

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران
رشته عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تعیین ضریب دبی در وسایل اندازه‌گیری دبی لوله‌ها

نگارنده: زینب فضل‌ی مقدم

استاد راهنما:

دکتر رامین امینی

شهریور ۱۳۹۵

دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زینب فضلی مقدم به شماره دانشجویی: ۹۲۰۱۵۵۴

تحت عنوان: تعیین ضریب دبی در وسایل اندازه گیری دبی لوله ها

در تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : رامین امینی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نمایندة تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : مهدی عجمی
	مهدی گلی		نام و نام خانوادگی : امیر بذرافشان مقدم
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

این نوشته امضای مردوزنی بر جلد دارد که عاشقانه مرپروردند

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر. توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند. آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانه‌ی من است.

و

خواهر و برادرانم، همراهان همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات و وجودشان همواره مایه دلگرمی و آرامش من است.

تشکر و قدردانی

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا
بر متهای همت خود کامران شدم

اکنون که این پایان نامه با لطف و عنایت الهی به اتمام رسید، اگر موفقیتی در تدوین آن حاصل شده باشد مرهون راهنمایی های بی دریغ اساتید بزرگواری است که در طول دوران تحصیل همواره تکیه گاه بنده بودند. از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر امینی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند بی نهایت سپاسگزارم.

همچنین از داوران محترم جناب آقای دکتر عجمی و بذرافشان مقدم و جناب آقای دکتر گلی نماینده تحصیلات تکمیلی کمال تشکر را دارم.

و از پدر و مادر دلسوز و فداکارم سپاسگزارم که بودندشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند. دستشان را می بوسم که عمرشان را توشه راهم کردند.

و افوس که نمی توان بازگشت و از نو ساخت، اما دست کم به آن ها که در آغاز راهم می توان یادگاری کوچک داد، شاید به کارشان آید.

تعهدنامه

اینجانب زینب فضلی مقدم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه "تعیین ضریب دبی در وسایل اندازه‌گیری دبی لوله‌ها" تحت راهنمایی دکتر رامین امینی "متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام گردیده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت گردیده است.

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

یکی از روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات در داخل لوله‌ها، اندازه‌گیری به روش اختلاف فشاری است که به لحاظ سادگی و ارزان بودن و همچنین به دلیل اینکه مبتنی بر اصول اثبات شده‌ی علمی است، دارای کاربردهای بسیار زیادی در اندازه‌گیری جریان مایعات و گازها می‌باشد. اساس اندازه‌گیری بر این امر استوار است که با قرار دادن عنصری در مسیر جریان سیال، یک اختلاف فشار در دو طرف این عنصر ایجاد می‌شود، اختلاف فشار در دو طرف عنصر که به راحتی قابل اندازه‌گیری می‌باشد، متناسب با میزان جریان سیال است. از جمله جریان‌سنج‌هایی که به روش اختلاف فشاری شدت جریان را اندازه‌گیری می‌کنند عبارت‌اند از: جریان‌سنج روزنه‌ای (اریفیس)، ونتوری متر و جریان‌سنج مخروطی. یک هدف مشترک در هر سه جریان‌سنج، تعیین دبی واقعی جریان است. برای تبدیل دبی تئوری به دبی واقعی از ضریب دبی (C_d) استفاده می‌شود. در این پژوهش رابطه‌ی بین ضریب دبی و عدد رینولدز در جریان‌سنج‌های فوق بررسی می‌شود. از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی انسیس فلونت برای تحلیل و برای تولید شبکه از نرم‌افزار ICEM-CFD استفاده شد. بررسی در دو رژیم جریان آرام و آشسته انجام گردید. برای اعداد رینولدز بالاتر از ۲۰۰۰۰ از آب و برای اعداد رینولدز کمتر از ۲۰۰۰۰ از نفت به عنوان سیال استفاده گردید. با در نظر گرفتن مدل‌هایی برای هر کدام از جریان‌سنج‌ها، هر مدل با توجه به عدد رینولدز انتخابی اجرا شده و در نهایت با تعیین اختلاف فشار بین سطوح مشخص شده، ضریب دبی متناظر به دست آمد. برای ارائه نتایج، ضریب دبی و عدد رینولدز در نمودار نیمه لگاریتمی در محور X ترسیم گردید. همچنین جهت اعتبار سنجی، نتایج به دست آمده با نتایج کارهای قبلی مقایسه شد. طبق نتایج ضریب دبی در جریان‌سنج ونتوری و مخروطی یک روند مشخصی نسبت عدد رینولدز داشتند ولی این روند در جریان‌سنج روزنه‌ای متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: جریان‌سنج اختلاف فشاری، ونتوری متر، جریان‌سنج روزنه‌ای، جریان‌سنج

مخروطی، ضریب دبی

فهرست مطالب

۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- تعریف مسئله و اهداف تحقیق
۵	۱-۲- معرفی نرم افزارها
۵	۱-۲-۱- نرم افزار ICEM-CFD
۶	۲-۱-۲-۱- نرم افزار FLUENT
۷	۳-۱-۲-۱- نرم افزار CFD-POST
۸	۳-۱- ساختار پایان نامه
۱۱	فصل دوم: پیشینه تحقیق
۱۲	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- جریان سنج روزنه‌ای (اریفیس)
۱۷	۳-۲- ونتوری متر
۲۲	۴-۲- جریان سنج مخروطی
۲۵	فصل سوم: معرفی مفاهیم اساسی
۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۶	۲-۳- معرفی جریان سنج‌ها
۲۹	۱-۲-۳- جریان سنج روزنه‌ای (اریفیس)

۳۰	.....انواع اریفیس	۳-۲-۱-۱
۳۲	.....انواع نقاط اتصال شیرهای فشار	۳-۲-۱-۲
۳۳	.....ونتوری متر	۳-۲-۲
۳۵	.....جریان سنج مخروطی	۳-۲-۳
۳۹	.....دینامیک سیالات محاسباتی	۳-۳
۴۰	.....معادلات حرکت سیال	۳-۳-۱
۴۲	.....رژیم جریان	۳-۳-۲
۴۷	فصل چهارم: مدل سازی عددی	
۴۸	.....هندسه مدل و شبکه بندی	۴-۱
۴۸	.....هندسه جریان سنج روزنه ای (اریفیس)	۴-۱-۱
۵۰	.....هندسه ونتوری متر	۴-۱-۲
۵۲	.....هندسه جریان سنج مخروطی	۴-۱-۳
۵۳	.....شبکه بندی مدل ها	۴-۱-۴
۵۶	.....شبیه سازی عددی با فلونت	۴-۲
۵۶	.....تعیین مدل حل	۴-۲-۱
۵۷	.....تعیین شرایط مرزی	۴-۲-۲
۵۷	.....تکنیک های حل مسئله	۴-۲-۳
۶۰	.....نتایج مدل سازی	۴-۳
۶۰	.....نتایج جریان سنج روزنه ای (اریفیس)	۴-۳-۱
۶۲	.....اریفیس با نسبت قطر ۰/۵	۴-۳-۱-۱

۴-۳-۱-۲- اریفیس با نسبت قطر ۰/۷..... ۶۵

۴-۳-۲- نتایج ونتوری متر..... ۶۷

۴-۳-۳- نتایج جریان سنج مخروطی..... ۷۳

۷۵ فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری..... ۷۶

۵-۲- پیشنهادات..... ۷۷

۷۹ پیوست ها

۸۵ منابع

فهرست اشکال

- ۳ شکل (۱-۱) طرح کلی جریان سنج‌های الف) روزنه‌ای ب) و نتوری متر ج) مخروطی
- ۶ شکل (۲-۱) نمایی از نرم افزار ICEM-CFD نسخه ۱۵
- ۷ شکل (۳-۱) نمایی از نرم افزار ANSYS-FLUENT نسخه ۱۵
- ۸ شکل (۴-۱) نمایی از نرم افزار CFD-POST نسخه ۱۵
- ۱۳ شکل (۱-۲) رابطه ضریب دبی و ریشه دوم عدد رینولدز
- ۱۸ شکل (۲-۲) و نتوری متر خارج از مرکز
- شکل (۳-۲) متوسط ضریب دبی در جریان آب. الف) زاویه همگرایی استاندارد ب) زاویه همگرایی غیراستاندارد
- ۱۹
- ۲۰ شکل (۴-۲) مودار تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز
- ۲۱ شکل (۵-۲) رابطه ضریب دبی با عدد رینولدز
- ۲۳ شکل (۶-۲) رابطه ضریب دبی با عدد رینولدز در نسبت قطر ۰/۷۷ و محل های مختلف ایجاد آشفتگی
- ۲۷ شکل (۱-۳) قانون برنولی در و نتوری متر
- ۲۹ شکل (۲-۳) جریان سنج روزنه‌ای
- ۳۰ شکل (۳-۳) اریفیس هم مرکز الف) لبه مربعی ب) لبه تیز

- ۳۱ شکل (۴-۳) اریفیس خارج از مرکز
- ۳۲ شکل (۵-۳) اریفیس قطاعی
- ۳۳ شکل (۶-۳) محل قرارگیری شیرهای فشار در جریان سنج روزنه ای
- ۳۴ شکل (۷-۳) ونتوری متر
- ۳۶ شکل (۸-۳) جریان سنج مخروطی
- ۳۷ شکل (۹-۳) پروفایل خطوط سرعت سیال در وضعیت توسعه یافتگی
- ۳۸ شکل (۱۰-۳) پروفایل خطوط سرعت سیال در وضعیت توسعه یافتگی و غیر توسعه یافتگی
- ۴۳ شکل (۱۱-۳) رشد لایه مرزی بر روی یک صفحه تخت
- ۴۸ شکل (۱-۴) مدل دو بعدی جریان سنج روزنه ای هم مرکز
- ۴۹ شکل (۲-۴) مدل سه بعدی اریفیس
- ۵۰ شکل (۳-۴) Universal Venturi (U.V.T) مدل دو بعدی
- ۵۰ شکل (۴-۴) Classical Venturi مدل دو بعدی
- ۵۱ شکل (۵-۴) مدل سه بعدی ونتوری
- ۵۲ شکل (۶-۴) مدل دو بعدی جریان سنج مخروطی
- ۵۳ شکل (۷-۴) مدل سه بعدی جریان سنج مخروطی

- ۵۴ شکل (۸-۴) آدرس دهی سلول های مجاور در شبکه سازمان یافته
- ۵۵ شکل (۹-۴) شبکه بندی سازمان یافته بر روی ونتوری متر
- ۶۱ شکل (۱۰-۴) تشکیل گردابه در اریفیس الف ($Re=40$) ب ($Re=100000$)
- ۶۲ شکل (۱۱-۴) روند تغییرات فشار در طول جریان سنج روزنه ای
- ۶۴ شکل (۱۲-۴) نمودار تغییرات ضریب دبی در جریان سنج روزنه ای در $\beta=0.5$
- ۶۶ شکل (۱۳-۴) نمودار تغییرات دبی در جریان سنج روزنه های $\beta=0.7$
- ۶۷ شکل (۱۴-۴) کانتور فشار ونتوری متر در $Re=50000$
- ۶۸ شکل (۱۵-۴) نمودار توزیع فشار در طول ونتوری متر در $Re=50000$
- ۶۸ شکل (۱۶-۴) کانتور سرعت در ونتوری متر در $Re=50000$
- ۷۱ شکل (۱۷-۴) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای ونتوری متر کلاسیک
- ۷۲ شکل (۱۸-۴) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای Universal Venturi
- ۷۴ شکل (۱۹-۴) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای جریان سنج مخروطی

فهرست جداول

- ۴۶ جدول (۱-۳) مقایسه نتایج ضریب دبی جریان سنج روزنه‌ای در عدد رینولدز ۱۰۰۰۰۰ در مدل‌های مختلف آشفتگی
- ۴۹ جدول (۱-۴) جزییات هندسی مدل‌های جریان سنج روزنه‌ای
- ۵۱ جدول (۲-۴) جزییات ابعادی و نتوری مترها
- ۵۳ جدول (۳-۴) جزییات ابعادی جریان سنج مخروطی
- ۵۶ جدول (۴-۴) ضرایب مدل آشفتگی RNG
- ۶۳ جدول (۵-۴) نتایج ضریب دبی جریان سنج روزنه‌ای $\beta=0.5$
- ۶۵ جدول (۶-۴) نتایج برای جریان سنج روزنه‌ای $\beta=0.7$
- ۶۹ جدول (۷-۴) نتایج و نتوری متر کلاسیک
- ۷۰ جدول (۸-۴) نتایج Universal Venturi (U.V.T)
- ۷۳ جدول (۹-۴) نتایج جریان سنج مخروطی

فهرست علائم و اختصارات

Cd	ضریب دبی
d	قطر جریان سنج
D	قطر لوله ورودی
$\beta_{orifice} = \frac{d}{D}$	نسبت قطر جریان سنج روزنه‌ای
$\beta_{venturi} = \frac{d}{D}$	نسبت قطر ونتوری متر
$\beta_{V-cone} = \sqrt{\frac{D^2 - d^2}{D^2}}$	نسبت قطر جریان سنج مخروطی

کلیات

فصل اول

مقدمه

تعریف مساله و اهداف تحقیق

ساختار پایان نامه

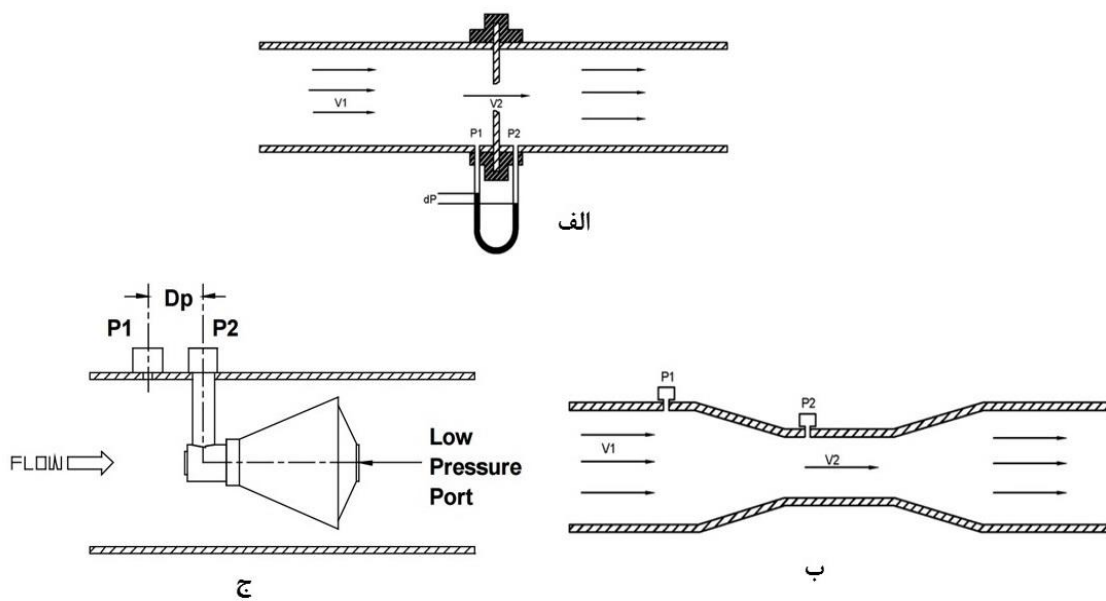
۱-۱- مقدمه

در فرآیندهای تولیدی صنایع گوناگون یکی از مباحث مهم و تأثیرگذار، اندازه‌گیری بوده که اطلاعات به‌دست‌آمده از آن را می‌توان زیربنای اصلی تصمیم‌گیری‌ها دانست که در میزان سود یا ضرر ایجادشده در کار مؤثر است. در صنایع چهار کمیت: فشار، دما، سطح مایعات و جریان سیالات از جمله کمیت‌هایی هستند که بیشتر در معرض اندازه‌گیری و کنترل قرار می‌گیرند.

