

بررسی عددی سه بعدی جریان سیال عبوری از یک دبی سنج اریفیس مدور با مدل‌های مختلف جریان مغشوش

مجید مرادی باستانی

دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

مجید سبزوoshانی*

دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک و پژوهشکده انرژی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

اریفیس‌ها از پرکاربردترین دبی‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری دبی جریان سیالات داخل لوله‌ها در صنایع می‌باشند. برای شبیه‌سازی جریان داخل لوله همراه با دبی‌سنج اریفیس، بکارگیری مدل اغتشاشی مناسب اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق بررسی عددی جریان دائم آب عبوری از یک اریفیس مدور با استفاده از مدل‌های مختلف جریان مغشوش انجام می‌شود. بدین منظور ابتدا اریفیس درون لوله توسط نرم‌افزار ANSYS CFX 15 به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده و مدل‌های مختلف جریان مغشوش مانند مدل‌های اغتشاشی $k-\varepsilon$ استاندارد، BSL، SST و BSL RSM اعمال شده است. با مقایسه نتایج حاضر با نتایج معتبر سایر محققین، می‌توان دریافت مدل جریان مغشوش $k-\varepsilon$ استاندارد دارای بهترین تطابق با نتایج تجربی است. همچنین ضریب تخلیه این اریفیس با استفاده از این مدل با استانداردهای معتبر ISO 5167 و ASME مقایسه شده است که میزان خطای آن در حدود پنج درصد است. در این مدل سرعت بیشینه در فاصله‌ای حدود قطر دهانه اریفیس و در پایین دست آن اتفاق می‌افتد و در این مقطع، سرعت جریان آب به بیش از چهار برابر سرعت جریان آب ورودی به لوله می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی عددی سه بعدی، اریفیس مدور، ضریب تخلیه، مدل‌های مختلف جریان مغشوش، نتایج تجربی.

A 3D Numerical study of Fluid flow through Circular Orifice flow Meter Via various Turbulence Models

M. Moradi Bastani
M. Sabzpooshani

Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran
Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract

Orifices are one of the common flowmeter for fluid flow measurement in industrial piping. Selection the suitable turbulence model has very important to achieve good accuracy of flow measuring in numerical simulation. This paper describes numerical simulation of the flow through a circular orifice in pipe by using computational fluid dynamics (CFD) with various turbulence modeling. Therefore the orifice in pipe is simulated in Ansys CFX 15 on 3D mode and different turbulence models such as standard $k - \varepsilon$, BSL, SST and BSL RSM are employed. Via comparison of these results with experimental data and some valid numerical results, it can be found that the standard $k - \varepsilon$ model is the best agreement with experimental data. Also discharge coefficient of orifice is compared with standards ISO 5167 and ASME with about five percent error. In this model, maximum velocity is occurred downstream of orifice at distance of nearly one-time diameter of orifice hole. In this section the velocity of fluid is more than four times of the velocity at inlet the pipe.

Keyword: 3D Numerical Simulation, Circular orifice, Discharge Coefficient, Various turbulence models, Experimental data.

توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. دیویس و ماتینگلی [۲] از دو مدل مغشوش برای جریان عبوری از میان یک اریفیس صفحه‌ای با عدد رینولدز بالا استفاده کردند و نشان دادند که مدل $k-\varepsilon$ دقت قابل قبولی دارد. ابو ال- عزم علی و همکاران [3]، هارست و واسیلیکاس [4] و سعود و واسیلیکاس [5] با استفاده از روشهای تجربی، جریان مغشوش و پارامترهای مؤثر بر افت فشار در اریفیس را مورد بررسی قرار دادند.

جانکوفسکی و همکاران [6] مدلی را برای پیش‌بینی افت فشار و ضریب تخلیه جریان تراکم‌ناپذیر عبوری از یک اریفیس در محدوده وسیعی از اعداد رینولدز ارائه نموده‌اند. تونای [۷] خصوصیات جریان آرام و مغشوش عبوری از یک اریفیس نصب شده در داخل لوله را هم در حالت کلی و هم با ضخامت‌های مختلف صفحه اریفیس مورد بررسی قرار داد. ایامسا-آرد و همکاران [۸] به بررسی جریان مغشوش عبوری از یک اریفیس با نسبت قطرهای مختلف و بکارگیری مدل استاندارد و مدل تنش‌های رینولدز و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی نیل [۹]

