

شبه‌سازی جریان سنج روزنه‌ای هم مرکز به منظور محاسبه ضریب تخلیه در جریان متلاطم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

ناصر ثقة الاسلامی^{۱*}، عبدالرضا سیف‌زاده عمرانی^۲، پویان ثقة الاسلامی^۳

۱- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی شیمی

۲- شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود، گروه مهندسی شیمی

۳- مشهد، دانشگاه سجاد، دانشکده مهندسی

پیام نگار: slami@um.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، نظر به اهمیت اندازه‌گیری جریان، فشار، افت فشار و جبران آن در صنایع نفت و گاز و چگونگی تبدیل محاسبات نظری به واقعی با تعیین ضریب تخلیه، با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، ضریب تخلیه جریان سنج روزنه‌ای^۱ در جریان متلاطم در بازه β بین ۰/۳ تا ۰/۷ محاسبه شده است. در این تحقیق، مدل به صورت تقارن محوری^۲ در نظر گرفته شده و از مدل $(k-\epsilon)$ برای جریان متلاطم استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با داده‌های آزمایشگاهی موجود در بازه عدد رینولدز ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ معرف ایجاد خطایی بین حداقل ۰/۲۵ و حداکثر ۴/۳۶ درصد می‌باشد. لذا با توجه به هزینه کم محاسبات^۳ و قابل اطمینان بودن و دقت این روش، می‌توان از آن برای محاسبه ضریب تخلیه جریان سنج روزنه‌ای هم مرکز استفاده کرد.

کلمات کلیدی: شبه‌سازی، جریان سنج روزنه‌ای، جریان متلاطم، ضریب تخلیه، دینامیک سیالات محاسباتی

۱- مقدمه

روزنه‌ای، ورق نازکی است که می‌توان آن را بین فلانچ‌های لوله قرار داد که کم هزینه بوده و نصب یا تعویض آن آسان می‌باشد. قسمت ورودی جریان سنج که به صورت هم مرکز در لوله قرار دارد ممکن است از مواد معلق پوشیده شود. برای رفع این مشکل، می‌توان از جریان سنج غیر هم مرکز^۴ استفاده کرد. از معایب اصلی جریان سنج می‌توان ظرفیت محدود و افت ارتفاع فشاری دائمی را که ناشی از انبساط کنترل نشده در پایین دست جریان^۵ است، نام برد. همان‌طور که می‌دانیم محاسبات نظری با آنچه که در عمل به دست می‌آید اندکی متفاوت است که این مسئله برای جریان سنج روزنه‌ای نیز

چگونگی اندازه‌گیری جریان، محاسبه فشار، افت فشار و چگونگی جبران آن از دیرباز مورد نظر دانشمندان بوده و راه‌های مختلفی را برای اندازه‌گیری آنها ارائه کرده‌اند. همچنین برای اندازه‌گیری جریان و محاسبه فشار، ابزارهای مختلفی وجود دارد که هر کدام، بسته به نیاز، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول (۱) مشخصه‌های مهم سه نوع وسیله اندازه‌گیری از آن جمله ونتوری، جریان سنج روزنه‌ای و نازل، نشان داده شده و تعریف گردیده‌اند [۱]. صفحه جریان سنج

4 Eccentric orifice
5 Down stream

1 Discharge coefficient
2 Axisymmetric
3 CPU time

• خط جریان در مقاطع ۱ و ۲ انحنای ندارد و در این مقاطع فشار یکنواخت است.

$$Z_1 = Z_2 \quad \bullet$$

بنابراین، از معادله برنولی داریم:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] \quad (2)$$

همچنین از معادله پیوستگی می‌توان نوشت:

$$(-\rho V_1 A_1) + (\rho V_2 A_2) = 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2 \Rightarrow \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad (4)$$

با جایگذاری، چنین خواهیم داشت:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (5)$$

که در رابطه فوق سرعت نظری برابر خواهد بود با:

$$V_r = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_r)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_r}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (6)$$

اما شدت جریان‌های جرمی با توجه به روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\dot{m} \text{ (نظری)} = \rho V_2 A_2 = \rho \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} A_2 \quad (7)$$