اغلب کارشناسان بر این باورند که پس از اندازه‌گیری دما، مهم‌ترین کمیت قابل‌اندازه‌گیری در صنایع، تعیین جریان سیال است. با توجه به اهمیت این کمیت و همچنین تنوع در فرآیندهای مختلف در صنایع، روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری جریان سیال در داخل لوله‌های بسته وجود دارد. یکی از روش‌های اصلی در اندازه‌گیری جریان سیالات در داخل لوله‌ها، اندازه‌گیری به روش اختلاف فشاری است که به لحاظ سادگی و ارزان بودن و همچنین به دلیل اینکه مبتنی بر اصول اثبات‌شده‌ی علمی است، دارای کاربردهای بسیار زیادی در اندازه‌گیری جریان مایعات و گازها می‌باشد. اساس اندازه‌گیری براین امر استوار است که با قرار دادن عنصری در مسیر جریان سیال، یک اختلاف فشار در دو طرف این عنصر ایجاد می‌شود، اختلاف فشار در دو طرف عنصر فوق که به راحتی قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد، متناسب با میزان جریان سیال است [۱].

سه نوع از جریان سنج‌های اختلاف فشاری که در این پایان‌نامه موردبررسی قرار خواهند گرفت، عبارتند از: جریان‌سنج روزه‌ای^۱، ونتوری‌متر^۲، جریان‌سنج مخروطی^۳ که طرح کلی هر کدام در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

1- Orifice Flow Meters
2- Venturi Flow Meters
3- V-Cone Flow Meters



شکل (۱-۱) طرح کلی جریانسنج‌های الف) روزنه‌ای ب) ونتوری متر ج) مخروطی

یک هدف مشترک که در جریان‌سنج‌های ذکر شده وجود دارد، تعیین دبی واقعی جریان است. به دلایل مختلف از جمله: عدم یکنواختی پروفیل سرعت در مقطع، وجود اینرسی و لزجت سیال، آشفتگی در جریان و همچنین وجود تنگنا در دبی‌سنج‌ها و انقباض مقطع جریان که باعث می‌شود سطح مقطع واقعی از سطح مقطع تئوری کمتر شود، دبی به دست آمده دبی واقعی نیست. برای تبدیل دبی تئوری به دبی واقعی از ضریبی به نام ضریب دبی C_d استفاده می‌شود.

دریک تعریف ساده ضریب دبی نسبت نرخ جریان واقعی به نرخ جریان تئوری است؛ به عبارت دیگر ضریبی است که برای سیالات تعریف می‌شود تا دبی تئوری را به دبی واقعی جریان مربوط سازد [۲].

۱-۲- تعریف مسئله و اهداف تحقیق

همان گونه که در قسمت قبل بیان شد، ضریب دبی نسبت دبی واقعی جریان به دبی اندازه‌گیری شده توسط جریان‌سنج است که هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد دبی اندازه‌گیری شده به دبی واقعی نزدیک‌تر شده و در نتیجه دقت جریان‌سنج بالاتر می‌رود. شاید تغییرات ضریب جریان‌سنج در یک واحد عملیاتی در نظر اول کم باشد، اما باید دقت داشت که تغییرات کم هم می‌تواند تأثیر قابل توجهی در اندازه‌گیری حجم سیال عبوری داشته باشد؛ در نتیجه افزایش یا کاهش دقت جریان‌سنج می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای از نظر اقتصادی داشته باشد.

با توجه به اهمیت اندازه‌گیری جریان در صنایع گوناگون و اهمیت آن در معاملات فروش، به‌ویژه در صنایع مربوط به نفت و گاز، تعیین ضریب دبی مربوط به جریان‌سنج‌ها در هندسه و شرایط متفاوت می‌تواند یک موضوع تأثیرگذار محسوب شود.

ضریب دبی به‌طور معمول با استفاده از مقادیر و معادلات تجربی به دست می‌آید؛ این مقادیر تجربی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، تحت شرایط کنترل شده با داشتن جریان کاملاً توسعه‌یافته در بالادست جریان‌سنج به دست می‌آیند. در بسیاری از زمینه‌ها امکان یا عملی کردن شرایط آزمایشگاهی میسر نیست و تأمین نشدن شرایط لازم باعث تغییر ویژگی‌های میدان جریان می‌شود که نتیجه‌ی آن تغییر در مقادیر ضریب دبی است. به همین دلیل، به‌منظور بهبود عملکرد، می‌توان از دینامیک سیالات محاسباتی^۱ جهت شبیه‌سازی جریان‌سنج و به دست آوردن این ضریب استفاده نمود. در حالت کلی ضریب دبی تابعی از عدد رینولدز است و این در حالی است که عدد رینولدز خود تابعی از نرخ جریان است، در واقع تعیین نرخ واقعی جریان، یک فرآیند تکراری محاسبه‌ی عدد رینولدز و ضریب دبی است.

1-Computational Fluid Dynamics (CFD)

در این پایان نامه از مدل های دینامیک سیالات محاسباتی برای رسیدن به اهداف زیر استفاده می شود:

۱- ارزیابی و بررسی امکان یک راه حل کامپیوتری عددی با استفاده از مقایسه نتایج عددی با داده های آزمایشگاهی

۲- انجام شبیه سازی برای مدل های مختلف جهت تجزیه و تحلیل

۳- ارائه یک محدوده ی گسترده ای از ویژگی های ضریب دبی برای چهار نوع جریان سنج بیان شده.

۱-۲-۱- معرفی نرم افزارها

در این پایان نامه از سه نرم افزار به شرح زیر استفاده شده است:

- نرم افزار ICEM-CFD جهت مدل سازی و شبکه بندی

- نرم افزار FLUENT جهت انجام شبیه سازی و حل میدان جریان

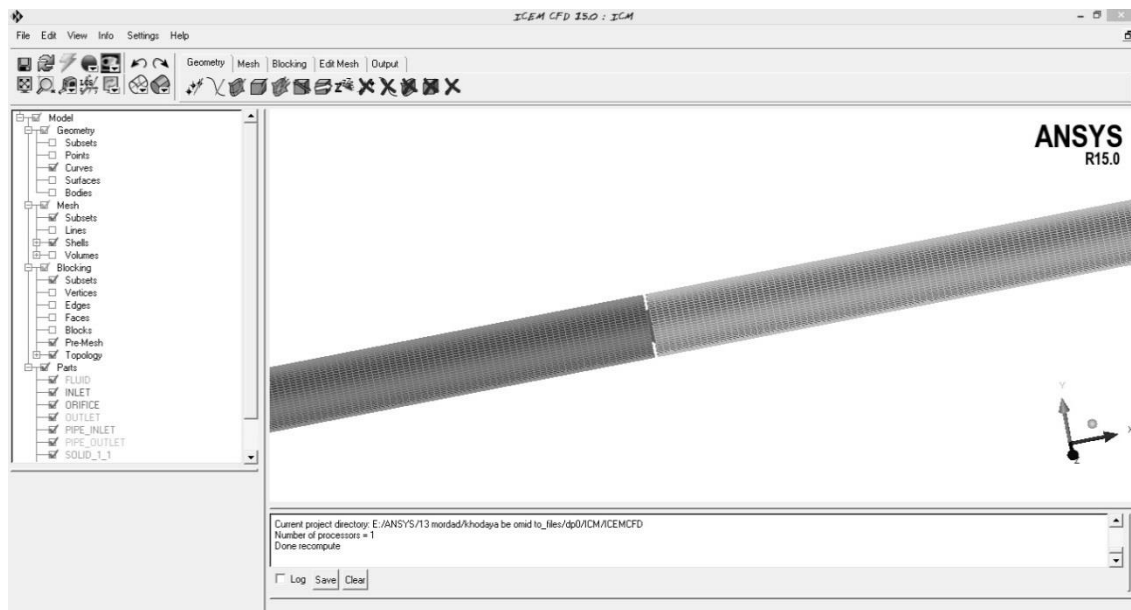
- نرم افزار CFD-POST به منظور نمایش و استخراج نتایج حل.

در ادامه هر کدام از نرم افزارها به طور مختصر معرفی می شوند.

۱-۱-۲-۱- نرم افزار ICEM-CFD

این نرم افزار که به صورت یکپارچه همراه با دیگر نرم افزارهای تحلیل در بسته نرم افزاری ANSYS ارائه می شود، یکی از قوی ترین و پرکاربردترین نرم افزارهای تولید شبکه است که در حال حاضر، به صورت گسترده استفاده می شود. توانایی های این نرم افزار در تولید شبکه های سازمان یافته و بدون سازمان و همچنین رابطه جامع آن در فراخوانی هندسه های تولید شده در سایر نرم افزارهای تولید هندسه، موجب شده است بتوان از آن در غالب پروژه های CFD استفاده نمود.

ICEM-CFD در مقایسه با نرم‌افزار متداول GAMBIT، قابلیت‌های بیشتر و مناسب‌تری جهت تولید شبکه بر روی هندسه‌های مختلف از جمله هندسه‌های پیچیده را دارد. توانایی ایجاد، تغییر و بهبود مش، همراه با تنظیمات پیشرفته و ارتباط با انواع مختلف نرم‌افزارهای مکانیک سیالات محاسباتی و تحلیل اجزای محدود از جمله مزایای این نرم‌افزار است [۳].

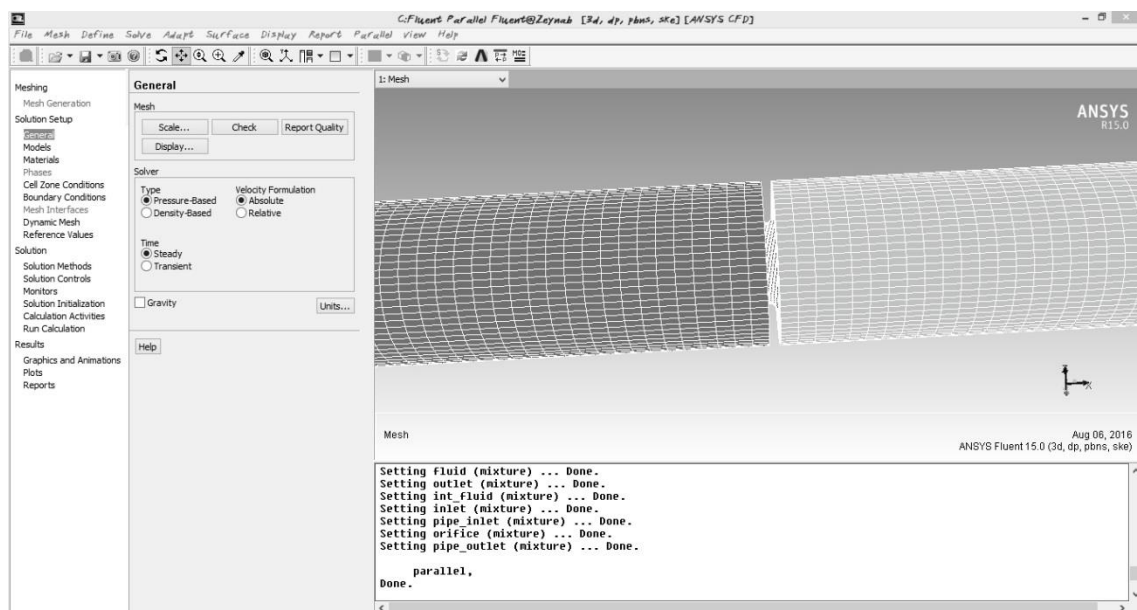


شکل (۲-۱) نمایی از نرم‌افزار ICEM-CFD نسخه ۱۵

۲-۱-۲-۱- نرم‌افزار FLUENT

این نرم‌افزار یکی از قدیمی‌ترین نرم‌افزارهای عمومی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی است که در آغاز، با کاربردهای دانشگاهی و امکانات محدود، بر پایه حل گر سازمان یافته ارائه گردید و با ارائه نسخه‌های جدید، به مدل‌ها و قابلیت‌های آن اضافه گردید و از نسخه‌های ۶ به بعد، امکان شبیه‌سازی بر روی شبکه‌های بدون سازمان فراهم گردید. در سال ۲۰۰۶، این نرم‌افزار توسط شرکت ANSYS خریداری گردید و پس از آن با نام تجاری ANSYS-FLUENT و به صورت بخشی از مجموعه نرم‌افزاری ANSYS منتشر می‌شود. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی جریان‌های دو و سه‌بعدی را دارا است و بر پایه روش حجم محدود که یک روش بسیار قوی و مناسب در روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی

می‌باشد، بنا شده است و برای تولید شبکه محاسباتی، نیازمند نرم‌افزارهای اختصاصی تولید شبکه مانند Gambit و ICEM-CFD است. قابلیت‌های فراوانی نظیر مدل‌سازی جریان‌های دائم و غیر دائم، جریان لزج و غیر لزج، احتراق، جریان مغشوش، حرکت ذرات جامد و قطرات مایع در یک فاز پیوسته و ده‌ها قابلیت دیگر، Fluent را به یک نرم‌افزار بسیار قوی و مشهور تبدیل نموده است [۴].