۱- مقدمه

اندازه‌گیری دبی سیال در فرآیندهای مختلف موجود در صنایعی مانند پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه با دقت قابل قبول از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. برای اندازه‌گیری دبی سیالات تجهیزات مختلفی مانند اریفیس‌مترها، دبی‌سنج‌های توربینی، ونتوری‌مترها، نازل‌ها، دبی‌سنج‌های آلتراسونیک و غیره وجود دارند که بر اساس اصولی مانند اندازه‌گیری حجمی و اختلاف فشار کار می‌کنند. در این میان اریفیس‌ها به خاطر ویژگی‌هایی مانند سادگی در ساخت، تعمیر و نگهداری، اقتصادی بودن، قابلیت اندازه‌گیری دبی سیال در محدوده‌های مختلف و استفاده در سیالات و گازها، در طیف بسیار گسترده‌ای مورد استفاده صنایع قرار گرفته است [۱]. جریان عبوری از اغلب اریفیس‌های درون لوله‌ها کاملاً مغشوش می‌باشد. اندازه‌گیری دبی سیال توسط دبی‌سنج‌های اریفیس بر اساس اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف اریفیس می‌باشد، لذا مدل‌سازی دقیق و انتخاب مدل مناسب جریان مغشوش در آنها بسیار حائز اهمیت است. بررسی عملکرد اریفیس‌ها

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: spooshan@kashanu.ac.ir

$$-\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳) μ لزجت سیال و μ_t لزجت مغشوش است. هدف از شبیه‌سازی تنش‌های رینولدز، با استفاده از رابطه اساسی گردابه-لزجت بوزینسک، یافتن مقدار لزجت مغشوش (μ_t) است. به این منظور می‌توان از مدل‌های گردابه-لزجت صفر معادله‌ای، یک معادله‌ای و دو معادله‌ای استفاده کرد. از آن جایی که در مدل‌های دو معادله‌ای، دو معادله به صورت مستقل از یکدیگر حل می‌شوند، مدل‌های کاملی بوده و دارای دقت قابل قبولی می‌باشند. در ادامه چند مدل دو معادله-ای برای حل عددی جریان مغشوش عبوری از اریفیس ارائه می‌شود.

۳-۱- مدل $k-\varepsilon$ استاندارد

مدل $k-\varepsilon$ استاندارد که دقت مناسب آن سبب جذابیت این مدل در شبیه‌سازی‌های بسیاری از جریان‌های مغشوش شده است، از رابطه (۴) جهت مدل‌سازی لزجت مغشوش استفاده می‌کند:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

این مدل از دو معادله یکی برای انرژی جنبشی جریان آشفته (k) و دیگری برای نرخ اتلاف انرژی جنبشی جریان آشفته (ε) استفاده می‌کند.

۳-۲- مدل $k-\omega$ (BSL) Baseline

این مدل بهبود یافته مدل $k-\omega$ Wilcox می‌باشد. در مدل $k-\omega$ Wilcox از دو معادله یکی برای انرژی جنبشی جریان آشفته (k) و دیگری برای فرکانس اغتشاش (ω) استفاده شده است. در این مدل جهت مدل‌سازی لزجت مغشوش از رابطه (۵) استفاده می‌شود:

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (5)$$

مدل $k-\omega$ Wilcox در نواحی از میدان حل که دارای عدد رینولدز پایین می‌باشد (مانند نواحی نزدیک دیواره) دارای دقت خوبی می‌باشد ولی یکی از بزرگترین مشکلات آن حساسیت زیاد این روش نسبت به جریان آزاد ورودی می‌باشد. در مدل BSL، دو مدل $k-\varepsilon$ استاندارد و مدل $k-\omega$ Wilcox با یکدیگر ترکیب می‌کند.

۳-۳- مدل انتقال تنش برشی

این مدل بهبود یافته مدل BSL می‌باشد. مدل BSL دارای تخمین مناسبی از لزجت مغشوش در جدایش جریان از سطوح نمی‌باشد. در مدل انتقال تنش برشی علاوه بر تابع آمیختگی F_1 از یک تابع آمیختگی دیگر F_2 برای تخمین بهتر لایه مرزی در نواحی نزدیک دیواره استفاده می‌کند. لازم به ذکر است در هنگام استفاده از مدل BSL و انتقال تنش برشی بهتر است $\gamma^+ \approx 1$ در نظر گرفته شود.