یا

$$\dot{m} \text{ (نظری)} = \frac{A_r}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_r}{A_1} \right)^2}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_r)} \quad (8)$$

صادق است. در طراحی جریان سنج روزنه‌ای ابتدا می‌بایستی کاربرد معادلات پیوستگی و برنولی را مورد بررسی قرار داد تا سپس چگونگی تبدیل محاسبات نظری به عملی با قرار دادن ضریب C (ضریب تخلیه یا ضریب جریان سنج روزنه ای) مورد ارزیابی قرار گیرد. نکته مهم در این قسمت، به دست آوردن ضریب تخلیه برای جریان‌هایی با رینولدز بالا می‌باشد [۲].

۲- فرمولبندی مسئله

بیشتر جریان سنج‌ها بر مبنای شتاب ذره جریان در یک قسمت نازل کار می‌کنند. می‌دانیم که تغییر سرعت باعث تغییر فشار می‌شود. این تغییر فشار را با استفاده از یک فشار سنج الکتریکی یا مکانیکی یا با استفاده از فشارسنج می‌توان اندازه گرفت و سپس شدت جریان را با کاربرد تحلیل نظری یا از رابطه آزمایشی به دست آورد [۳ و ۴]. جدایی جریان در لبه تیز گلوگاه نازل باعث ایجاد منطقه گردشی می‌شود. جریان اصلی از گلوگاه نازل همچنان شتاب می‌گیرد و سپس انقباض ونا^۱ در مقطع ۲، دوباره شتاب منفی می‌گیرد تا مجرا پر شود (شکل (۱)). در انقباض ونا، مساحت جریان به حداقل می‌رسد، خطوط جریان مستقیم هستند و فشار در عرض کانال یکنواخت است [۵ و ۱].

با کاربرد معادلات پیوستگی و برنولی، می‌توان شدت جریان نظری را به اختلاف فشار بین مقاطع ۱ و ۲ ارتباط داد. سپس، با استفاده از ضرایب تصحیح تجربی، شدت جریان واقعی را به صورت زیر تعیین کرد:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (1)$$

که در رابطه (۱) مفروضات زیر صادق می‌باشند:

- جریان پایا
- جریان تراکم‌ناپذیر
- جریان در امتداد یک خط جریان
- عدم وجود اصطکاک
- سرعت یکنواخت در مقاطع ۱ و ۲

1 Vena Contracta

گره‌ها کمتر باشد، محاسبات دقیق‌ترند و نتایج بهتری حاصل خواهد شد. شبیه‌سازی جریان سنج روزنه‌ای هم مرکز هم به صورت سه بعدی و هم دو بعدی امکان پذیر است. برای شبیه‌سازی جریان سنج روزنه‌ای به صورت دو بعدی به نحوی که خصوصیات شکل سه بعدی را داشته باشد باید نیمی از شکل ترسیم گردد و یک محور تقارن برای آن در نظر گرفته شود. در این صورت، به علت هم مرکز بودن جریان سنج روزنه‌ای و برابر بودن فاصله‌ها در دو طرف و با توجه به خصوصیت این محور، نرم‌افزار، شکل را به طور کامل می‌چرخاند و سطح کامل را در نظر می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده، جریان سنج به صورت دوبعدی رسم شده و زاویه لبه آن 45° در نظر گرفته شده است. در این تحقیق، طول جریان سنج ۱ متر و قطر لوله ورودی جریان 0.10 متر و فاصله لبه جریان سنج 0.02 متر برای تمام بازه‌ها ثابت در نظر گرفته شده است.

$$\dot{m} (\text{عملی}) = \frac{C A_t}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (9)$$

$$\left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{D_t}{D_1}\right)^4 = \beta^4 \quad (10)$$