شکل (۱-۳) نمایی از نرم‌افزار ANSYS-FLUENT نسخه ۱۵

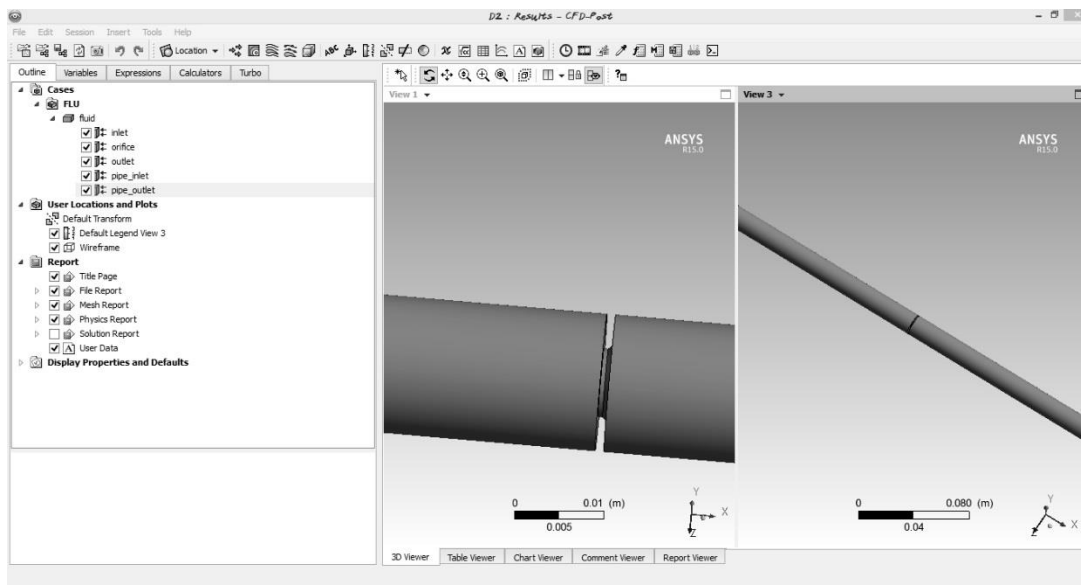
مراحل کلی این نرم‌افزار:

۱. تولید شبکه: این بخش در یکی از نرم‌افزارهای تولید شبکه، تولید و با فرمت msh به نرم‌افزار فراخوانی می‌شود.
۲. تنظیمات و انجام شبیه‌سازی: این مراحل در نرم‌افزار FLUENT انجام شده و حاصل آن، مقادیر محاسبه شده متغیرهای سلولی، در قالب فایل با پسوند dat خواهد بود.
۳. مشاهده نتایج: نتایج ذخیره شده در فایل dat به صورت مستقیم در خود نرم‌افزار، قابل مشاهده است. در کنار آن، می‌توان به منظور تحلیل مناسب‌تر نتایج و استخراج خروجی‌های باکیفیت بالا، از نرم‌افزار اختصاصی تحلیل نتایج ANSYS، با نام CFD-POST نیز استفاده نمود.

۱-۲-۱-۳- نرم‌افزار CFD-POST

CFD-POST یک نرم‌افزار قوی در پس پردازش است و برای آسان کردن تجزیه و تحلیل کمی از

نتایج حاصل از شبیه سازی های دینامیک سیالات محاسباتی استفاده می شود. این نرم افزار برخلاف نرم افزار FLUENT، قادر است تصاویری با کیفیت و جلوه های ویژه ارائه دهد و همچنین با استفاده از آن، می توان انیمیشن هایی با کیفیت HD و تعداد دلخواه فریم بر ثانیه تولید نمود [۵].



شکل (۴-۱) نمایی از نرم افزار CFD-POST نسخه ۱۵

۱-۳- ساختار پایان نامه

کلیه مطالب این پایان نامه در پنج فصل ارائه شده است که بعد از بیان کلیاتی در مورد تحقیق و اهداف کار در قالب فصل اول سایر فصول به شرح زیر است:

در فصل دوم به بررسی پیشینه کارهای انجام شده در زمینه جریان سنج های روزنه ای، و نتوری متر و مخروطی پرداخته شده است.

فصل سوم از دو بخش تشکیل شده است که در بخش اول آن به معرفی جریان سنج ها و بیان ویژگی ها و اصول آن ها پرداخته شده؛ در بخش دوم به بررسی مفاهیم دینامیک سیالات محاسباتی که دانستن آن ها لازمه ی انجام کار است پرداخته شده است.

در فصل چهارم نحوه ی مدل سازی و شبیه سازی عددی، مواد و روش های به کار رفته در کار توضیح

داده شده و در نهایت نتایج حاصل در قالب نمودار و جدول ارائه شده است.

در آخر در فصل پنجم نتیجه‌گیری کلی از کار و پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه شده است.

فصل دوم

پسینه تحقیق

مقدمه

تحقیقات انجام شده جریان سنج روزنه ای (اریفیس)

تحقیقات انجام شده ونتوری متر

تحقیقات انجام شده جریان سنج مخروطی

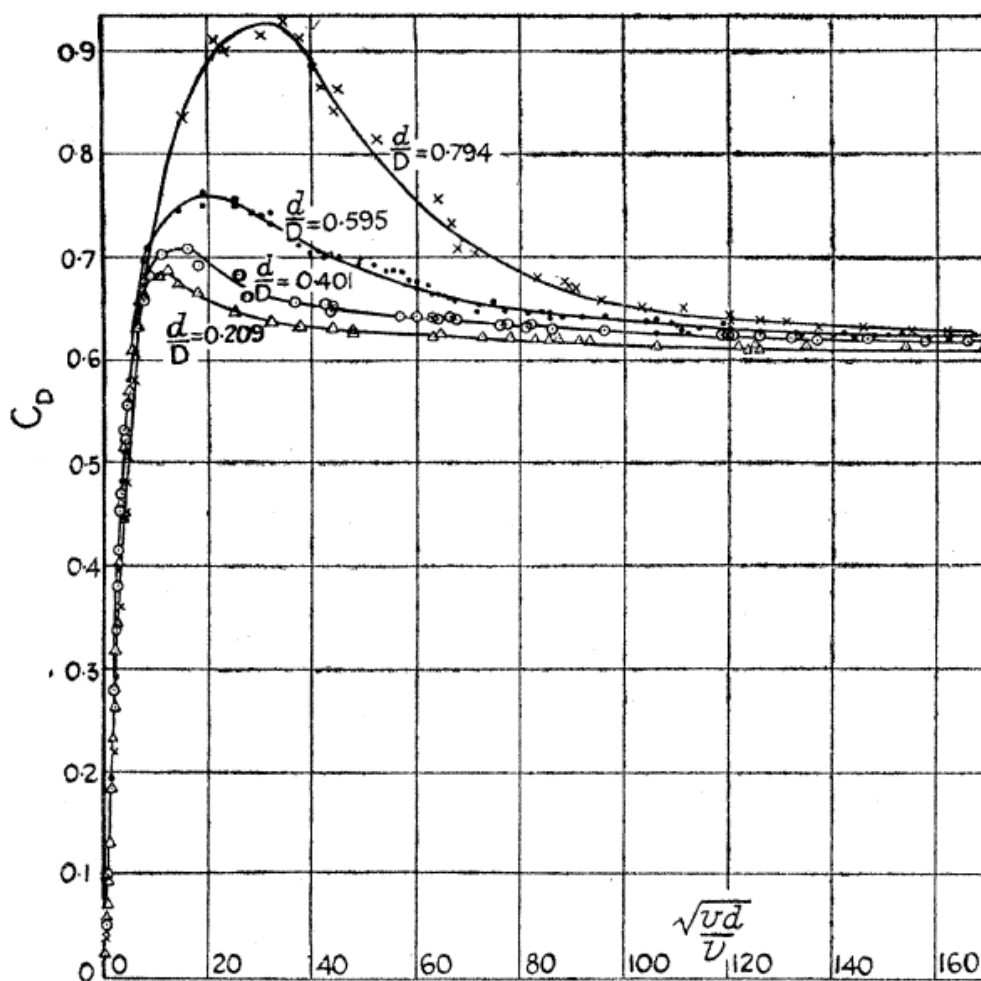
۲-۱- مقدمه

مطالعه و بررسی کارهای انجام شده در ارتباط با موضوع مورد پژوهش در فهم مطالب و درک صحیح جهت گیری های گذشته و پیش بینی روند کارهای قابل انجام در آینده، می تواند تأثیر قابل توجهی داشته باشد. از این رو جهت بررسی تحقیقات گذشته، با توجه به موضوع پژوهش، مطالعات پیشین در چندین قسمت مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در هر قسمت کارهای آزمایشگاهی، مطالعات تحلیلی و عددی مرتبط با هریک از جریان سنج های، روزنه ای، ونتوری متر و مخروطی بیان خواهد شد.

۲-۲- جریان سنج روزنه ای (اریفیس)

جوهانسن^۱ در سال ۱۹۳۰، مطالعه خود را بر روی اندازه گیری ضریب دبی جریان، برای یک سری از اریفیس های لبه تیز در محدوده عدد رینولدز کمتر از ۲۵،۰۰۰ به صورت آزمایشگاهی انجام داد. از آب، روغن کرچک ($v = 1.209 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) و نفت ($v = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) به عنوان سیالات کاری استفاده نمود و ضریب دبی را برای اریفیس ها با نسبت قطر (β)، با مقادیر ۰/۰۹۰، ۰/۲۰۹، ۰/۴۰۱، ۰/۵۹۵، ۰/۷۹۴ بدست آورد. وی دریافت که در محدوده ی رینولدز پایین $Re < 10$ ، ضریب دبی با ریشه دوم عدد رینولدز اریفیس یک رابطه ی تقریباً خطی دارد. همچنین با بررسی اریفیس ها با نسبت قطرهای متفاوت به این نتیجه رسید که ضریب دبی در رژیم جریان گذرا از آرام به آشفته، به حداکثر مقدار خود رسیده و پس از آن در رژیم جریان آشفته (اعداد رینولدز بالا) کاهش می یابد و به مقدار ثابتی می رسد (شکل (۱-۲)). وی در نتایج خود به این موضوع هم اشاره نمود که عدد رینولدز در قسمت گذرا از آرام به آشفته، برای نسبت قطر بیشتر، بالاتر می باشد [۶].

1-Johansen



شکل (۱-۲) رابطه ضریب دبی و ریشه دوم عدد رینولدز [۶].

میلز^۱ در سال ۱۹۶۸، معادلات ناویر-استوکس را برای جریان متقارن، ویسکوز و تراکم ناپذیر در یک اریفیس لبه تیز در یک خط لوله، برای عدد رینولدز اریفیس (Re_0) در محدوده‌ی ۰ تا ۵۰ و نسبت قطر ثابت ۰/۵ حل نمود. او از تفاضل مرکزی برای گسسته سازی معادلات حاکم به فرم تابع جریان و از یک روال تکراری پیشنهادشده در مرجع [۷] برای حل دستگاه معادلات استفاده کرد. در نتایج مشخص شد که دو گردابه متقارن در بالادست و پایین دست صفحه اریفیس در $Re_0 = 0$ به وجود می‌آید و زمانی که عدد رینولدز افزایش می‌یابد گردابه پایین دست کشیده‌تر و گردابه بالادست کوچکتر می‌شود، به طوری که در $Re_0 = 50$ تقریباً غیرقابل مشاهده می‌باشد. میلز همچنین دریافت که ضریب

1- Mills

دبی محاسبه شده با استفاده از شبیه سازی تطابق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی ارائه شده توسط جوهان [۶] دارد [۸].

سahin و سیهان^۱ در سال ۱۹۹۶، به مطالعه جریان متقارن، آرام، تراکم ناپذیر، پایدار و ویسکوز در اریفیس لبه تیز مربعی پرداختند. آنها تأثیر ضخامت صفحه اریفیس و عدد رینولدز بر مشخصات جریان را به صورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. یک حل عددی برای حالت پایدار معادله ورتیسیتی، از معادلات دوبعدی ناویر-استوکس به دست آوردند و برای محاسبه توزیع فشار محوری در اریفیس، معادلات ناویر-استوکس را به صورت انتگرالی حل نمودند. آنها در آزمایش خود از یک پمپ دنده ای برای به گردش درآوردن روغن در اریفیس استفاده نمودند. اختلاف فشار بالادست و پایین دست جریان را، با استفاده از شیر بالادست قرار داده شده در فاصله D قبل از صفحه (برای فشار بالادست) و شیر فشار قرار داده شده در فاصله $\frac{D}{2}$ از صفحه (برای فشار پایین دست) به دست آوردند. آنها مطالعه خود را برای نسبت قطر $0/5$ و عدد رینولدز $150-0$ انجام دادند. آنها (۲-۱) برای ضریب دبی ارائه نمودند:

$$C_D = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{\beta}\right)^2 (1 - \beta_{orifice}^4)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\rho V_{max}^2}{\Delta P}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1-2)$$

که در آن V_{max} سرعت در خط مرکزی لوله می باشد [۹].

اردا و اندرسون^۲ در سال ۱۹۹۷، مطالعه خود را با یک برنامه تجاری CFD، با هدف بررسی اثرات عددی مختلف بر جریان عبوری از اریفیس مترانجام دادند. هدف آنها بررسی اثرات شبکه بندی های مختلف، شرایط مرزی دیوار، هندسه های مختلف و مدل های آشفتگی متفاوت در بررسی رفتار جریان در یک اریفیس بود. آنها مطالعه خود را با مدل سازی یک لوله براز سیال شامل یک روزنه در آن، آغاز

1- Sahin and Ceyhan

2- Erdal and Andersson

نمودند. در نهایت توصیه نمودند که برای محاسبه صحیح افت فشار و حل میدان جریان، اندازه شبکه در بالادست صفحه اریفیس باید $D/0.01$ باشد. همچنین استفاده از طرح‌های مرتبه بالاتر تفاضل و استفاده از قانون لگاریتمی عدم تعادل را برای محاسبه افت فشار و انرژی جنبشی تلاطم پیشنهاد دادند. به‌طور کلی یافته‌های آن‌ها در مدل‌سازی جریان در جریان‌سنج‌های روزنه‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۱۰].

آیمر^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۸، به توصیف و بررسی جریان در یک اریفیس متر با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی با به‌کارگیری مدل‌های آشفتگی مختلف پرداختند. آن‌ها اثر نسبت قطرهای 0.5 ، 0.6 و 0.8 را بر میدان جریان، به‌طور گسترده مورد بررسی قرار دادند. همچنین برای بررسی تأثیر مدل‌های آشفتگی بر روی نتایج، از مدل $k-\epsilon$ استاندارد در مقایسه با مدل تنش رینولدز RSM استفاده نمودند. آن‌ها در نتایج خود در استفاده از مدل آشفتگی RSM به تطابق خوبی با نتایج تجربی قبلی، در مقایسه با مدل $k-\epsilon$ رسیدند. علاوه بر این تأثیر نسبت قطر روزنه را بر جریان، گزارش نمودند [۱۱].

سینگ^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۰، به ارزیابی عملکرد اریفیس متر با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. از آب به‌عنوان سیال کاری و از صفحه با ضخامت بزرگتر از حداکثر ضخامت مجاز تعیین شده در استاندارد ISO-5167 استفاده نمودند. مطالعه خود را بر روی اریفیس با نسبت قطرهای 0.4 ، 0.5 ، 0.6 و 0.7 انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار ضریب دبی در مقادیر $\beta_{orifice}$ پایین (0.4 و 0.5) تا حدودی با افزایش ضخامت صفحه کاهش می‌یابد و برای نسبت قطر بالاتر (0.6 و 0.7) این ضریب، کمی با افزایش ضخامت صفحه، افزایش می‌یابد [۱۲].

شاه^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۲، از دینامیک سیالات محاسباتی با به‌کارگیری نرم‌افزار

1- Eiamsa-ard

2- Singh

3- Shah

OpenFOAM 1.6 برای شبیه‌سازی جریان در اریفیس متر جهت پیش‌بینی میدان جریان با دقت بیشتر استفاده نمودند. در شبیه‌سازی، آب و هوا به‌عنوان سیال در نظر گرفته شد. آن‌ها بایان نتایج به صورت تعادل انرژی، الگوی جریان، بهبود فشار، پروفیل سرعت و فشار و با تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای مدل تلاطم، صحت نتایج عددی به دست آمده را با نتایج ارائه شده در پژوهش‌های قبلی، مورد بررسی قرار دادند و برای انجام کارهای عددی مشابه نتایج قابل اعتمادی را ارائه نمودند. همچنین ضریب دبی را نیز به دست آوردند که با ضریب دبی آزمایشگاهی تطابق قابل قبولی داشت [۱۳].

هوآنگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۳، از اریفیس مشبک به عنوان نوع جدیدی از جریان سنج استفاده نمودند. در این مطالعه آن‌ها به بررسی ضریب دبی و توصیف رابطه بین نرخ حجمی جریان و افت فشار در اریفیس پرداختند. ساختارهای مختلفی از جمله: ضخامت سوراخ، تخلخل، توزیع سوراخ و اختلال بالادست به صورت آزمایشگاهی تست شد. برای هر مورد محدوده گسترده‌ای از نرخ جریان در یک لوله افقی به قطر ۲۹ mm با آب مورد آزمایش قرار گرفت. برای مقایسه، ضریب تخلیه برای روزه‌ای استاندارد با همان تخلخل و ضخامت به دست آمد. نتایج آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

در مقایسه با یک روزه استاندارد، یک دهانه مشبک عدد رینولدز بحرانی کوچکتر و توانایی ضد آشفتگی قوی‌تری دارد. ضریب دبی دهانه‌ی مشبک به اندازه‌ی ۲۲/۵٪ الی ۲۵/۶٪ بزرگتر از محدوده تجربی بود.

در کاربردهای مهندسی هرکدام از پارامترهای ساختاری باید برای به دست آوردن ضریب دبی مناسب بهینه شوند، به عنوان یک قاعده کلی برای بهبود عملکرد یک دهانه مشبک توزیع جریان با روزه باید با توزیع جریان بدون آن سازگار باشد [۱۴].

معادلات مختلفی برای ضریب دبی جریان سنج روزه‌ای در استانداردهای متفاوتی، ضمن تعریف شرایط، آورده شده است؛ که برخی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

1- Huang

- معادله باکینگهام در ANSI/API 2530-1985

- معادله Stolz در ISO 5167:1980 و ISO 5167-1:1991

- معادله Reader-Harris/Gallagher در API MPMS 14.3.12012

- معادله Reader-Harris/Gallagher در ISO 5167-2:2003

۲-۳- ونتوری متر

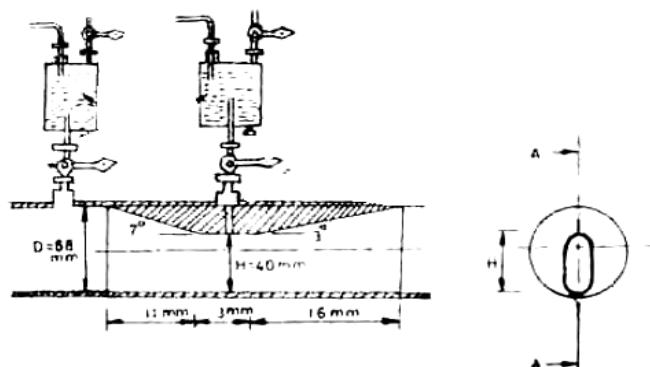
در سال ۱۹۷۴ بندیک و وایلر^۱، مطالعه‌ای تئوری درزمینه‌ی ضریب دبی جریان سنج‌های اختلاف فشاری انجام دادند. آن‌ها با مقایسه نظریه‌های موجود و کارهای قبلی و با در نظر گرفتن عواملی چون شکل گلوگاه، محل قرارگیری شیر فشار؛ یک معادله تعمیم‌یافته برای ضریب دبی ارائه نمودند. سپس تأثیر عوامل مختلف در معادله‌ی به‌دست‌آمده را به‌طور جزئی مورد بررسی قرار دادند و نتایج خود را به‌صورت نموداری برای مطالعات آینده ارائه نمودند [۱۵].

در سال ۱۹۹۹ برانی^۲ و همکاران، یک مطالعه تجربی بر روی ونتورمتر اصلاح‌شده انجام دادند. برای تجزیه و تحلیل از یک ونتوری متر خارج از مرکز^۳ با گلوگاه کشیده و با عبور جریان مایع جامد از آن، استفاده نمودند. ونتوری دارای قطر ۶۸ میلی‌متر و نسبت قطر (β Venturi) ۰/۵۰، با مقطع اصلاح‌شده به شکل بیضوی در گلوگاه بود شکل (۲-۲). مواد جامد حاصل از فرآوری مس به همراه آب مورد استفاده قرار گرفت.

1-Benedict and Wyler

2- Bharani

3- Eccentric Venturimeter



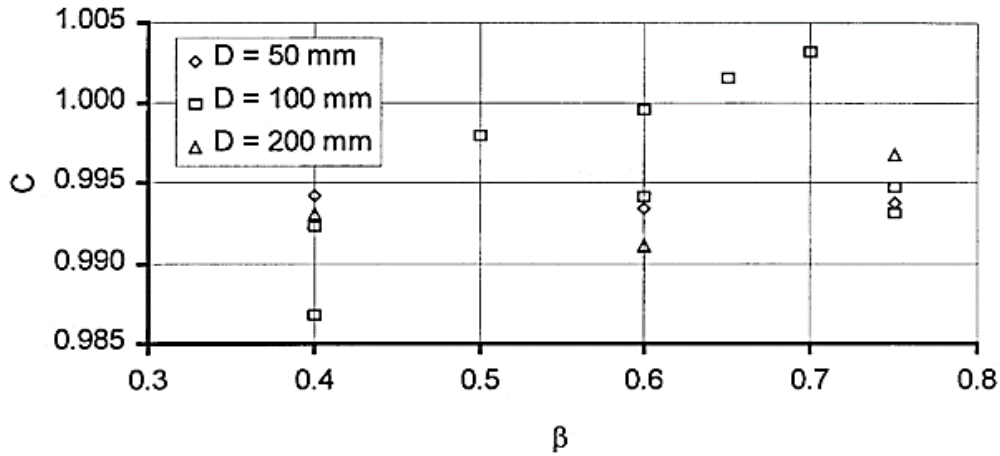
شکل (۲-۲) ونتوری متر خارج از مرکز

برای غلظت‌های مختلف مواد جامد و شرایط جریان متفاوت، ضریب دبی را به دست آوردند و به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی ونتوری اصلاح شده تا حدودی کمتر از ونتوری معمول است. طبق نتایج آن‌ها ضریب دبی تا افزایش ۱۵ درصدی از غلظت مواد جامد افزایش یافته و از آن به بعد ثابت می‌ماند [۱۶].

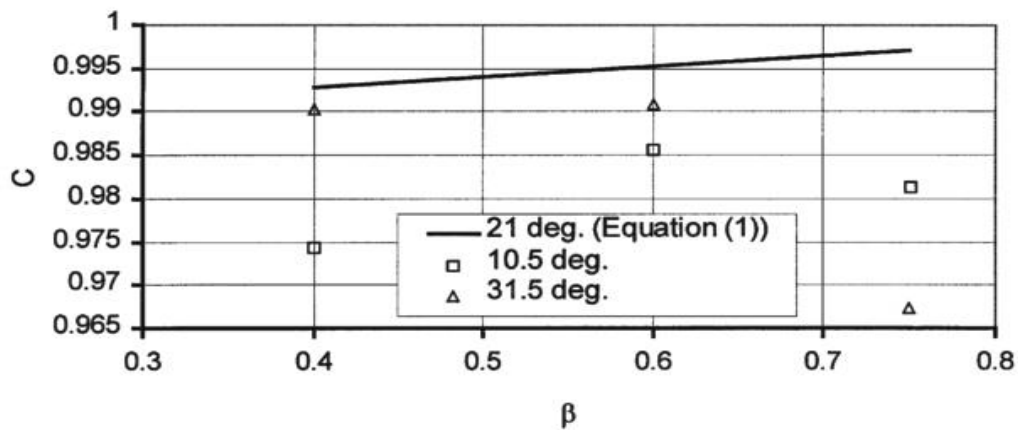
در سال ۲۰۰۱ ریدر-هریس^۱ و همکارانش، ضریب دبی را در لوله ونتوری در دو حالت زاویه همگرایی استاندارد و غیراستاندارد مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با توجه به اهمیت استفاده از لوله ونتوری در اندازه‌گیری گاز مرطوب و با عنایت به اینکه، یکی از راه‌های بهبود نتایج در اندازه‌گیری فشار بالای گاز، تغییر هندسه‌ی ونتوری می‌باشد؛ کار خود را بر روی تغییر زاویه‌ی همگرایی ونتوری متمرکز نمودند. از بیست‌ویک ونتوری با نسبت قطر ۰/۴ تا ۰/۷۵ استفاده کردند که پانزده نمونه حالت استاندارد با زاویه همگرایی ۲۱ درجه با محدوده‌ی قطر ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و شش نمونه دارای زاویه غیراستاندارد ۱۰/۵ و ۳۱/۵ درجه و قطر ۱۰۰ میلی‌متر بودند. آن‌ها هر کدام از ونتوری‌ها را با استفاده از جریان آب و گاز با فشار بالا مورد بررسی قرار دادند. برای ونتوری با زاویه استاندارد و غیراستاندارد با جریان آب، نتایج را به صورت شکل (۲-۳) ارائه نمودند.

1- Reader-Harris

(الف)



(ب)

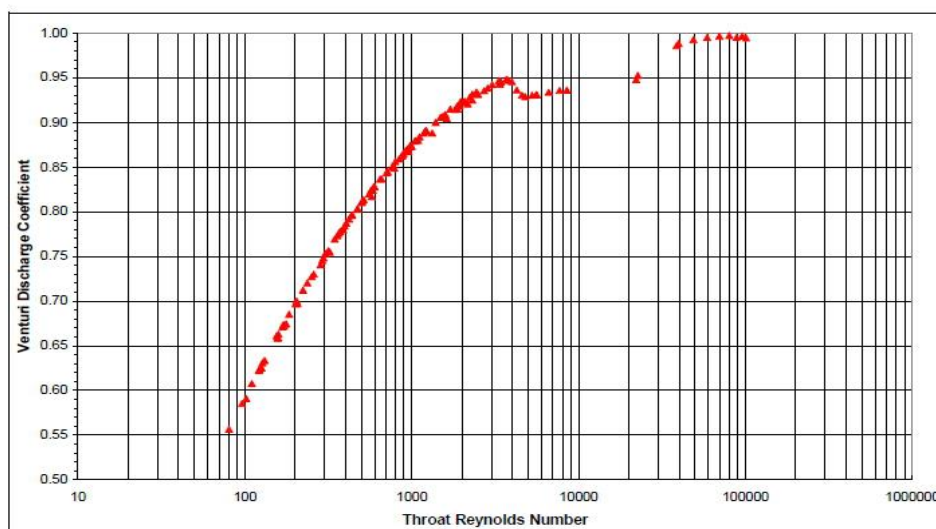


شکل (۲-۳) متوسط ضریب دبی در جریان آب. الف) زاویه همگرایی استاندارد ب) زاویه همگرایی غیراستاندارد [۱۷]
با توجه به اینکه شرایط در گاز پیچیده تر می باشد، ریدر- هریس و همکارانش با بررسی و مدنظر قرار دادن شرایط تأثیرگذار، برای هر دو حالت استاندارد و غیراستاندارد، معادلاتی را برای ضریب دبی، ضمن تعریف شرایط به دست آوردند [۱۷].

در سال ۲۰۰۷ استوبی^۱ و همکاران، اثر فرسایش و نتوری مترو عدد رینولدز کم را در اندازه گیری

1- Stobie

ضریب دبی موردبررسی قراردادند. عدد رینولدز را برحسب قطر گلوگاه (Re_d) محاسبه نمودند. آنها ابتدا ضریب دبی را برای حالت استاندارد و بدون فرسایش در محدوده عدد رینولدز ۸۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ به دست آوردند. در محدوده عدد رینولدز ۸۰ تا ۱۰,۰۰۰ از نفت و در محدوده ۱۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ از آب به عنوان سیال استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد که یک برآمدگی در عدد رینولدز ۴,۰۰۰ در نمودار ضریب دبی برحسب عدد رینولدز به وجود می‌آید و در محدوده رینولدز ۵۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ ضریب دبی از ۰/۹۷۰ به ۰/۹۷۷ تغییر می‌کند. [۱۸].



شکل (۲-۴) نمودار تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز [۱۸]

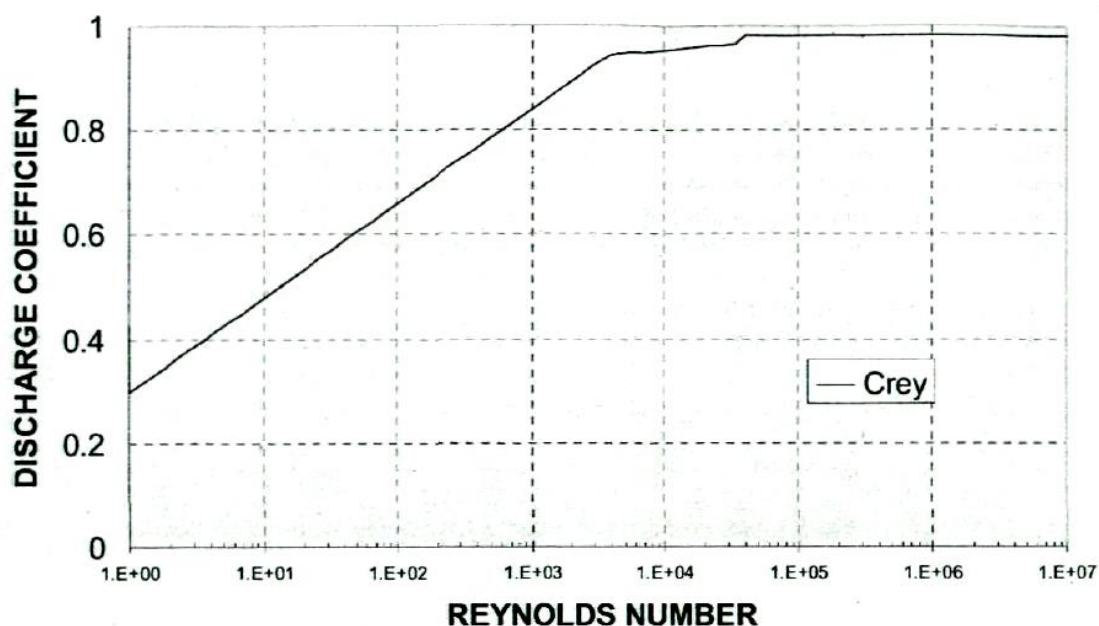
آنها در نتایج خود به تطابق خوبی با نتایج تحقیقات قبلی دست یافتند. در تحقیقات گذشته برآمدگی در نمودار وجود نداشت اما بندیک نشان داد که این برآمدگی می‌تواند در منطقه‌ی انتقالی از آرام به آشفتگی اتفاق بیفتد.

