵ و برای سرریز با زوایای ۴۵ و ۶۰ درجه به ازای H_1/R های ۰/۵۳، ۰/۷۸ و ۱/۳۵ صورت پذیرفت. مدل سازی جریان شامل ترسیم مدل هندسی، مش‌بندی، تعیین شرایط مرزی، انتخاب پارامترهای حل و در نهایت حل مسأله است. جهت مدل‌سازی، در سطح آزاد جریان توزیع فشار به صورت یک مقدار ثابت در سطح اعمال شد. در مرز ورودی با توجه به دبی عبوری و ارتفاع سطح آب در بالادست سرریز، از طریق معادله پیوستگی، سرعت تعریف شد. همچنین با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کامل در مرز خروجی، شرط مرزی Opening لحاظ شد که برای این شرط مرزی فشار به طور خودکار انطباق داده می‌شود. با توجه به اینکه سرعت

سیال در روی مرزهای جامد صفر می‌باشد، مولفه‌های سرعت در تمام مرز مشترک بدنه سرریز و کانال برابر با صفر در نظر گرفته شد. در مرکز طول سرریز مورد مطالعه، صفحه تقارنی تعریف شد. از این شرط مرزی برای شبیه‌سازی دو بعدی میدان جریان و به حداقل رساندن اندازه مش مورد نیاز استفاده گردید. جهت شکل‌گیری سطح آزاد سیال از آنالیز حجم سیال (VOF) استفاده شد. روش VOF اجازه تغییر سطح آزاد در طول زمان و مکان را می‌دهد. جریان به صورت جریان دائمی و با ۵۰۰ تکرار اجرا شد. جهت کنترل همگرایی مساله از ملاک همگرایی مجذور ریشه باقی‌مانده استفاده گردید. جریان شبیه‌سازی شده روی سرریز تاج دایره‌ای با زوایای ۴۵ و ۹۰ درجه و زوایای ۶۰ و ۴۵ درجه به ازای $H_1/R = 1.35$ در (شکل ۴) آورده شده است.

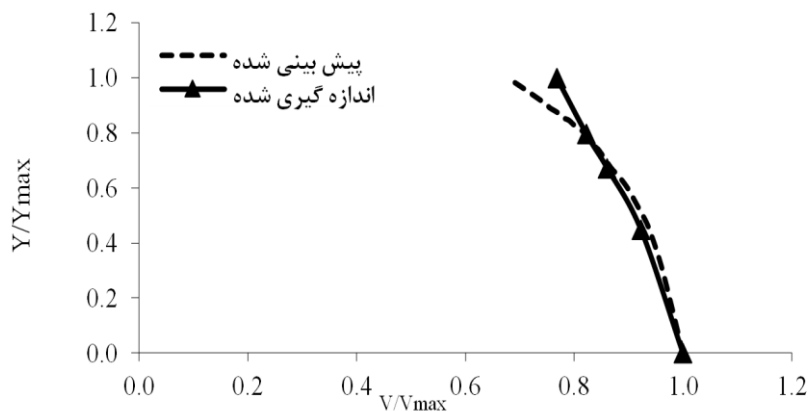


شکل ۴: شبیه‌سازی جریان روی سرریز تاج دایره‌ای: الف) $\alpha = 90, \beta = 45$ و ب) $\alpha = 60, \beta = 45$