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (11)$$

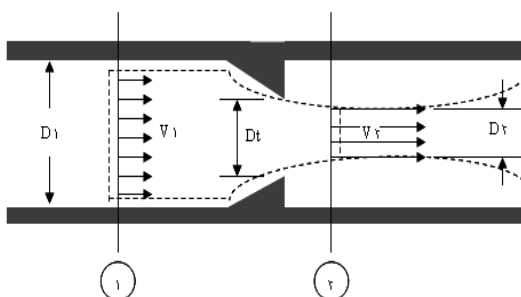
$$Q = C * A_t * \sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} * \sqrt{2 * (P_1 - P_2) / \rho} \quad (12)$$

۳- شبیه‌سازی

اولین مرحله شبیه‌سازی، طراحی یک هندسه مناسب برای جریان سنج است. مرحله بعد طراحی، ایجاد یک شبکه‌بندی مناسب برای آن می‌باشد. شبکه‌بندی، مهمترین مرحله در شبیه‌سازی است و می‌بایستی با دقت انجام شود. به طور کلی هر چه فاصله بین

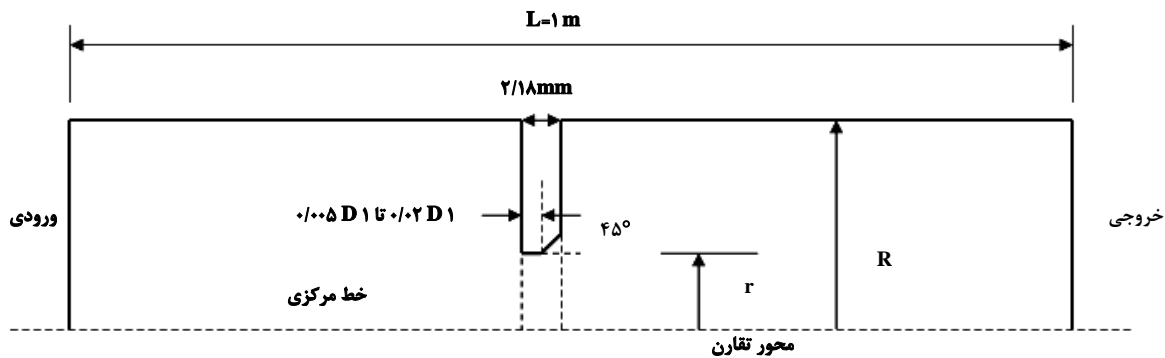
جدول ۱- مشخصه‌های مهم سه نوع جریان سنج ونتوری، روزنه‌ای و نازل [۲]

نوع جریان سنج	افت ارتفاع فشاری	هزینه
روزنه‌ای	زیاد	کم
نازل جریان	متوسط	متوسط
ونتوری	کم	زیاد



شکل ۱- جریان در داخل نازل

1. Mesh



شکل ۲- مشخصه‌های یک جریان سنج روزنه ای هم مرکزی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است

- جریان خروجی از جریان سنج یا فشار خروجی
- دیواره جریان سنج
- خط تقارن

۳-۲ تحلیل مدل

در این تحقیق، سیال، تراکم ناپذیر و متلاطم در نظر گرفته شده است. مایع ورودی به جریان سنج، آب است که اطلاعات مربوط به آن در نرم افزار تعریف شده است. همچنین از روش حل تفکیکی^۱ به علت کاربرد آن برای سیال تراکم ناپذیر با سرعت های متوسط و کم استفاده شده است. ضمناً از مدل تقارن محوری به علت وجود تقارن و برای تعیین مدل فیزیکی از مدل $(k-\epsilon)$ به علت وجود جریان معشوش با رینولدز بالا استفاده شده است. شرایط مرزی k و ϵ به صورت زیر محاسبه شده‌اند [۷]:

$$k = \frac{3}{2} (U_{avg} I)^2 \quad (14)$$

$$\epsilon = C\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{0.07L} \quad (15)$$

شدت اغتشاش^۲ به صورت تقریبی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = 0.16(Re)^{\frac{1}{8}} \quad (16)$$