جهت بررسی اثر فرسایش، از سه ونتوری با عبور دوغاب نفت/ماسه و دوغاب آب/ماسه از آنها، استفاده نمودند و قبل و بعد از عبور دوغاب جریان سنج را برای به دست آوردن ضریب دبی آزمایش نمودند. نتایج آزمایش فرسایش نشان داد که، فرسایش به‌طور کلی باعث کاهش یک‌درصدی در ضریب دبی می‌شود [۱۸].

در سال ۲۰۰۹ میلر^۱ و همکاران، به بررسی اثر مخلوط امولسیون در ونتوری متر پرداختند. آن‌ها از نفت سنگین با محدوده ویسکوزیته ۳-۳۰۰ سانتی پواز (cp) و عدد رینولدز در محدوده ۲۴،۰۰۰-۴۰۰ استفاده نمودند. آزمایش آن‌ها شامل یک حلقه جریان امولسیون بود که در آن، مخلوط با سرعت‌های مختلف؛ باهدف تعیین تأثیر ویسکوزیته بر ضریب دبی، به سیستم پمپاژ گردید. محققان طبق نمودار شکل (۲-۵) نتیجه گرفتند که برای برآورد ضریب دبی در ونتوری متر می‌توان از معادله (۲-۲) استفاده نمود:

$$C_D = B + A \log(Re) \quad (2-2)$$

که در آن A و B ثابت‌های تجربی با مقادیر بین ۰ و ۱ می‌باشند که بستگی به محدوده عدد رینولدز دارند [۱۹].



شکل (۲-۵) رابطه ضریب دبی با عدد رینولدز [۱۹]

در سال ۲۰۱۵ مس و سشاردی^۱، کار خود را بر روی پیش‌بینی ضریب دبی در ونتوری، تحت شرایطی غیر از شرایط مطرح‌شده در استاندارد ISO-5167 متمرکز نمودند. آن‌ها مطالعه خود را با استفاده از برنامه‌ی دینامیک سیالات محاسباتی + STAR CCM انجام دادند. با توجه به محدوده عدد رینولدز، از آب و نفت سنگین به‌عنوان سیال استفاده نمودند. در واقع هدف نهایی آن‌ها بررسی روند تغییرات ضریب دبی با تغییر عدد رینولدز بود. در نهایت نتایج حاصل از تحقیق خود را به‌صورت نمودارهایی ارائه نمودند و با مقایسه آن‌ها با داده‌های موجود در استاندارد ISO-5167 به تطابق قابل قبولی دست یافتند [۲۰].

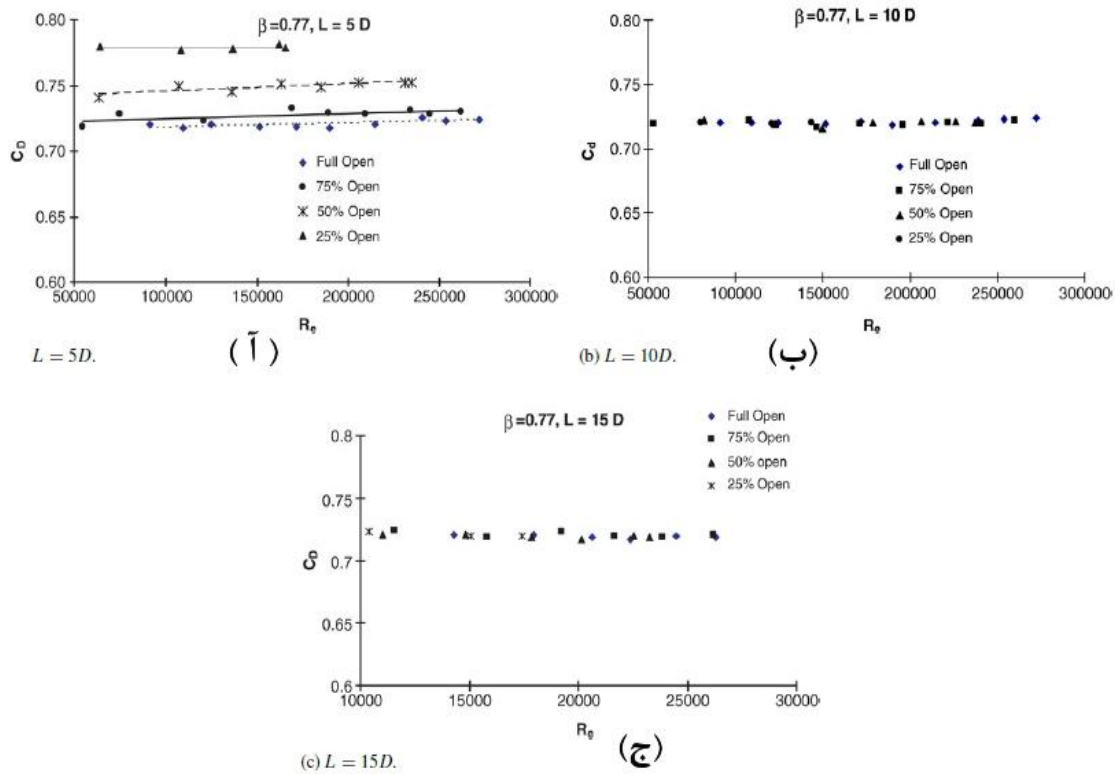
۲-۴- جریان سنج مخروطی

سینگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۰۶، به بررسی اثر اختلال در بالادست جریان سنج مخروطی بر عملکرد آن، پرداختند. آن‌ها کار آزمایشگاهی خود را با جریان‌سنج‌هایی با نسبت قطرهای مختلف (β -Cone) با محدوده رینولدز معین و محل مشخص در ایجاد اختلال در بالادست انجام دادند. در آزمایش خود به‌منظور پوشش دادن محدوده‌ی عدد رینولدز از آب و روغن به‌عنوان سیال استفاده نمودند. آن‌ها اثر پروفیل سرعت را به‌وسیله‌ی قرار دادن یک دریچه در بالادست جریان‌سنج و در فاصله 5D, 10D, 15D و با درصد بازشدگی ۰.۲۵، ۰.۵۰، ۰.۷۵ دریچه بررسی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی جریان سنج مخروطی تا حدودی مستقل از عدد رینولدز می‌باشد و مقدار این ضریب برای $\beta = 0.64$ به طور میانگین ۰.۷۲۵۶ و برای $\beta = 0.77$ برابر ۰.۷۳۱۵ به دست می‌آید و نشان دادند که اگر محل اختلال بالادست در فاصله 10D یا بیشتر باشد، این اختلال بر روی ضریب دبی تأثیر

1- Ms and Seshadri

2- Singh

چندانی ندارد [۲۱].



شکل (۲-۶) رابطه ضریب دبی با عدد رینولدز در نسبت قطر ۰/۷۷ و محل‌های مختلف ایجاد آشفتگی [۲۱]

تن^۱ و همکارانش نتایج کارهای تکمیل شده برای اندازه‌گیری جریان دوفازی را با استفاده از یک جریان‌سنج مخروطی شرح دادند. آب و روغن در یک لوله قطری با نرخ بتای مخروطی ۰/۶۵ مخلوط شدند. آزمایش‌ها در یک حلقه‌ی تست در دانشگاه تیانجین چین اجرا شدند. برای این مطالعه آب و روغن جداگانه به سیستم پمپ شدند و تماماً در دهانه‌ی ورودی باهم مخلوط شدند، سپس از طریق مخروط به سمت منبع جداگانه‌ای حرکت می‌کنند و در آخر به منابع خودشان برمی‌گردند. همچنان این فرآیند برای هر آزمایش تکرار می‌شود. بعد از تمام شدن آزمایش‌ها این نتیجه به دست آمد که

اجرای آزمایش‌ها با اعداد رینولدز بین ۲۵،۰۰۰ و ۸۵،۰۰۰ یک محدوده ضریب دبی از ۰/۸۰ تا ۰/۸۵ با مقدار میانگین ۰/۸۳ دارد. آن‌ها پیشنهاد دادند که مدل جداگانه‌ای که دنبال می‌شود نسبت به مدل مخلوط همگن برای محاسبه‌ی نرخ جریان جرمی مخلوط آب و روغن با دقت تر است. این مدل به این دلیل مهم است که انواع مخلوط‌های اغلب در صنایع روغن برای حمل مؤثر روغن سنگین چسبناک بکار می‌رود [۲۲].

زای^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، مطالعات آزمایشگاهی بر روی جریان دو فاز مایع/گاز، با استفاده از یک جریان‌سنج جدید دو مخروطی با نسبت قطر ۰/۸ در یک لوله‌ی افقی با قطر ۵۰ میلی‌متر را انجام دادند. ضریب دبی جریان‌سنج دو مخروطی به وسیله‌ی روش‌های آزمایشگاهی در آب کالیبره شد. مدل همگن و مدل James نیز اجرا شدند تا نرخ جریان کلی جریان دو فاز مایع/گاز اندازه گرفته شود و خطاهای اندازه‌گیری آنالیز شوند. یک مدل اصلاح‌شده‌ی همگن پیشنهاد داده شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مدل جدید برای اندازه‌گیری‌های نرخ جریان مفید و کارآمد است. همچنین می‌توان ثابت کرد که جریان‌سنج دو مخروطی می‌تواند در اندازه‌گیری‌های جریان دوفازی مایع / گاز مورد استفاده قرار گیرد [۲۳].

1- Xie

فصل سوم

معرفی مفاهیم اساسی

مقدمه

معرفی جریان سنج ها

دینامیک سیالات محاسباتی

۳-۱- مقدمه

در این فصل، ابتدا اصول اولیه، نحوه‌ی کارکرد و ویژگی‌های خاص هر کدام از جریان‌سنج‌های روزنه‌ای، ونتوری متر و مخروطی به‌طور مختصر توضیح داده می‌شود. سپس در ادامه اصول و موارد لازم در دینامیک سیالات محاسباتی بیان می‌شود.

۳-۲- معرفی جریان‌سنج‌ها

یکی از رایج‌ترین نوع وسایل اندازه‌گیری جریان در صنعت، جریان‌سنج‌های اختلاف فشاری می‌باشند که به‌طور غیرمستقیم دبی را به کمک افت فشار ایجاد شده در سیال توسط یک مانع مرتبط با نوع جریان سنج مورد استفاده، محاسبه و در نهایت افت فشار را به دبی حجمی تبدیل می‌کنند. این نوع از جریان‌سنج‌ها که در صنعت به‌عنوان سیستم‌های افت فشار^۱ شناخته شده‌اند، به‌طور کلی از دو جز تشکیل شده‌اند:

عنصر اولیه^۲: با قرار دادن عنصری در مسیر جریان سیال در داخل لوله، موجب تغییر در انرژی جنبشی می‌شود که همین امر باعث ایجاد اختلاف فشار بین دو طرف عنصر می‌شود.

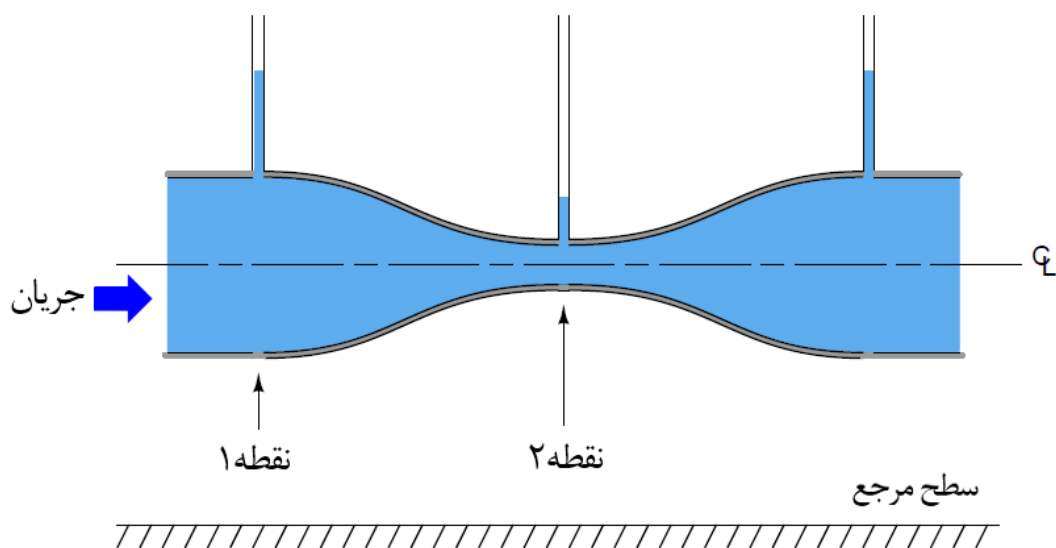
عنصر ثانویه^۳: شامل دستگاهی برای اندازه‌گیری اختلاف فشار می‌باشد که فشار را قبل و بعد از عنصر اولیه اندازه‌گیری می‌کند [۲۴].

1-Differential Pressure

2- Primary Element

3- Second Elements

این سیستم‌های اندازه‌گیری براساس قانون برنولی طراحی شده‌اند. قانون برنولی بیان می‌کند که مجموع افت فشار، افت سرعت و افت ارتفاع در یک نقطه برابر است با مجموع آن‌ها در نقطه‌ی دیگر به علاوه افت حاصل از اصطکاک بین دو نقطه مطابق شکل (۱-۳) که عبور سیال از لوله ونتوری رانشان می‌دهد^۱ اگر انرژی به سیستم اضافه نشود (توسط پمپ) یا انرژی از دست نرود؛ انرژی سیال در طول عبور از لوله ثابت خواهد ماند و با فرض اینکه هیچ جریانی به سیستم وارد نشود یا در سیستم نشتی وجود نداشته باشد، طبق قانون بقای جرم، دبی سیال در طول عبور از لوله ثابت خواهد ماند؛ بنابراین با نوشتن معادله پیوستگی و معادله برنولی برای نقاط ۱ و ۲ در شکل (۱-۳) ارتباط بین نرخ حجمی جریان و فشار در سیستم‌های افت فشار را می‌توان مطابق زیر به دست آورد [۲۵]:



شکل (۱-۳) قانون برنولی در ونتوری متر [۲۵]

۱- تمامی عناصر ایجاد اختلاف فشار از اصول واحد و یکسانی پیروی می‌کنند، بنابراین از شکل ونتوری، به‌عنوان نمونه برای بیان مفاهیم اولیه استفاده شده است.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \Downarrow$$

معادله پیوستگی

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

$$Z_1 \rho g + \frac{V_1^2 \rho}{2} + P_1 = Z_2 \rho g + \frac{V_2^2 \rho}{2} + P_2$$

معادله برنولی

Z = ارتفاع مایع از یک سطح مرجع ρ = وزن مخصوص سیال

g = شتاب گرانش

V = میانگین سرعت سیال

P = فشار مطلق سیال

با فرض سیال تراکم ناپذیر و برابری ارتفاع‌های Z_1 و Z_2 داریم:

$$\frac{V_1^2 \rho}{2} + P_1 = \frac{V_2^2 \rho}{2} + P_2 \Rightarrow P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$(I) \ \& \ (III) \Rightarrow P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) \Rightarrow V_2 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\rho}}$$

$$\text{نرخ حجمی جریان } Q = AV \Rightarrow Q_{\text{تئوری}} = \frac{\sqrt{2} A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\rho}}$$

که برای محاسبه دبی واقعی داریم:

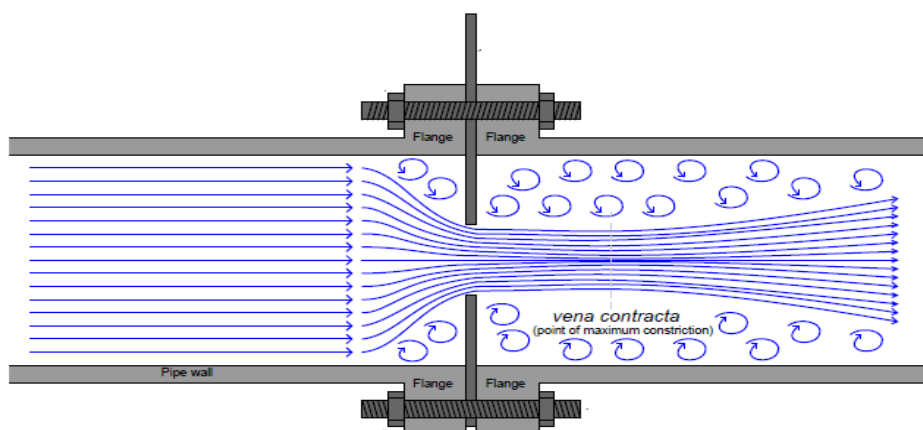
$$Q_{\text{واقعی}} = C_d Q_{\text{تئوری}} = \frac{C_d A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2 \times (P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (1-3)$$

که C_d ضریب دبی می‌باشد.