۳-۴- مدل تنش رینولدز BSL RSM

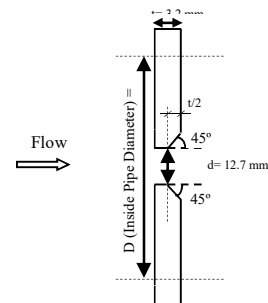
در این مدل از مدل تنش رینولدز بر پایه مدل BSL (ترکیب دو مدل $k-\omega$ Wilcox و $k-\varepsilon$ استاندارد) به صورت رابطه (۶) استفاده شده است.

پرداختند. فیلهو و همکاران [۱۰] میزان افت فشار آب عبوری از صفحات اریفیس نصب شده را مورد بررسی قرار دادند. آنها برای این کار از چند مدل جریان مغشوش استفاده کرده و در نهایت نشان دادند که مدل $k-\varepsilon$ استاندارد دارای دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد.

در این مقاله مدل‌های مختلف جریان مغشوش عبوری از یک اریفیس مدور داخل لوله، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های مختلف جریان مغشوش مانند $k-\varepsilon$ استاندارد، BSL، BSL RSM و SST، بر روی آن اعمال شده و توزیع سرعت بی‌بعد در مرکز لوله و توزیع فشار استاتیک بی‌بعد بر روی دیواره با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در نهایت این نتایج با نتایج تجربی و نتایج عددی معتبر مقایسه شده است.

۲- فیزیک مسأله

جریان آب عبوری از یک اریفیس با ضخامت ۳.۲ میلی‌متر، ضریب قطر $\beta = d/D = 0.5$ و زاویه پخ ۴۵ درجه مطابق شکل ۱ که درون یک لوله با قطر ۲۵.۴ میلی‌متر نصب شده است، با عدد رینولدز 1.84×10^4 مورد مطالعه قرار می‌گیرد.



شکل ۱- مشخصات هندسی اریفیس بر اساس مرجع [۹]

۳- معادلات حاکم

معادلات پایستاری حاکم بر جریان تراکم‌ناپذیر مغشوش، لزج، دائم و سه‌بعدی و نیز با توجه به ناچیز بودن تغییرات دما، مسئله دما ثابت در نظر گرفته شده است. این معادلات با در نظر گرفتن مقادیر متوسط کمیت‌های نوسانی سرعت در مختصات دکارتی مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات حاکم به ترتیب شامل معادلات پیوستگی و معادلات مومنتوم می‌باشند:

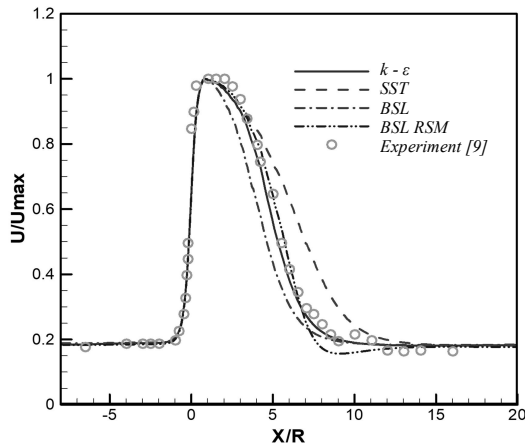
$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i' u_j'}) \quad (2)$$

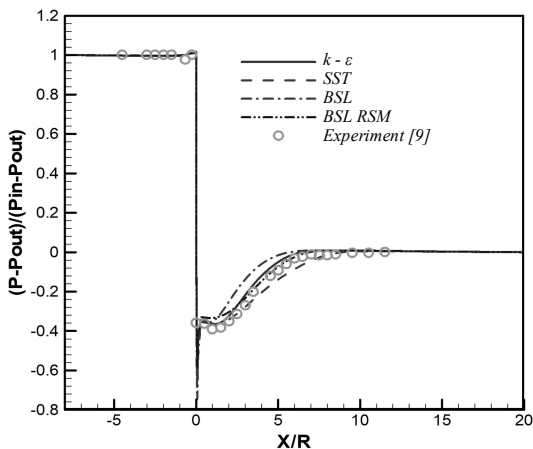
در رابطه (۲) اندیس‌های i یا j برابر ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به جهت‌های x ، y و z است. δ_{ij} دلتای کرونگر می‌باشد. عبارت $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ تانسور تنش‌های رینولدز می‌باشد که هدف از حل عددی جریان مغشوش محاسبه میزان این تنش در نقاط مختلف جریان است. به منظور شبیه‌سازی تنش‌های رینولدز از رابطه اساسی گردابه-لزجت بوزینسک که برای جریان تراکم‌ناپذیر به صورت رابطه (۳) می‌باشد، استفاده می‌شود:

۶- بررسی نتایج

در شکل ۵ سرعت بی بعد مرکز لوله در طول آن و در شکل ۶ فشار استاتیک دیواره لوله با استفاده از حل عددی جریان مغشوش با چهار مدل اغتشاشی با نتایج تجربی مرجع [۹] مقایسه شده است.