برای شبیه‌سازی جریان سنج روزنه ای ابتدا شکل را در نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی که ابزاری برای طراحی گرافیکی سیستم است، با بدست آوردن مختصات لازم، رسم می‌کنیم. این نرم افزار، قابلیت اتصال با نرم افزارهای گوناگون دینامیک سیالات محاسباتی را دارد. برای به دست آوردن مختصات، داریم:

$$\beta = \frac{D_1}{D_1} \quad (13)$$

که برای شبیه‌سازی‌های در این تحقیق، β را برابر با $0/3$ ، $0/5$ ، $0/6$ ، $0/7$ در نظر می‌گیریم و با ثابت در نظر گرفتن قطر ورودی، قطر جریان سنج را در اندازه های مختلف محاسبه می‌کنیم. همان‌طور که در شکل (۲) نیز نشان داده شده است، برای ایجاد یک استوانه کامل در سیستم دو بعدی این قطر را نصف می‌کنیم (به عبارت دیگر نیمی از شکل را رسم می‌کنیم). بعد از رسم جریان سنج روزنه‌ای، آن را شبکه‌بندی می‌کنیم. که در قسمت مرکزی جریان سنج که محل عبور جریان برای اندازه‌گیری فشار است از تعداد گره بیشتری استفاده شده است. افزایش گره‌ها در این قسمت، باعث دقیق‌تر شدن جواب‌ها می‌شود و خطای کمتری را حاصل می‌گردد [۶].

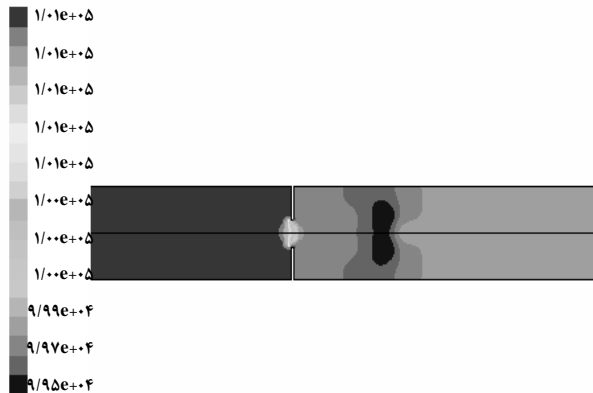
۳-۱ تعیین شرایط مرزی

شرایط مرزی مسئله به قرار زیر است:

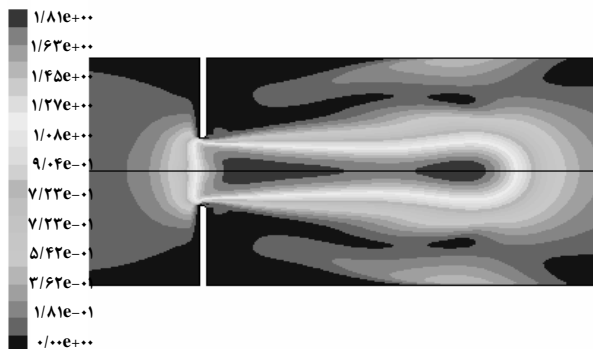
- سرعت ورودی جریان به جریان سنج

1. Segregated
2 Turbulent intensity

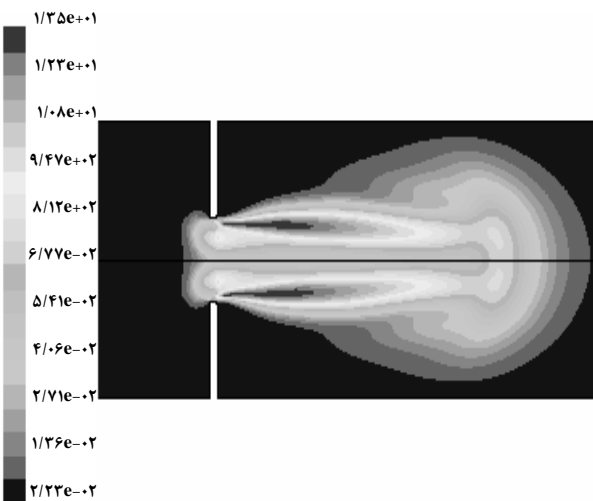
محاسبات برای اعداد رینولدز در بازه ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ و برای β در بازه ۰/۳ تا ۰/۷ و Dt بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ صورت گرفته و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. نتایج، معرف آن است که حداقل و حداکثر خطای شبیه سازی برای ضریب تخلیه جریان سنج روزنه‌ای هم مرکز به ترتیب حدود ۰/۲۵ و ۴/۳۶ درصد می‌باشند.