در ادامه جریان سنج روزنه‌ای، ونتوری متر و مخروطی به‌طور مختصر معرفی خواهند شد.

۳-۲-۱- جریان سنج روزنه‌ای (اریفیس)

اریفیس یا روزنه یکی ساده‌ترین نوع جریان سنج‌های اختلاف فشاری می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، این جریان‌سنج از یک صفحه با سوراخی کوچکتر از قطر لوله؛ به‌عنوان قسمت اولیه، ساخته شده است، زمانی که جریان از سوراخ عبور می‌کند فشار آن به‌طور ناگهانی افت کرده و این افت فشار تا ناحیه مو سوم به مقطع متراکم (Vena Contracta) ادامه پیدا می‌کند و پس از گذر از این ناحیه فشار جریان به تدریج افزایش می‌یابد. فاصله این ناحیه تا صفحه اریفیس بستگی به نسبت d/D دارد هر چه این نسبت به یک نزدیکتر شود این ناحیه نزدیکتر به صفحه، تشکیل خواهد شد [۲۵].



شکل (۳-۲) جریان‌سنج روزنه‌ای [۲۵]

با استفاده از فشار سنج‌هایی که در دو طرف صفحه نصب شده‌اند، میزان اختلاف فشار قرائت می‌شود؛ که از این اختلاف فشار، مطابق معادله ۳-۲ می‌توان نرخ جرمی جریان را محاسبه نمود [۲۶]:

$$q_m = \frac{C_D}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho} \quad (۳-۲)$$

معادله ۳-۲ برای سیالات تراکم پذیر می‌باشد که از معادله ۳-۱ به دست می‌آید.

۱- ناحیه ای است که در آن سطح مقطع به حداقل و سرعت به حداکثر می‌رسد.

که در آن:

$$\beta = d/D, \text{ نسبت قطر سوراخ (d) به قطر لوله (D)}$$

$$q_m = \text{دبی جرمی عبوری از اریفیس}$$

$$\Delta P = \text{اختلاف فشار بین دو طرف اریفیس}$$

۳-۲-۱-۱- انواع اریفیس

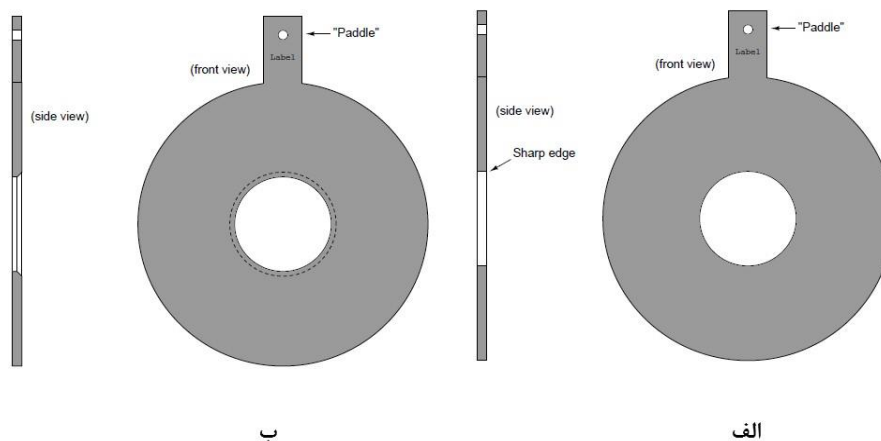
صفحه اریفیس با توجه به کاربردش در موارد مختلف، شرایط سیال از نظر شکل ظاهری و

وضعیت سوراخ به صورت‌های زیر ساخته می‌شود.

اریفیس هم‌مرکز^۱: حفره آن کاملاً در وسط صفحه قرار دارد. این نوع صفحات برای مواد نفتی

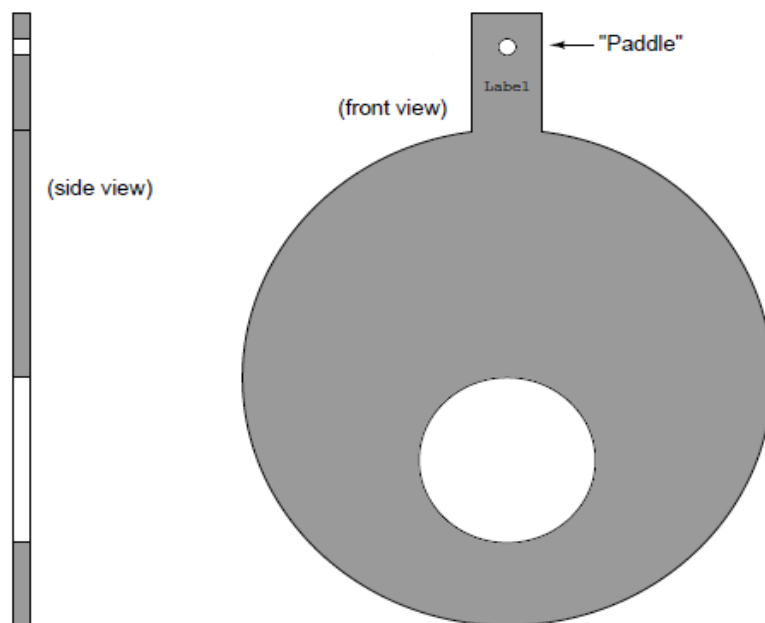
سبک و بدون رسوب و گازها کاربرد دارند. همان‌گونه که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است این نوع

صفحه‌ها به دو صورت لبه مربعی و لبه تیز ساخته می‌شوند [۲۵].



شکل (۳-۳) اریفیس هم‌مرکز الف) لبه مربعی ب) لبه تیز [۲۵]

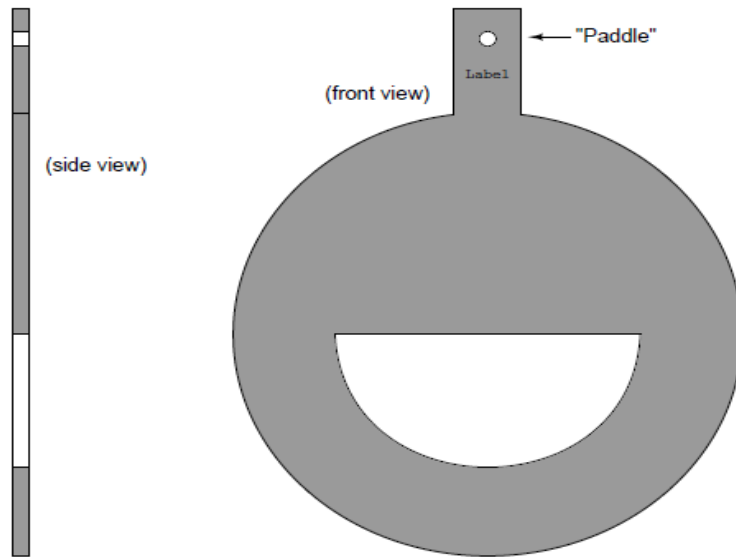
اریفیس خارج از مرکز^۱: حفره آن خارج از مرکز است و برای شرایطی مانند وجود حباب یا ذرات جامد در گاز یا وجود ذرات جامد در مایع، کاربرد دارد. برای جریان گاز، حفره باید به سمت پایین جابجا شود تا ذرات جامد یا قطرات مایع بتوانند عبور نمایند. برای جریان مایع، در صورتی که حبابهای گاز در آن وجود داشته باشند باید به سمت بالا جابجا شود و در صورت وجود مواد جامد سنگین به سمت پایین جابجا می‌شوند. (شکل ۴-۳).



شکل (۴-۳) اریفیس خارج از مرکز [۲۵]

اریفیس قطاعی^۲: که حفره آن خارج از مرکز و به شکل قطع‌هایی از دایره بوده و کاربرد آن برای مواد رسوب‌دار است. این نوع صفحه هم مانند اوریفیس خارج از مرکز، در جریان گاز رو به پایین و در جریان مایع بسته به شرایط رو به بالا و پایین جابجا شود شکل (۲-۵).

1- Eccentric orifice plate
2- Segmental orifice plate



شکل (۳-۵) اریفیس قطاعی

۳-۲-۱-۲- انواع نقاط اتصال شیرهای فشار

چندین استاندارد برای مکان شیرهای فشار در جریان سنج روزنه‌ای وجود دارد. در حالت ایده‌آل، شیر فشار بالادست، باید در نقطه‌ای که جریان کمترین مقدار سرعت و شیر پایین‌دست در ناحیه‌ای باشد که سرعت بیشترین مقدار را داشته باشد. برای اندازه‌گیری اختلاف فشار، از دستگاه‌های مختلفی استفاده می‌شود. ساده‌ترین روش استفاده از یک مانومتر^۱ تفاضلی می‌باشد. نمای کلی از مکان شیرهای فشار در شکل (۳-۶) نشان داده شده است:

الف) اریفیس با گیج فلنجی (Flange tap)

در این حالت فاصله گیج‌های اندازه‌گیری فشار از صفحه اریفیس هم در بالادست و هم در پایین‌دست صفحه برابر ۱ اینچ می‌باشد.

ب) اریفیس با گیج با فاصله D و $D/2$ از صفحه آن (Radius taps)

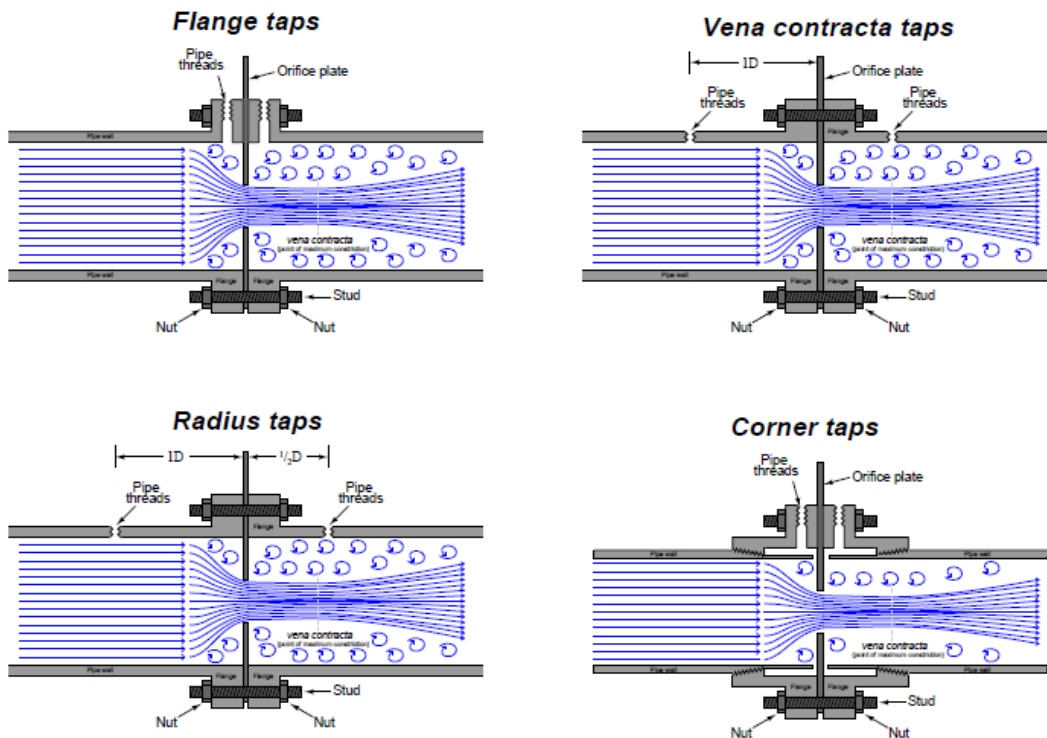
در این حالت فاصله گیج‌های اندازه‌گیری فشار از صفحه اریفیس در قسمت بالادست برابر قطر

1-Manometer

لوله و در قسمت پایین دست صفحه برابر نصف قطر لوله می‌باشد.

ج) اریفیس با گیج‌هایی در کنار صفحه آن (Corner tap)

در این حالت گیج‌های اندازه‌گیری فشار هم در بالادست و هم در پایین دست چسبیده به کنار صفحه اریفیس واقع‌اند [۲۵].



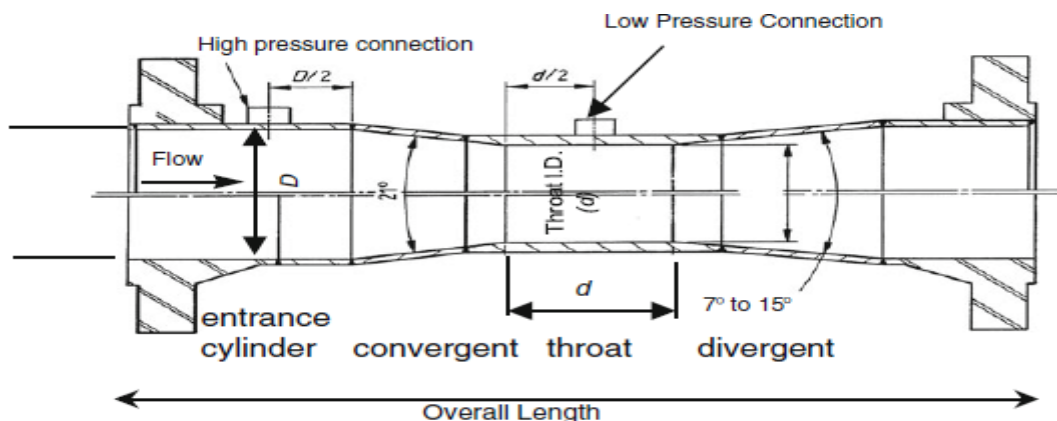
شکل (۳-۶) محل قرارگیری شیرهای فشار در جریان سنج روزنه‌ای [۲۵]

۳-۲-۲- ونتوری متر

ونتوری متر همان گونه که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است، یک جریان سنج اختلاف فشاری

می‌باشد که شامل یک لوله ورودی، مخروط همگرا با زاویه ۲۱ درجه، گلوگاه و یک مخروط واگرا با

زاویه ۷ تا ۱۵ درجه می‌باشد [۲۷].