شکل ۵ - سرعت بی بعد مرکز لوله در طول آن برای حل عددی جریان مغشوش عبوری از اریفیس با استفاده از مدل‌های اغتشاشی مختلف



شکل ۶ - فشار استاتیک بی بعد دیواره لوله برای حل عددی جریان مغشوش عبوری از اریفیس با استفاده از مدل‌های اغتشاشی مختلف

در جدول ۱ خطای بیشینه سرعت بی بعد مرکز لوله و فشار استاتیک بی بعد دیواره لوله برای هر یک از مدل‌های اغتشاشی نسبت به نتایج تجربی آورده شده است.

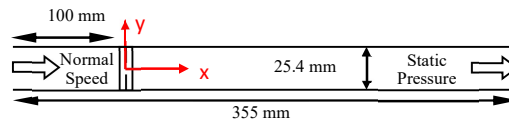
جدول ۱- بیشینه خطای نتایج حل عددی با مدل‌های مختلف جریان مغشوش نسبت به نتایج تجربی [۹]

مدل اغتشاشی	بیشینه خطای سرعت بی بعد مرکز لوله	بیشینه خطای فشار استاتیک بی بعد دیواره لوله
مدل $k-\epsilon$	٪۱۱	٪۸
مدل SST	٪۶۵	٪۵۷
مدل BSL	٪۳۳	٪۲۵
مدل BSL RSM	٪۲۷	٪۱۵

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_k} (u_k \omega) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_k} \right] + 2\rho(1 - F_1) \frac{1}{\sigma_\omega \omega} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k} - \beta' \rho \omega^2 \quad (6)$$

۴- شرایط مرزی

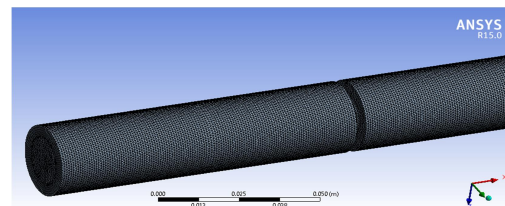
در شکل ۳ میدان حل عددی و شرایط مرزی آن نشان داده شده است. به منظور مدل‌سازی مناسب گردابه‌های به وجود آمده پس از اریفیس، طول لوله پس از آن بزرگ در نظر گرفته شده است. جریان ورودی لوله کاملاً توسعه یافته و پروفیل سرعت قانون توانی یک هفتم است. در مقطع خروجی شرط مرزی فشار نسبی استاتیک برابر صفر است.



شکل ۳- طرحواره میدان حل عددی جریان عبوری از اریفیس داخل لوله به همراه شرایط مرزی آن

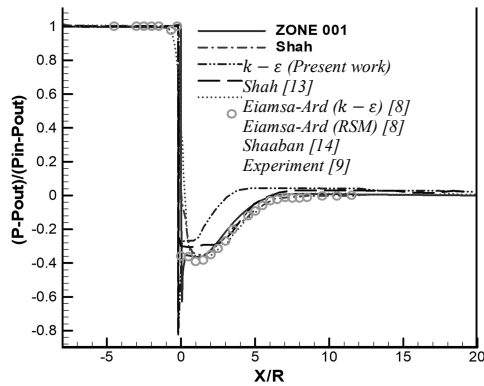
۵- روش حل عددی

برای تعیین میدان سرعت و فشار، معادلات حاکم بر جریان تراکم‌ناپذیر، دائم در مختصات دکارتی شامل معادله پیوستگی و معادلات مومنتم در جریان مغشوش به همراه روابط مربوط به هر یک از مدل‌های اغتشاشی باید به طریق مناسبی حل شوند. با توجه به مغشوش بودن جریان بایستی هر یک از مدل‌های جریان مغشوش به صورت جداگانه برای حل عددی مورد استفاده قرار گیرند. در شکل ۴ شبکه بندی میدان حل عددی برای مدل $k-\epsilon$ استاندارد نشان داده شده است. در این مدل فاصله اولین گره تا دیواره طوری انتخاب شده است که در ناحیه لگاریتمی قرار گیرد. در این مدل $y^+ = 34$ می باشد.