شکل ۴- چگونگی ایجاد گردابه در جریان سنج (کانتور فشار)



شکل ۵- کانتورهای سرعت در جریان سنج روزنه‌ای



شکل ۶- میزان آشفتگی در جریان سنج

همچنین برای محاسبه سرعت ورودی داریم:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad ; \quad D = D_1 \quad (17)$$

$$10000 \leq Re \leq 200000$$

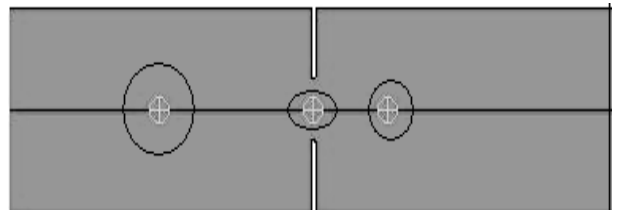
$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{998.2 * V * 0.1}{0.001003} \quad (18)$$

برای اندازه‌گیری فشار در جریان سنج روزنه‌ای و مقایسه آن با نتایج تجربی، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده، نقاطی با فاصله‌های D و $\frac{D}{2}$ از مرکز جریان سنج در نظر گرفته شده است. نقطهٔ میانی، سرعت را در مرکز جریان سنج نشان می‌دهد.

۴- بحث و تحلیل نتایج

۴-۱ تأثیر قطر و سرعت ورودی در جریان سنج‌ها

در این شبیه‌سازی، قطر لوله ثابت در نظر گرفته شده است و قطر جریان سنج روزنه ای تغییر می‌کند. همان‌طوری که در شکل (۴) نشان داده شده است، گردابه‌هایی در دو طرف صفحه جریان سنج روزنه ای تشکیل می‌شود که با نتایج تجربی مطابقت دارد. ضمناً با افزایش β ، ضریب تخلیه نیز بزرگتر خواهد شد. همچنین با افزایش سرعت ورودی در هر بازه، ضریب تخلیه نیز کاهش خواهد یافت. شکل‌های (۵) و (۶) نیز به ترتیب جهت کانتورهای سرعت و میزان آشفتگی را در جریان سنج روزنه ای نشان می‌دهند [۹ و ۸].



شکل ۳- ایجاد نقاط در جریان سنج برای اندازه‌گیری

۴-۲ محاسبه ضریب جریان سنج روزنه ای

در این تحقیق، با قراردادن سرعت‌های مختلف (با توجه به عدد رینولدز)، فشارهای مورد نیاز به دست آمده و ضرایب روزنه محاسبه شده‌اند که این نتایج در جدول‌های (۲) تا (۵) نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از این تحقیق، برای $Beta=0.3$ و $Dt=0.3$