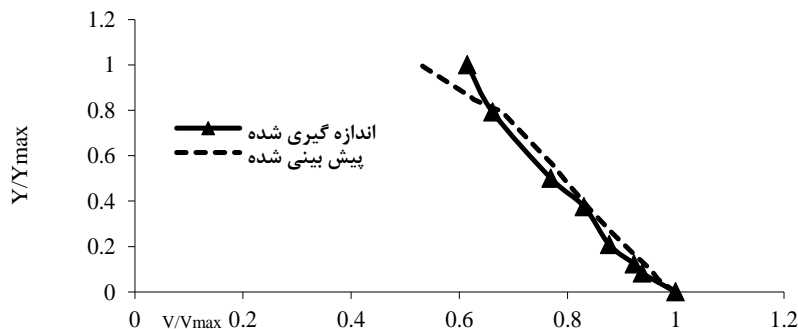
به منظور ارزیابی نرم افزار در شبیه‌سازی جریان، توزیع سرعت و فشار روی تاج سرریز، با نتایج اندازه‌گیری مقایسه شد. پروفیل سرعت جریان شبیه‌سازی شده روی تاج سرریز در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ آورده شده است. با تقسیم سرعت جریان در هر عمق به سرعت حداکثر روی تاج سرریز و از تقسیم عمق جریان به عمق حداکثر روی تاج سرریز، پروفیل‌های سرعت به صورت بی بعد در آمده‌اند. در جریان ایده‌آل سرعت حداکثر روی تاج سرریز اتفاق می‌افتد. اما در جریان واقعی سرعت حداکثر بلافاصله روی تاج سرریز رخ نمی‌دهد بلکه در فاصله‌ای به ضخامت لایه مرزی (δ) بالاتر از تاج قرار می‌گیرد. جریان در خارج لایه مرزی غیر چرخشی است و بار کل در فاصله‌ای بعد از لایه مرزی تا سطح آب ثابت است. با توجه به ناچیز بودن ضخامت لایه مرزی در مقابل عمق جریان روی تاج سرریز، از این ضخامت صرف نظر شده است و پروفیل‌های سرعت از بلافاصله بالای ضخامت لایه مرزی تا سطح آب ترسیم شده است. همانگونه که در نمودارها ملاحظه می‌گردد، مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان روی سرریز تاج دایره‌ای برای عمق‌های کم داشته و لی با افزایش عمق آب روی تاج سرریز فاصله سرعت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده زیاد می‌شود و به حداکثر مقدار خود روی سطح آب می‌رسد. همچنین تفاوت محسوسی بین توانایی مدل در شبیه‌سازی سرعت جریان روی سرریز تاج دایره‌ای

با زوایای $\alpha = 90, \beta = 45$ و سرریز با زوایای $\alpha = 60, \beta = 45$ مشاهده نمی‌شود ولی در مجموع می‌توان گفت که مدل برای سرریز با زوایای ۴۵-۹۰ اندکی بهتر عمل کرده است. با تقسیم فشار در هر عمق بر میزان فشار بر روی تاج سرریز و از تقسیم عمق جریان به عمق حداکثر روی تاج سرریز، پروفیل‌های فشار به صورت بی بعد در آمده‌اند. جریان در خارج لایه مرزی غیر چرخشی است و بار کل در فاصله‌ای بعد از لایه مرزی تا سطح آب ثابت است. همچنین تفاوت محسوسی بین حالت غیر لزج و جریان آشفته (به همراه مدل آشفتگی $k-\varepsilon$) دیده نمی‌شود.

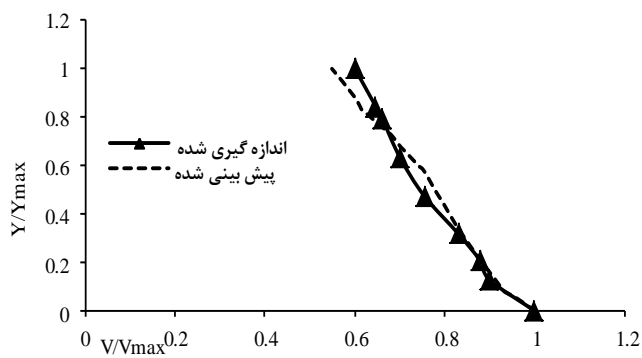
در دامنه H_1/R مطالعه شده در این پروژه، تغییرات H_1/R باعث تغییرات پروفیل فشار شده است به طوری که افزایش این پارامتر کاهش فشار روی تاج سرریز را به دنبال دارد. همانطور که از نمودارها (۹-۱۲) ملاحظه می‌شود، پیش‌بینی نرم‌افزار تطابق بسیار خوبی با مقادیر اندازه‌گیری دارد. شیب بالادست و پایین دست سرریز در خروجی مدل تأثیر چندانی نداشته و مدل به خوبی پروفیل‌های فشار را برای هر دو شیب شبیه‌سازی کرده است. به طور کلی نتایج مدل در شیب ۴۵-۹۰ نسبت به ۶۰-۴۵ بهتر می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از مدل فیزیکی و مدل ANSYS-CFX بیانگر تطابق خوبی بودند. لذا می‌توان این مدل را به دلیل هزینه کمتر و زمان بهینه تر جایگزین مدل فیزیکی کرد.