شکل (۷-۳) ونتوری متر [۲۷]

در بخش همگرا به تدریج سطح مقطع کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش سرعت و کاهش فشار می‌شود به طوری که در قسمت گلوگاه به حداکثر افت فشار رسیده و در قسمت واگرا با افزایش تدریجی سطح مقطع، فشار به حالت اولیه خود برمی‌گردد. به دلیل طولانی بودن مسیر اختلاف فشار و همچنین ممانعت از اعمال تلاطم در مسیر جریان سیال، این نوع جریان‌سنج در اندازه‌گیری جریان بخار و گازها کاربرد بیشتری دارد. در واقع به دلیل وجود بخش همگرا (بخشی که قطر لوله در حال کاهش است) و بخش واگرا (بخشی که قطر لوله رو به افزایش می‌باشد) شرایط برای اندازه‌گیری جریان بخار و مایعات دوغابی آسان‌تر می‌شود، به این دلیل که بخش همگرا سبب کاهش حساسیت مجموعه اندازه‌گیری به الگوی جریان و بخش واگرا سبب حذف جریان‌های گردابی می‌شوند. نکته قابل توجه این است که در جریان‌سنج روزنه‌ای بلافاصله بعد از روزنه، سیال دچار تلاطم شده و جریان گردابه‌ای شدید در پشت صفحه به وجود می‌آید که همین امر باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری می‌شود اما در ونتوری این ضعف برطرف شده است [۲۷].

پارامتر مهم در اندازه‌گیری، اختلاف فشار ایجاد شده در جریان، هنگام عبور سیال از بخش‌های همگرا و واگرای ونتوری می‌باشد که این اختلاف فشار همان گونه که در شکل (۷-۳) مشخص است بین دو مقطع، یکی قبل از بخش همگرا و دیگری در گلوگاه ونتوری اندازه‌گیری می‌شود؛ که از این اختلاف فشار طبق معادله (۳-۳) برای محاسبه نرخ جرمی جریان استفاده می‌شود [۲۷].

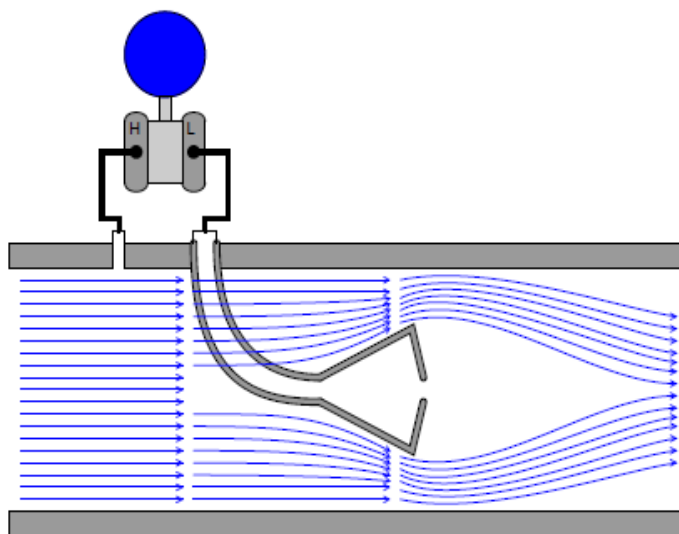
$$q_m = \frac{C_D}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho} \quad (3-3)$$

β نسبت قطر ونتوری و برابر است با: نسبت قطر گلوگاه به قطر لوله ورودی

d = قطر گلوگاه، C_d = ضریب دبی

۳-۲-۳- جریان سنج مخروطی

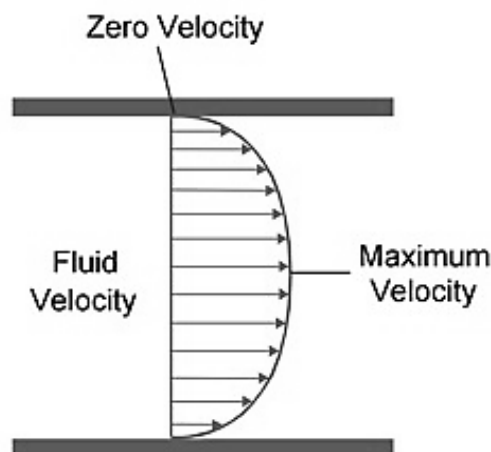
اندازه‌گیری جریان به روش اختلاف فشار به وسیله جریان سنج مخروطی، یک فن‌آوری دقیق برای اندازه‌گیری حجم مایعات، گاز یا بخار در دامنه گسترده‌ای از عدد رینولدز تحت شرایط مختلف است و بخصوص زمانی که دقت بالایی در محاسبات مدنظر بوده و یا لوازم و تجهیزات محدود می‌باشند و یا بحث هزینه‌ها مطرح می‌باشد، روشی ارزشمند بشمار می‌آید. این نوع دستگاه بر اساس قوانین اصلی انواع جریان‌سنج‌های اختلاف فشاری با استفاده از فرضیه حفظ انرژی در طول لوله عمل می‌کند [۲۸]. ویژگی اصلی این دستگاه طراحی خاص آن است. در طراحی این سیستم از یک مخروط استفاده شده که به صورت مرکزی درون لوله قرار داشته و با اثر بر روی جریان سیال، پروفایل سرعت سیال را تغییر داده و بلافاصله در پایین دست خود فشار اندکی را به وجود می‌آورد. اختلاف فشار بین فشار خط استاتیک و فشار ایجاد شده در پایین دست مخروط مشاهده می‌شود که می‌توان به وسیله دو شیر هوشمند که یکی در بالادست مخروط واقع شده و دیگری در پایین دست آن قرار گرفته، به دست می‌آید [۲۸]. (شکل (۳-۸))



شکل (۸-۳) جریان سنج مخروطی [۲۵]

آنچه باعث ایجاد مشخصات بهینه در ساختار دبی سنجی قطعه مخروطی می شود تغییر شکل پروفایل خطوط سرعت در سیال است. این تغییر شکل در پروفایل خطوط سرعت در سیال باعث ایجاد افت فشار سریع و قابل اندازه گیری در فاصله ای کوتاه می گردد؛ و این در حالی است که جریانات گردابه ای و مغشوش در برخورد با این قطعه نسبت به دبی سنج های صفحه اریفیس بسیار کمتر می باشد. عدم تغییر شدید در رژیم سیال دلیل اصلی افزایش دقت این دستگاه نسبت به دیگر خانواده های خود می باشد [۲۸].

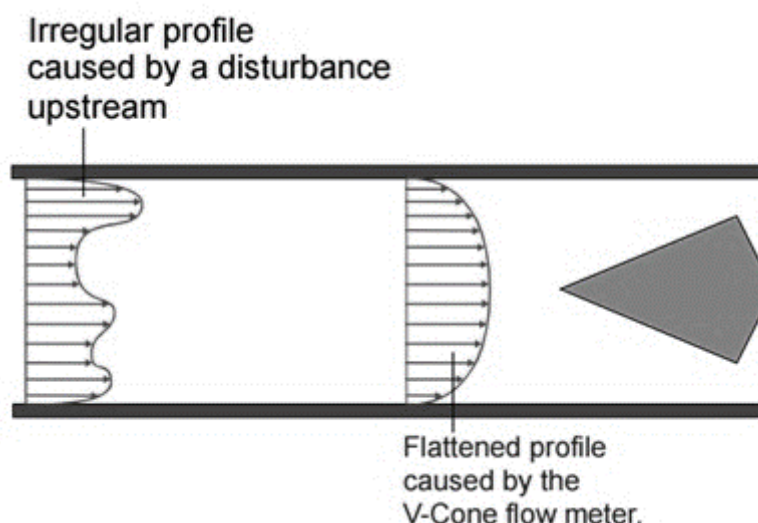
توضیح چگونگی ایجاد تغییر شکل در پروفایل خطوط سرعت در سیال از این قرار است. همان طور که در شکل زیر دیده می شود در حالتی که سیال طی عبور از یک مسیر طولانی به هیچ گونه انسداد و یا اختلال مواجه نگردد خطوط سرعت در این سیال به خوبی توسعه یافته می گردد. در این وضعیت سرعت سیال در نقاط مختلف متفاوت است. در کنار دیواره های لوله سرعت سیال صفر و در مرکز لوله سرعت سیال بیشینه است و این به دلیل تشکیل لایه مرزی در نزدیک دیواره های لوله می باشد که باعث کاهش سرعت سیال می گردد [۲۸].



شکل (۹-۳) پروفایل خطوط سرعت سیال در وضعیت توسعه‌یافتگی [۲۸]

در چنین شرایطی هنگامی که قطعه مخروطی که هم‌مرکز با لوله قرار داده شده است در مقابل سیال قرار می‌گیرد نوک مخروط مقابل سریع‌ترین خطوط سرعت در پروفایل سیال قرار می‌گیرد و به همین نسبت خطوط با سرعت‌های پایین‌تر با قسمت‌های دیگر مخروط مواجه می‌شوند؛ بنابراین شکل مخروط باعث می‌گردد تا افت سرعت سیال متناسب با خطوط سرعت باشد و بیشتر کاهش در خطوط مرکزی و کمتری کاهش در خطوط نزدیک به دیواره صورت گیرد. این دقیقاً نکته‌ای است که در طراحی دبی سنج‌های قطعه مخروطی در نظر گرفته شده است و آن را از سایر دبی سنج‌های اختلاف فشاری متمایز نموده است. در روش‌های دیگر اندازه‌گیری نظیر صفحه اوریفیس حضور عامل ایجاد افت فشار خود باعث اغتشاش و اختلال در رژیم سیال می‌گردید و این باعث تکرارپذیری بسیار ضعیف در رژیم سیال در وضعیت مغشوش و در نتیجه کاهش دقت اندازه‌گیری سرعت سیال می‌گشت [۲۸].

ایجاد پروفایل توسعه‌یافته در خطوط سرعت سیال به‌ندرت در عمل پیش می‌آید و در واقع وجود اتصالات، پمپ‌ها، تجهیزات اندازه‌گیری، زانویی‌ها و خم‌ها، چندراهی‌ها و عوامل دیگر باعث تغییر پروفایل سرعت از حالت ایده‌آل می‌گردند.



شکل (۳-۱۰) پروفایل خطوط سرعت سیال در وضعیت توسعه‌یافتگی و غیر توسعه‌یافتگی [۲۸]

تغییر پروفایل سرعت سیال نسبت به حالت ایده‌آل باعث ایجاد خطای اندازه‌گیری در دیگر انواع دبی‌سنج‌های اختلاف فشاری می‌گردد و این در حالی است که ساختار قطعه مخروطی باعث اصلاح پروفایل سرعت سیال می‌گردد و در نتیجه خطای اندازه‌گیری آن کاهش می‌یابد. این ویژگی دبی‌سنج‌های قطعه مخروطی در مواجهه با اغتشاشات شدید در نزدیکی زانویی‌ها، چندراهی‌ها و عوامل گوناگون بر هم زننده پروفایل سرعت سیال، برقرار می‌باشد و باعث ایجاد پروفایل توسعه‌یافته در سرعت سیال می‌شود.

برای محاسبه دبی در این جریان سنج که اساس آن مانند سایر جریان سنج‌های اختلاف فشاری می‌باشد، از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲۸]:

$$Q = C_D \times \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \times \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (۴-۳)$$

در رابطه‌ی بالا β به صورت روبه‌رو تعریف می‌شود:

$$\beta_{V-Cone} = \sqrt{\frac{D^2 - d^2}{D^2}}$$

۳-۳- دینامیک سیالات محاسباتی

مدل‌سازی جریان سیال از پیچیدگی‌های بالایی برخوردار است و امکان حل تحلیلی معادلات حاکم، جز در حالت‌های ساده وجود ندارد. بدین ترتیب استفاده از روش‌های عددی برای حل معادلات سیال مطرح گردیده و به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. در این حالت معادلات حاکم بر روی شبکه محاسباتی گسسته شده^۱ و به‌عبارت‌دیگر معادلات دیفرانسیلی حاکم به معادلات جبری تبدیل می‌شوند و حل این معادلات با استفاده از الگوریتم‌های عددی انجام می‌گیرد.

قسمت‌های عمده یک برنامه CFD عبارت‌اند از:

- شبکه‌بندی مناسب دامنه محاسباتی

- گسسته‌سازی معادلات حاکم بر جریان با استفاده از جایگذاری تقریب‌ها

- تعیین شرایط مرزی

- حل معادلات حاکم بر جریان

در CFD از روش‌های مختلفی برای تقریب معادلات استفاده می‌شود که برخی از آن‌ها عبارت‌اند

از:

رویکرد تفاضل محدود^۲، رویکرد حجم محدود^۳، رویکرد اجزای محدود^۴ و رویکرد اجزای مرزی^۵.

در تحقیق حاضر از نرم‌افزار FLUENT استفاده شده است که این نرم‌افزار بر پایه‌ی روش حجم

محدود می‌باشد. در این روش الگوریتم حل شامل سه مرحله می‌باشد:

۱- انتگرال‌گیری از معادلات حاکم بر جریان سیال روی حجم کنترل

۲- گسسته‌سازی، شامل جایگذاری نوعی از تقریب‌ها برای عبارت‌های داخل معادله انتگرالی که فرآیندهای

1- Discretization

2- Finite Difference (FD)

3- Finite Volume (FV)

4- Finite Element (FE)

5- Boundary Element (BE)

جریان مثل جابجایی^۱، نفوذ^۲ و چشمه^۳ را نشان می‌دهند. این عمل معادلات انتگرالی را به یک دستگاه معادلات جبری تبدیل می‌نماید.

۳- انتخاب روش حل معادلات اساسی حاکم بر جریان (معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی)

۴- حل دستگاه معادلات جبری

مرحله اول، یعنی انتگرال‌گیری بر روی حجم کنترل، روش حجم محدود را از سایر روش‌های CFD متمایز می‌کند. رابطه روشن بین الگوریتم عددی و قواعد کلی بقاء فیزیکی، یکی از جاذبه‌های روش حجم محدود بوده و درک آن را برای مهندسين ساده‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. دینامیک سیالات محاسباتی با حل هم‌زمان معادلات اندازه حرکت و بقای جرم بر روی دامنه موردنظر، مشخصات جریان را در تمام نقاط دامنه حل به دست می‌آورد. برای مسائلی که جریان ایجادشده در آن آشفته است، علاوه بر معادلات یادشده، معادلاتی نیز برای مدل نمودن آشفتگی جریان لازم خواهد بود. در ادامه معادلات حرکت سیال و مفاهیم و مدل‌های آشفتگی بیان خواهند شد.