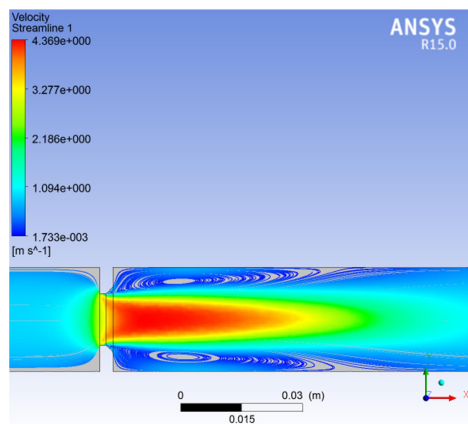


شکل ۴- شبکه بندی میدان حل عددی

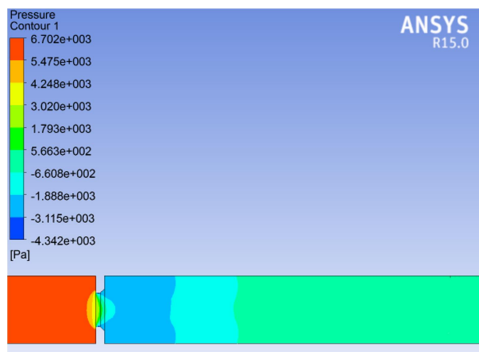
برای اطمینان استقلال نتایج از تعداد نقاط شبکه و یافتن تعداد نقاط مورد نیاز، شبکه‌های متفاوتی برای مدل‌سازی بررسی شده و سرعت بی بعد مرکز لوله در طول آن با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج به دست آمده مشخص نمود شبکه‌های با تعداد نقاط بیش از ۶۰۰۰۰۰ تغییر محسوسی در نمودار سرعت بی بعد ندارد و لذا از شبکه مذکور استفاده شده است.



شکل ۸- فشار استاتیک بی بعد دیواره لوله برای حل عددی جریان عبوری از اریفیس با مدل $k-\epsilon$ استاندارد و نتایج سایر محققین



شکل ۹- خطوط سرعت جریان و گردابه‌های در پشت اریفیس

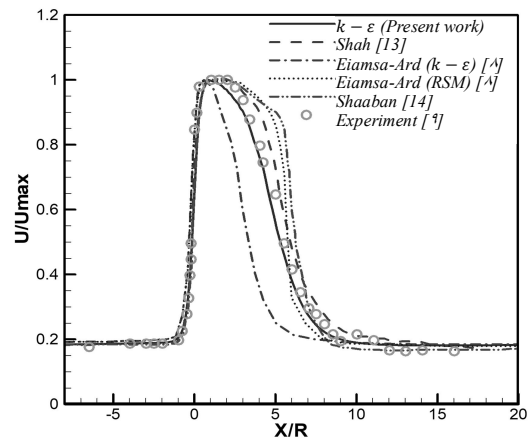


شکل ۱۰- کانتور فشار جریان درون لوله در حین عبور از اریفیس

با توجه به این نتایج، هر دو این کمیت‌ها علاوه بر محل نصب اریفیس ($x=0$)، در فاصله‌ای حدود سه برابر قطر دهانه اریفیس و در پایین دست آن دارای بیشینه مقدار خود هستند. علت افزایش این کمیتها نیز وجود جریان برگشتی و ایجاد گردابه در پشت صفحه اریفیس می‌باشد که تقریباً تا اندازه‌ای معادل چهار برابر قطر دهانه اریفیس در پایین دست آن امتداد یافته است.

با توجه به جدول ۱ و نیز شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان دریافت از بین چهار مدل اغتشاشی، مدل $k-\epsilon$ استاندارد دارای خطای کمتر و تطابق بهتر با نتایج تجربی مرجع [۹] می‌باشد.