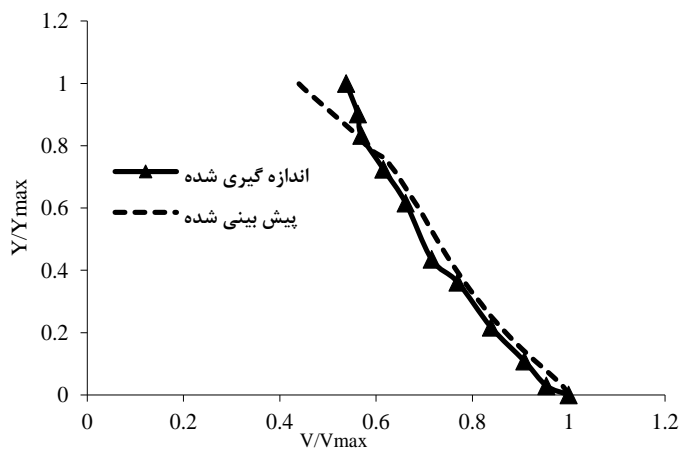
شکل ۵: توزیع سرعت روی تاج سرریز $\alpha = 90, \beta = 45$ و $H_1/R = 0.44$



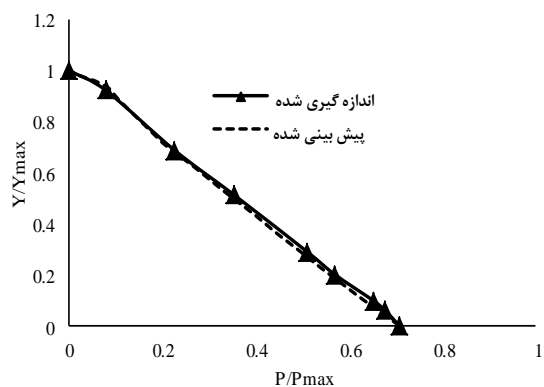
شکل ۶: توزیع سرعت روی تاج سرریز $\alpha = 90, \beta = 45$ و $H_1/R = 0.9$



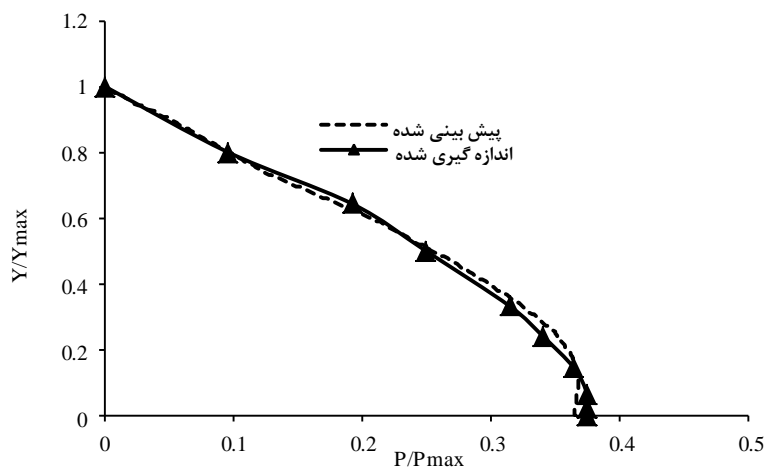
شکل ۷: توزیع سرعت روی تاج سرریز $\alpha = 60, \beta = 45$ و $H_1/R = 0.78$