خطا (%)	ضریب تخلیه (تحقیق)	ضریب تخلیه (آزمایشگاهی)	$\sqrt{2} (\Delta p/\rho)$ (m/s)	V_0 (m/s)	V (m/s)	$Re \times 10^{-3}$
۲/۹۳۶	۰/۶۲۰۴	۰/۶۰۲۷	۱/۷۹۰۶۳۵۶۸	۱/۳۸۳۶۸۱	۰/۱۰۰۴	۱۰
۳/۰۲۵	۰/۶۰۱۹۸	۰/۶۰۱۶	۲/۶۹۰۴۹۲۴۸	۲/۰۷۶۵۶۱	۰/۱۵۰۷	۱۵
۳/۱۱۱	۰/۶۱۹۶	۰/۶۰۰۹	۳/۵۸۷۷۷۷۸۷۴	۲/۷۷۷۵۳۹	۰/۲۰۰۹	۲۰
۳/۱۴۸	۰/۶۱۹۱	۰/۶۰۰۲	۵/۳۸۶۸۷۲۰۵۹	۴/۱۶۱۳۲۹	۰/۳۰۱۴	۳۰
۲/۷۳۴	۰/۶۱۶۱	۰/۵۹۹۷	۸/۱۲۰۰۹۵۲۸۷	۶/۳۳۴۹۷۸	۰/۴۵۲۱	۴۵
۲/۳۵۱	۰/۶۱۳۷	۰/۵۹۹۶	۹/۰۵۹۹۰۷۳۰۰۴	۶/۹۴۸۰۸۳	۰/۵۰۲۴	۵۰
۲/۲۵۲	۰/۶۱۲۹	۰/۵۹۹۴	۱۰/۸۸۲۹۹۱۹۸	۱۰/۵۵۱۳۸	۰/۶۰۲۸	۶۰
۱/۴۸۵	۰/۶۰۸۱	۰/۵۹۹۲	۱۴/۶۲۷۱۳۳۱۷	۱۱/۲۷۳۶۵	۰/۸۰۳۸	۸۰
۱/۵۱۹	۰/۶۰۸۱	۰/۵۹۹۰	۱۸/۲۸۲۹۹۰۸۲	۱۴/۰۹۷۹۲	۱/۰۰۴۸	۱۰۰
۰/۴۵۰۹	۰/۶۰۱۴	۰/۵۹۸۷	۳۶/۹۷۶۹۷۹۸۹	۲۷/۶۵۸۰۵	۲/۰۰۹۶	۲۰۰

جدول ۳- نتایج حاصل از این تحقیق، برای $Beta=0.5$ و $Dt=0.5$

خطا (%)	ضریب تخلیه (تحقیق)	ضریب تخلیه (آزمایشگاهی)	$\sqrt{2} (\Delta p/\rho)$ (m/s)	V_0 (m/s)	V (m/s)	$Re \times 10^{-3}$
۲/۷۲۹	۰/۶۳۶۱	۰/۶۱۹۲	۰/۶۱۱۲۳۲۴۵۹	۰/۴۲۲۶۷۵۶	۰/۱۰۰۴	۱۰
۳/۰۸۹	۰/۶۳۴۰	۰/۶۱۵۰	۰/۹۲۰۵۵۲۷۴۶	۰/۷۱۰۹۸۰۸	۰/۱۵۰۷	۱۵
۳/۳۹۴	۰/۶۳۳۵	۰/۶۱۲۷	۱/۲۲۸۰۴۱۴۲۵	۰/۹۴۸۹۷۴۶	۰/۲۰۰۹	۲۰
۳/۳۹۴	۰/۶۳۳۵	۰/۶۱۰۱	۱/۸۴۳۵۹۴۹	۱/۴۲۵۹۵۲	۰/۳۰۱۴	۳۰
۳/۵۵۰	۰/۶۲۹۹	۰/۶۰۸۳	۲/۷۷۹۶۶۵۵۶۹	۲/۱۴۱۵۳۸	۰/۴۵۲۱	۴۵
۳/۱۵۸	۰/۶۲۷۱	۰/۶۰۷۹	۳/۱۰۲۴۰۶۱۰۲	۲/۳۷۷۹۵۸	۰/۵۰۲۴	۵۰
۲/۳۵۴	۰/۶۲۱۶	۰/۶۰۷۳	۳/۷۵۵۵۷۳۹۳۵	۲/۸۵۱۲۵۵	۰/۶۰۲۸	۶۰
۱/۸۴۶	۰/۶۱۷۶	۰/۶۰۶۴	۵/۰۳۹۹۰۹۶۴	۳/۸۰۴۵۹۳	۰/۸۰۳۸	۸۰
۱/۵۶۷	۰/۶۱۵۴	۰/۶۰۵۹	۶/۳۲۳۵۳۴۷۳۷	۴/۷۶۰۷۲۳	۱/۰۰۴۸	۱۰۰
۱/۲۷۳	۰/۶۱۲۴	۰/۶۰۴۷	۱۲/۷۰۸۷۹۷۹۸	۹/۵۳۷۵۵۸	۲/۰۰۹۶	۲۰۰