در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب سرعت بی بعد مرکز لوله در طول آن و فشار استاتیک دیواره لوله با استفاده از حل عددی جریان مغشوش با مدل $k-\epsilon$ استاندارد، با نتایج حل عددی سایر محققین و نیز نتایج تجربی مرجع [۹] مقایسه شده است. از بین نتایج حل عددی سایر محققین، کار حاضر با استفاده از مدل $k-\epsilon$ استاندارد دارای تطابق بهتری با نتایج تجربی مرجع [۹] می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه سرعت بی بعد مرکز لوله برای حل عددی جریان عبوری از اریفیس با مدل $k-\epsilon$ استاندارد و نتایج سایر محققین

بنابراین با توجه به اینکه مدل $k-\epsilon$ استاندارد نسبت به سایر مدل‌های اغتشاشی مورد مطالعه دقت قابل قبولی دارد، در ادامه به بررسی نتایج حاصل از حل عددی با استفاده از این مدل پرداخته می‌شود.

در شکل ۹ خطوط سرعت جریان و نیز ناحیه برگشت جریان و گردابه‌های بوجود آمده در پشت صفحه اریفیس دیده می‌شود. مرکز گردابه‌ها تقریباً در فاصله‌ای معادل یک و نیم برابر قطر دهانه اریفیس و در پایین دست آن می‌باشد. در شکل ۱۰ کانتور فشار حاصل از شبیه‌سازی عددی اریفیس نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشینه فشار در میدان حل عددی برابر $6/7$ کیلو پاسکال و بیشینه سرعت برابر $4/37$ متر بر ثانیه می‌باشد. سرعت بیشینه تقریباً در فاصله‌ای معادل نصف قطر لوله و در پایین دست اریفیس اتفاق می‌افتد. این مقطع که سرعت جریان آب بیش از چهار برابر سرعت جریان آب ورودی به لوله است، در اثر پدیده انقباض ونا^۱ دارای کمترین مقطع عبور جریان آب می‌باشد. لازم به ذکر است بیشترین سرعت جریان آب که در ورودی لوله 0.9 متر بر ثانیه می‌باشد، در ناحیه ونا در حدود $4/37$ متر بر ثانیه خواهد شد.

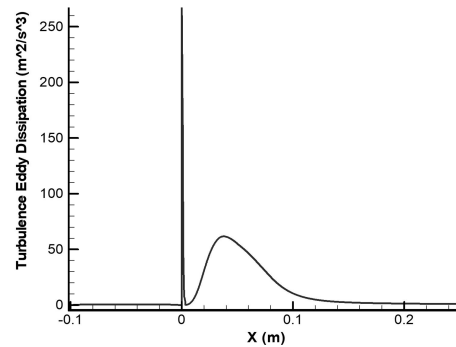
شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب به منحنی نرخ اضمحلال انرژی جنبشی جریان آشفتنه و تغییرات انرژی جنبشی جریان آشفتنه بر روی دیواره لوله و در امتداد آن اشاره دارد.

^۱ Vena contracta

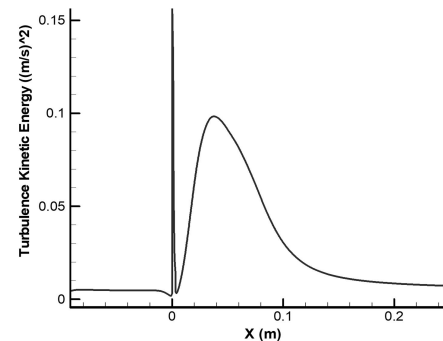
ANSYS CFX 15 پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد توزیع سرعت بی‌بعد در مرکز لوله و توزیع فشار استاتیک بی‌بعد بر روی دیواره برای مدل جریان مغشوش $k-\epsilon$ استاندارد دارای تطابق بسیار خوبی با نتایج تجربی مرجع [۱۱] است و نتایج استفاده از این مدل، در مقایسه با نتایج معتبر سایر محققین تطابق بهتری با نتایج تجربی دارد. همچنین سرعت بیشینه که بیش از چهار برابر سرعت جریان آب ورودی است، در فاصله‌ای حدود یک برابر قطر دهانه اریفیس و در پایین دست آن اتفاق افتاده است. همچنین گردابه‌های پشت اریفیس تقریباً تا اندازه‌ای معادل دو برابر قطر لوله هستند و مرکز این گردابه‌ها تقریباً در فاصله‌ای معادل یک و نیم برابر قطر دهانه اریفیس قرار دارد. ضریب تخلیه اریفیس در حالت حل عددی با ضریب تخلیه آن بر اساس استانداردهای ISO 5167 و ASME نیز مقایسه شده است که مقدار خطای آن در حدود پنج درصد است.