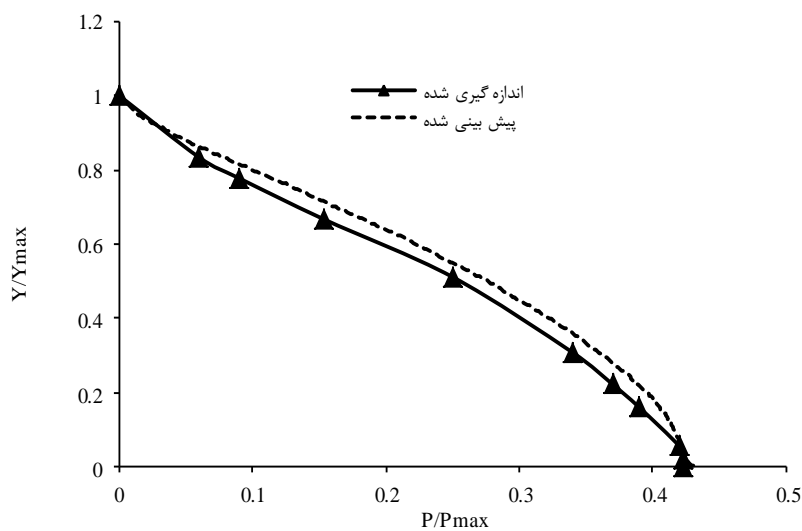
شکل ۸: توزیع سرعت روی تاج سرریز $\alpha = 60, \beta = 45$ و $H_1/R = 1.35$



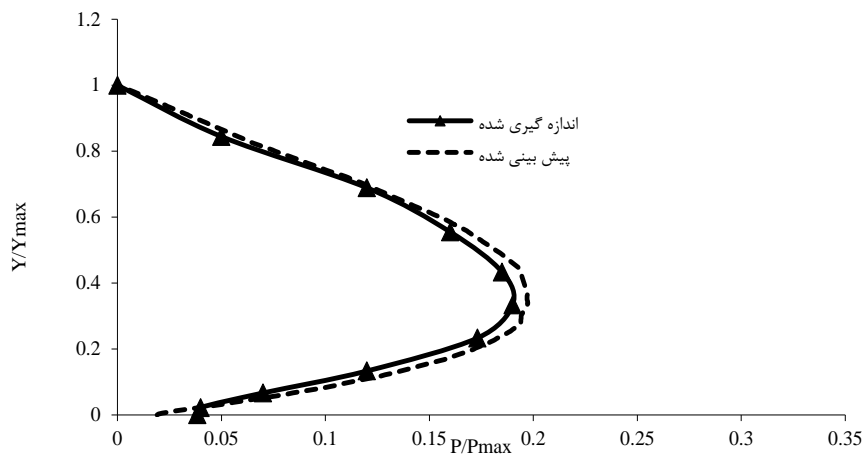
شکل ۹: توزیع فشار روی تاج سرریز $\alpha = 90, \beta = 45$ و $H_1/R = 0.44$