جدول ۴- نتایج حاصل از این تحقیق، برای $\beta = 0.6$ و $Dt = 0.06$

خطا (%)	ضریب تخلیه (تحقیق)	ضریب تخلیه (آزمایشگاهی)	$\sqrt{2} (\Delta p/\rho)$ (m/s)	V_0 (m/s)	V (m/s)	$Re \times 10^{-3}$
۳/۳۸۹	۰/۶۵۲۸	۰/۶۳۱۴	۰/۳۹۸۵۶۵۷۸۴	۰/۳۰۵۱۵۶۶	۰/۱۰۰۴	۱۰
۳/۳۲۹	۰/۶۴۵۵	۰/۶۲۷۴	۰/۶۰۵۰۱۰۳۰۵	۰/۴۶۲۴۲۲۴	۰/۱۵۰۷	۱۵
۲/۴۷۹	۰/۶۳۶۴	۰/۶۲۱۰	۰/۸۱۷۹۹۴۸۹۵	۰/۶۲۰۸۰۲۹	۰/۲۰۰۹	۲۰
۲/۱۵۵	۰/۶۳۰۳	۰/۶۱۷۰	۱/۲۳۹۲۱۹۷۶۲	۰/۹۳۵۴۷۵۱	۰/۳۰۱۴	۳۰
۱/۹۳۷	۰/۶۲۶۰	۰/۶۱۴۱	۱/۸۷۱۴۴۳۵۱۳	۱/۴۰۵۶۱۹	۰/۴۵۲۱	۴۵
۰/۹۷۷	۰/۶۱۹۵	۰/۶۱۳۵	۲/۱۰۱۴۷۷۸۷۹	۱/۵۷۳۰۱۴	۰/۵۰۲۴	۵۰
۰/۵۰۶۱	۰/۶۱۵۶	۰/۶۱۲۵	۲/۵۳۷۴۹۲۲۷۸	۱/۸۸۳۹۵	۰/۶۰۲۸	۶۰
۰/۷۸۵۳	۰/۶۰۶۴	۰/۶۱۱۲	۳/۳۷۹۹۸۰۶۸۴	۲/۵۴۰۲۸۲	۰/۸۰۳۸	۸۰
۰/۷۵۳۶	۰/۶۰۵۸	۰/۶۱۰۴	۴/۲۹۸۱۹۵۴۴۴	۳/۱۶۹۳	۱/۰۰۴۸	۱۰۰
۰/۲۴۷۶	۰/۶۰۴۲	۰/۶۰۸۵	۸/۶۱۷۲۷۰۳۹۳	۶/۳۶۷۷۵۴	۲/۰۰۹۶	۲۰۰