۸- مراجع

- [1] Miller R.W., *Flow measurement engineering handbook*, Third Edition, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [2] Davis R.W. and Mattingly G.E., Numerical Modeling of Turbulent Flow through thin Orifice Plates. *National Bureau of Standards Special Publications 484, Proceedings of the Symposium on Flow in Open Channels at NBS*, Gaithersburg, MD, February 23-25, pp. 491-522, 1977.
- [3] Abou El-Azm Aly A., Chong A., Nicolletau F. and Beck S., Experimental study of the pressure drop after fractal-shaped orifices in turbulent pipe flows. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34, No. 1, pp. 104-111, 2010.
- [4] Hurst D. and Vassilicos J.C., Scaling and decay of fractal-generated turbulence. *Physics of Fluids*, Vol. 19, No. 3, 2007.
- [5] Seoud R.E. and Vassilicos J.C., Dissipation and decay of fractal-generated. *Physics of Fluids*, Vol. 19, No. 10, 2007.
- [6] Jankowski T.A., Schmierer E.N., Prenger F.C. and Ashworth S.P., A series pressure drop representation for flow through orifice tubes. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 130, No. 5, pp. 051201-051204, 2008.
- [7] Tunay T., *Investigation of Laminar and Turbulent Flow Characteristics through Orifice with Variable Thicknesses*, MSc. Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, 2002.
- [8] Eiamsa-Ard S., Ridluan A., Somravysin P. and Promvongse P., Numerical investigation of turbulent flow through a circular orifice. *KMITL Science and Technology Journal*, Vol. 18 (1), 2008.
- [9] Nail G.H., *A Study of 3-Dimensional Flow through Orifice Meters*, Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, 1991.
- [10] Filho J.A., Santos A.C., Navarro M.A. and Jordão E., Effect of chamfer geometry on the pressure drop of perforated plates with thin orifices, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 284, pp. 74- 79, 2015.
- [11] International Standard Organization, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full- Part2: Orifice Plates, (ISO 5167-2:2003).
- [12] American Society of Mechanical Engineers, Performance Test Codes, Flow Measurement, Section 4-orifice meters, ASME PTC 19.5-2004.
- [13] Shah M.S., Joshi J.B., Kalsi A.S., Prasad C.S.R. and Shukla D.S., Analysis of flow through an orifice meter: CFD simulation, *Chemical Engineering Science*, Vol. 71, pp. 300-309, 2012.
- [14] Shaaban S., Optimization of orifice meter's energy consumption, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 92, Issue 6, pp. 1005-1015, 2014



شکل ۱۱- تغییرات آهنگ اتلاف انرژی جنبشی جریان آشفتنه در امتداد دیواره لوله



شکل ۱۲- منحنی تغییرات انرژی جنبشی جریان آشفتنه در امتداد دیواره لوله

ضریب تخلیه اریفیس در حالت حل عددی با استفاده از مدل اغتشاشی $k-\epsilon$ استاندارد با ضریب تخلیه آن در استانداردهای ISO 5167 و ASME نیز مقایسه شده است که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲-مقایسه ضریب تخلیه اریفیس حل عددی و استانداردها

اریفیس	حل عددی	استاندارد ISO 5167 [۱۱]	استاندارد ASME [۱۲]
ضریب تخلیه	۰/۶۶۳	۰/۶۱۲۸۲	۰/۶۱۳۳۴

مقدار خطای بین ضریب تخلیه محاسباتی اریفیس در حالت حل عددی و ضریب تخلیه این اریفیس بر اساس استانداردهای ISO 5167 و ASME در حدود پنج درصد است. این نتیجه دلیل دیگری بر صحت حل عددی انجام شده می‌باشد. با توجه به جدول فوق استانداردهای مذکور ضریب تخلیه‌های یکسانی تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند.

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه یکی از کاربردهای اصلی اریفیس‌ها استفاده آنها در اندازه‌گیری دبی سیال درون لوله‌ها می‌باشد، انتخاب مدل مناسب جریان مغشوش دارای اهمیت زیادی در مدل‌سازی عددی آنها دارد. در این تحقیق به بررسی عددی سه بعدی جریان دائم آب عبوری از یک اریفیس مدور درون لوله با استفاده از مدل‌های مختلف جریان مغشوش مانند $k-\epsilon$ استاندارد، SST، BSL RSM و BSL توسط نرم‌افزار