شکل ۱۰: توزیع فشار روی تاج سرریز $H_1/R = 0.9$ و $\alpha = 90, \beta = 45$



شکل ۱۱: توزیع فشار روی تاج سرریز $H_1/R = 0.78$ و $\alpha = 60, \beta = 45$



شکل ۱۲: توزیع فشار روی تاج سرریز $H_1/R = 1.35$ و $\alpha = 60, \beta = 45$

نتیجه‌گیری

ANSYS CFX، نرم‌افزاری کارآمد و چند منظوره برای شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی در تمام سطوح و پیچیدگی می‌باشد. سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان از اجزای مهم و ضروری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشند. در بین این سازه‌ها، سرریزها به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق از کاربرد بیشتری برخوردارند. هدف از این پروژه شبیه‌سازی جریان بر روی سرریز تاج دایره‌ای با استفاده از نرم افزار ANSYS-CFX و مقایسه آن با داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. در پروژه حاضر مطالعات بر روی دو سرریز مجزا یکی با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و قائم و دیگری با شیب پایین دست و بالادست به ترتیب ۴۵ درجه و ۶۰ درجه انجام شد. شبیه‌سازی جریان برای ۳ دبی مختلف جریان و باطبع سه مقدار مختلف (H_1/R) انجام گردید. نتایج نشان داد که مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان روی سرریز تاج دایره‌ای برای عمق‌های کم داشته ولی با افزایش عمق آب روی تاج سرریز فاصله سرعت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده زیاد می‌شود و به حداکثر مقدار خود روی سطح آب می‌رسد. همچنین تفاوت محسوسی بین توانایی مدل در شبیه‌سازی سرعت جریان روی سرریز تاج دایره‌ای با زوایای $\alpha = 90, \beta = 45$ و سرریز با زوایای $\alpha = 60, \beta = 45$ مشاهده نمی‌شود. تغییرات H_1/R باعث تغییرات پروفیل فشار شده، به طوری که افزایش این پارامتر کاهش فشار روی تاج سرریز را به دنبال دارد. شیب بالادست و پایین دست سرریز در خروجی نرم افزار تأثیر چندانی نداشته و مدل به خوبی پروفیل‌های فشار را برای هر دو شیب شبیه‌سازی کرده است. به طور کلی نتایج مدل در شیب ۴۵-۹۰ نسبت به ۴۵-۶۰ بهتر می‌باشد.

منابع

- اسماعیلی، ک.، نقوی، ب.، کورش وحید، ف. و یزدی، ن. (۱۳۸۹). مدل سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه ای، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۴، ص ۱۷۹-۱۶۶.
- حیدرپور، م.، افضل‌ی مهر، ح.، و خرمی، الف. (۱۳۸۱). کاربرد تابع جریان در اطراف سیلندر دایره ای شکل در سرریزهای تاج دایره ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، شماره ۶، ص ۶۰-۵۱.
- حیدرپور، م.، ایزدی نیا، ا. و سعادت پور، ع. (۱۳۸۵). بررسی توزیع فشار روی تاج سرریزهای استوانه ای و تاج دایره ای با ارتفاعات مختلف. ص ۳۴۵-۳۵۱. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت، دانشگاه شهید چمران اهواز.

فرسادی‌زاده، د.، خسروی نیا، پ. و ورجاوند، پ. (۱۳۸۷). بررسی ضریب جریان در سرریزه ای استوانه ای با استفاده از مدل عددی فلوئنت، ص ۳۳، مجموعه مقالات (CFD). چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۷ تا ۲۰ اردیبهشت، دانشگاه تهران.

Bardina, J. E., Huang, P. G. and Coakley, T. J. (1997). Turbulence Modeling, Validation, Testing and Development, NASA Technical Memorandum 110446.

Baughn, J. W., Hoffman, M. A., Takahashi, R. K. and Launder, B. E. (1984). Local heat transfer downstream of an abrupt expansion in a circular channel with constant wall heat flux. J. Heat Transfer. 106 (4): 789-796.

Chen, Q. and Dai, G. (2002). Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped Spillway Overflow. J. Hyd. Eng, ASCE, 128: 683-688.

Dargahi, B. (2004). Experimental study and 3D numerical simulations for a free over flow spillway. J. Hydraul Engin, ASCE, 132: 899-907.

Johnson, M. and Savege, B. (2006). Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tail water. J. Hydraulic. Eng. 132(12): 1353-1357.

Liu, C., Huhe, A. and Wenju, M. A. (2002). Numerical and experimental investigation of flow over semicircular weir. Acta Mechanica Sinica, 18: 594-602.

Menter, F. R., (1993). Zonal Two Equation $k-\omega$ Turbulence Models for Aerodynamic Flows. AIAA Paper 290-296.

Raw, M. (1996). Robustness of Coupled Algebraic Multigrid for the Navier-Stokes Equations. AIAA Paper 290-297.