جدول ۵- نتایج حاصل از این تحقیق، برای $\beta = 0.7$ و $Dt = 0.07$

خطا (%)	ضریب تخلیه (تحقیق)	ضریب تخلیه (آزمایشگاهی)	$\sqrt{2} (\Delta p/\rho)$ (m/s)	V_0 (m/s)	V (m/s)	$Re \times 10^{-3}$
۴/۳۵۹	۰/۶۷۲۶	۰/۶۴۴۵	۰/۲۶۵۵۲۱۷۰۳	۰/۲۱۶۸۳۸۸	۰/۱۰۰۴	۱۰
۴/۰۹۷	۰/۶۶۰۶	۰/۶۳۴۶	۰/۴۰۵۸۱۵۹۳۳	۰/۳۲۶۰۴۳	۰/۱۵۰۷	۱۵
۳/۸۱۳	۰/۶۵۳۳	۰/۶۲۹۳	۰/۵۴۶۹۹۸۱۷۲۹	۰/۴۳۵۳۰۴۶	۰/۲۰۰۹	۲۰
۳/۵۱۲	۰/۶۴۵۳	۰/۶۲۳۴	۰/۸۳۰۸۲۸۱۶۲	۰/۶۴۳۶۹۸۵	۰/۳۰۱۴	۳۰
۳/۲۴۶	۰/۶۳۹۲	۰/۶۱۹۱	۱/۲۵۸۱۲۳۳۳۸	۰/۹۸۳۹۵۰۶	۰/۴۵۲۱	۴۵
۳/۰۹۰	۰/۶۳۷۲	۰/۶۱۸۱	۱/۴۰۲۴۸۶۸۲۹	۱/۰۹۳۷۰۵	۰/۵۰۲۴	۵۰
۳/۱۲۹	۰/۶۳۶۰	۰/۶۱۶۷	۱/۶۸۶۰۴۳۶۸۸	۱/۳۱۳۶۰۵	۰/۶۰۲۸	۶۰
۳/۱۵۵	۰/۶۳۴۲	۰/۶۱۴۸	۲/۲۵۴۵۳۹۸۴۴	۱/۷۵۲۰۴۵	۰/۸۰۳۸	۸۰
۲/۸۰۳	۰/۶۳۰۸	۰/۶۱۳۶	۲/۸۳۳۵۰۹۱۰۶	۲/۱۹۳۸۸۱	۱/۰۰۴۸	۱۰۰
۲/۵۵۳	۰/۶۲۶۵	۰/۶۱۰۹	۵/۷۰۵۷۴۶۳۴۷	۴/۹۵۵۰۹	۲/۰۰۹۶	۲۰۰

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از نرم افزار تجاری فلوئنت به منظور محاسبه ضریب تخلیه جریان سنج روزنه ای در جریان متلاطم در بازه β بین ۰/۳ تا ۰/۷ استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با داده‌های آزمایشگاهی در بازه اعداد رینولدز بین ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ معرف ایجاد خطایی بین حداقل ۰/۲۵ و حداکثر ۴/۳۶ درصد است. لذا با توجه به هزینه کم محاسبات و قابل اطمینان بودن این روش و دقت آن، می‌توان آن را برای جریان سنج روزنه‌ای قطعی که در مورد آن داده های تجربی وجود ندارد گسترش داد.

۶- فهرست علائم و نشانه‌ها

سطح لوله	(m^2) A
سطح جریان سنج	$A_t (m^2)$
نسبت قطر جریان سنج به قطر لوله	β
ضریب تخلیه	C
قطر لوله	$(m) D_1$
جریان سنج قطر	$D_t (m)$
اختلاف فشار	$(Pa) \Delta P$
لوله شعاع	$R (m)$
شعاع جریان سنج	$r (m)$
سرعت ورودی جریان	$V (ms^{-1})$
سرعت در مرکز جریان سنج	$V_0 (ms^{-1})$
چگالی	$\rho (kgm^{-3})$
گرانروی	$(kg/m.s) \mu$

مراجع

- [1] Fox R.W. and McDonald A.T., "Introduction to fluid mechanics", McGraw-Hill, New York, 4th Edition, pp: 119-128, (1998).
- [2] Pirumov U.G., "Gas flow in nozzles", Springer-Verlag, New York, 2nd Edition, pp: 97-143, (1986).
- [3] Simpson R.J., "Flexible Orifice Plate", Measurement and Control, vol. 17, July/August, pp: 125-143, (1984).
- [4] Upp E.L. and LaNasa, "Fluid flow measurement, A practical guide to accurate flow measurement", Gulf Professional Publishing, 2nd Edition, pp: 169-171, (2002).
- [5] Miller R.W., "Flow measurement engineering handbook", McGraw-Hill, New York, 2nd Edition, pp:1035-1060, (1989).
- [6] FLUENT User Manual, Fluent Europe Ltd., Sheffield, UK., pp:346-429, (1992).
- [7] Wilcox D.C., "Turbulence Modeling for CFD", DCW Industries, Inc., La Canada, California, 2nd Edition, pp: 161-207, (1998).
- [8] ANSI/ASME MFC-2M, "Measurement uncertainty for fluid flow in closed conduits", ANSI, New York, (1988).
- [9] Bean H.S., "Fluid meters, Their theory and application", American Society of Mechanical Engineers, New York, 6th Edition, pp:48-50, (1971).