۳-۳-۱- معادلات حرکت سیال

حرکت سیالات توسط معادلات بقا که بر اساس قوانین فیزیکی تعریف شده‌اند، توصیف می‌شوند که

این قوانین عبارت‌اند از:

- بقای جرم (پیوستگی)

- بقای مومنتم (قانون دوم نیوتن)

- بقای انرژی (قانون اول ترمودینامیک)

1- Convection
2- Diffusion
3- Source Term

معادلات حاکم که امکان رخ دادن پدیده‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند به‌عنوان اجزای اصلی در تحلیل و آنالیز عددی استفاده می‌شوند. در نرم‌افزار FLUENT گزینه‌های مختلفی برای معادلات وجود دارد، اما معادلات اولیه برای توصیف حرکت سیال، معادلات ناویر-استوکس می‌باشند. در تحقیق حاضر، لازم است معادلات اندازه حرکت و معادله پیوستگی برای جریان تراکم‌ناپذیر نیوتنی به‌طور هم‌زمان حل شوند.

☑ معادله پیوستگی

اصل اساسی که از آن در مکانیک سیالات استفاده می‌شود اصل بقاء جرم است. این اصل بیان می‌دارد که جرم نه تولید می‌شود و نه از بین می‌رود. معادله پیوستگی به فرم دیفرانسیلی و به صورت برداری، مطابق زیر تعریف می‌شود [۲۹]:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (۵-۳)$$

$$\rho = \text{چگالی سیال } \text{Kg/m}^3$$

x, y, z محورهاى مختصات

u, v, w مولفه‌های سرعت در جهت‌های x, y, z ، m/s

☑ معادلات مومنتم [۲۹]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

(۶-۳)

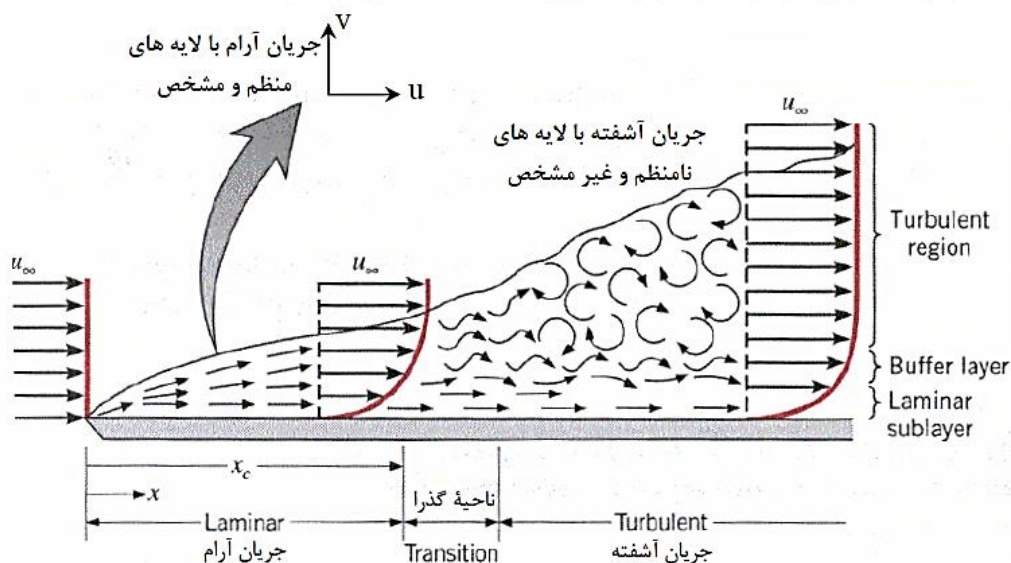
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

در روش‌های عددی و برای آن که خواص یک جریان سیال سه‌بعدی در هر نقطه از جریان کاملاً مشخص گردد، بایستی معادلات ناویر-استوکس را در هر ۳ راستای مختصاتی حل نمود.

۳-۳-۲- رژیم جریان

بر طبق تعریف رژیم جریان در مکانیک سیالات به دودسته‌ی اصلی، رژیم جریان آرام و آشفته تقسیم‌بندی می‌شود. در رژیم جریان آرام، سیال به صورت منظم و تحت لایه‌ها و مسیرهای مشخص و منظم حرکت می‌کند، از همین رو برای توصیف این نوع جریان از عبارت Laminar به معنای طبقه طبقه شده استفاده می‌شود. اما معمولاً در اغلب جریان‌های مهندسی، وضع به همین منوال باقی نمی‌ماند و با حرکت به سمت پایین دست جریان و هم‌زمان با رشد جریان و انباشته شدن اغتشاشات جریانی روی یکدیگر و پس از طی شدن مرحله میانی که اصطلاحاً مرحله گذرا جریان نامیده می‌شود به یک جریان توربولانس می‌رسد.



شکل (۳-۱۱) رشد لایه مرزی بر روی یک صفحه تخت [۳۰]

بیشتر جریان‌های مهندسی، آشفته هستند. به زبان ساده جریان آشفته نوعی از جریان سیال است که در آن سیال تحت نوسانات جریانی^۱ و فرآیندهای اختلاطی شدید قرار می‌گیرد [۳۰]. معمولاً برای تشخیص آرام یا آشفته بودن جریانات مهندسی از اعداد بدون بعد استفاده می‌شود. در جریانات اجباری تک فاز، معمولاً عدد رینولدز معیار تشخیص جریان آرام یا آشفته می‌باشد. این عدد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu} \quad (7-3)$$

که در رابطه (۷-۳) چگالی سیال، U_{∞} سرعت جریان آزاد، L ول مقیاس هندسی (مثلاً طول صفحه x)، قطر لوله (L) و یا ارتفاع مانع و ویسکوزیته جریان است. جریان‌های جابه‌جایی اجباری معمولاً به جریان‌های داخلی مانند جریان ورودی به یک آبگیر و جریان‌های خارجی مانند جریان حول یک جسم جامد، تقسیم می‌شوند؛ در این جریان‌ها با استفاده از آزمایش‌ها تجربی و یا روش‌های پیچیده‌ی عددی مقادیر صریحی برای اندازه‌ی رینولدز بحرانی آن‌ها بیان می‌شود.

تجربه نشان داده است که معمولاً برای جریان‌های خارجی اگر $Re_x > 5 \times 10^5$ و یا $Re_D > 20000$ باشد، جریان از نوع آشفته و در جریان‌های داخلی اگر $Re_{Dh} > 2000 \sim 4000$ برقرار باشد جریان از نوع آشفته خواهد بود [۳۰].

☑ مدل‌سازی جریان‌ات آشفته و مدل‌های آشفتگی

اولین قدم در مسیر مدل‌سازی عددی جریان‌های آشفته، به دست آوردن معادلات براساس این جریان‌ها می‌باشد. تنها با استفاده از این معادلات است که می‌توان ادعا نمود جریان‌های آشفته تحت سیطره محاسباتی مدل‌سازی عددی قرار گرفته‌اند.

به‌طور کلی در مدل‌سازی عددی آشفتگی چند دیدگاه و نقطه‌نظر متفاوت وجود دارد:

- ۱- برخی روش‌ها مستقیماً معطوف به دینامیک حاکم بر نوسانات آشفتگی و همین‌طور برهمکنش میان زیرساختارهای آشفتگی (بالاخص میان ادیپها و در طیف گسترده و متنوع اندازه‌ی آنها) شده‌اند که درعین‌حال بسیار هزینه‌بر هستند. از معروف‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها می‌توان به روش "شبهه-سازی گردابه‌های بزرگ"^۱ و روش "شبهه‌سازی عددی مستقیم"^۲ اشاره نمود.
- ۲- برخی روش‌ها با استفاده از دینامیک خاص حاکم بر هر مسئله‌ی فیزیکی، معطوف به حل برخی مسائل خاص شده و لذا این روش‌ها دارای محدوده‌ی کاربردی مشخص و محدودی هستند و اغلب هزینه‌ی محاسباتی اندکی نیز به دنبال خواهند داشت. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های مرتبط با مفهوم "طول اختلاطی"^۳ که بیشتر تحت عنوان مدل‌های صفر معادله‌ای مشهور می‌باشند، اشاره نمود.

- ۳- برخی روش‌ها نیز سعی دارند تا در کنار حداقل نگه‌داشتن هزینه‌ی محاسباتی، طیف وسیعی از فیزیک جریان را نیز در سیطره‌ی توانمندی محاسباتی خود داخل نمایند. از مهم‌ترین این روش‌ها و

1-Large Eddy Simulation (LES)

2-Direct Numerical Simulation (DNS)

3-Mixing Length

البته معروفترین آن‌ها می‌توان به روش‌هایی که اصطلاحاً از مدل‌های نایر-استوکس متوسط‌گیری‌شده به روش رینولدز^۱ یا به‌طور خلاصه "مدل‌های RANS" اخذشده‌اند، اشاره نمود [۳۰]. انتخاب یک مدل با دقت کافی و هزینه‌های عددی کم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین منظور از آنجایی که در این تحقیق فقط پارامترهای سرعت و فشار جهت بررسی جریان داخلی مورد استفاده قرار گرفته است و بر اساس کفایت جواب‌های به دست آمده از مدل‌های نایر-استوکس متوسط‌گیری‌شده با روش رینولدز در مسائل مشابه، از این روش جهت مدل‌سازی در این تحقیق استفاده شده است.

در صورتی که کمیت‌های فیزیکی موجود در معادله نایر-استوکس (رابطه (۳-۶)) در حالت جریان آشفته، مجموع دو عبارت متوسط و نوسانی در نظر گرفته شده (تجزیه رینولدز) و از دو طرف این معادله به صورت زمانی متوسط‌گیری شود، معادله نایر-استوکس به صورت رابطه (۳-۸) در خواهد آمد.

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (۳-۸)$$

این معادله همان شکل معادلات نایر-استوکس است را دارد و متغیرهای موجود در این معادله به صورت میانگین و متوسط کل می‌باشند. فقط ترم اضافی که در این معادله ظاهر شده است عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\rho \overline{u'_i u'_j}$ می‌باشد که اصطلاحاً تنش آشفستگی یا تنش رینولدز نام دارد و به واسطه مغشوش بودن جریان به وجود آمده است. لذا در این حالت مسئله حل جریان مغشوش به صورت روشی برای حل این تنش رینولدز در خواهد آمد؛ یعنی باید مقدار تنش رینولدز را به طریقی محاسبه و در معادله RANS وارد نمود [۳۰].

به طور کلی نرم افزار فلونت دارای ۴ مدل RANS می‌باشد که عبارتند از: اسپالارت-آلماراس، کا-اِپسیلون، کا-اومگا و مدل تنش رینولدز. از میان مدل‌های ارائه شده در روش مدل‌سازی آشفستگی

^۱Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) استفاده از

RANS، مدل‌های دو معادله‌ای به عنوان زیربنای بسیاری از تحقیقات مربوط به مدل‌سازی جریان‌های آشفته بالأخص در سالیان اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. به همین دلیل و با توجه به اینکه در مسائل مشابه جریان در لوله استفاده از مدل‌های دو معادله‌ای نتایج بهتری را ارائه داده است در این تحقیق نیز از این مدل‌ها استفاده شده است. از بین مدل‌های ذکر شده مدل‌های کا-اِپسیلون و کا-اومگا مدل‌های دو معادله‌ای هستند. که با حل مسئله در یک عدد رینولدز معین با استفاده از این مدل‌ها و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تجربی در نهایت مدل $K-\varepsilon$ RNG برای ادامه کار انتخاب گردید. به عنوان مثال برای جریان سنج روزنه‌ای نتایج حاصل از به کارگیری هر کدام از مدل‌ها در جدول ۱-۳ آورده شده است. همان طور که از جدول مشخص است نتیجه‌ی حاصل از مدل $K-\varepsilon$ RNG تطابق بیشتری با نتایج تجربی دارد.

جدول ۱-۳: مقایسه نتایج ضریب دبی برای جریان سنج روزنه‌ای ($\beta=0.5$) در عدد رینولدز ۱۰۰۰۰۰ در مدل‌های

مختلف آشفتگی

مدل‌های آشفتگی	ضریب دبی (CFD)	ضریب دبی (Miller 1996)
Standard $K-\varepsilon$	۰/۶۲۵۴	۰/۶۱۹
RNG $K-\varepsilon$	۰/۶۲۰۹۴	
Realizable	۰/۶۳۲۰	
Standard $K-\omega$	۰/۶۳۵۴	
SST $K-\omega$	۰/۶۳۳۵۷	

مدلسازی عددی

فصل چهارم

هندسه مدل و شبکه بندی

شبیه سازی عددی با فلونت

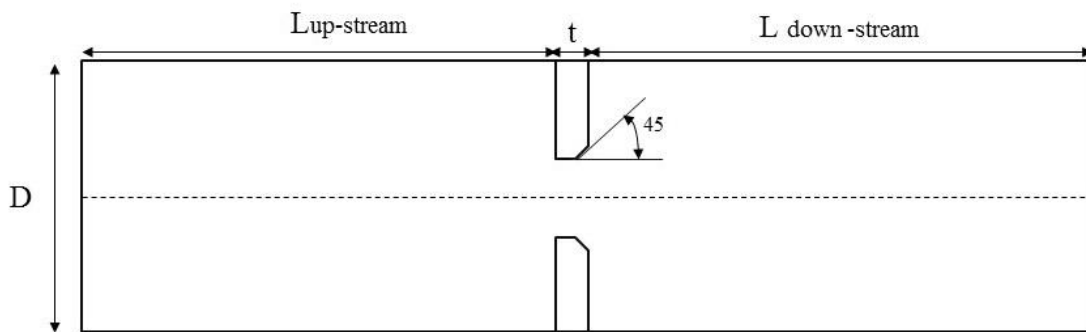
نتایج مدل سازی عددی

۱-۴- هندسه مدل و شبکه‌بندی

اولین مرحله در شبیه‌سازی، برداشت هندسه‌ی مناسب از فیزیک مسئله موردنظر و شبکه‌بندی قابل‌قبول بر روی آن است. هندسه و شبکه‌بندی مناسب، می‌تواند در به دست آوردن جواب‌های قابل‌قبول بسیار مؤثر باشند. برای رسیدن به شبکه‌بندی مناسب، خطاهای ناشی از درشتی شبکه باید حذف شوند؛ برای این کار، شبکه‌ها به تدریج ریزتر شده و این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تغییر کیفیت شبکه (ریز‌نمایی) تأثیری در نتایج کلیدی ناشی از حل مسئله ایجاد نکند. در این حالت، بیشتر ریز کردن شبکه امری غیرضروری است که باعث کاهش سرعت حل می‌شود. به محض رسیدن به شبکه‌ای که ریز کردن آن تغییری در حل حاصل نمی‌کند، شبیه‌سازی از شبکه مستقل^۱ خواهد بود. در ادامه جزییات هندسی جریان‌سنج‌ها و نحوه شبکه‌بندی هر یک آورده شده است.

۱-۱-۴- هندسه جریان‌سنج روزنه‌ای (اریفیس)

نوع هندسه‌ی جریان‌سنج روزنه‌ای از مرجع [۳۱] گرفته شده، که به صورت زیر می‌باشد:



شکل (۱-۴) مدل دوبعدی جریان‌سنج روزنه‌ای هم‌مرکز

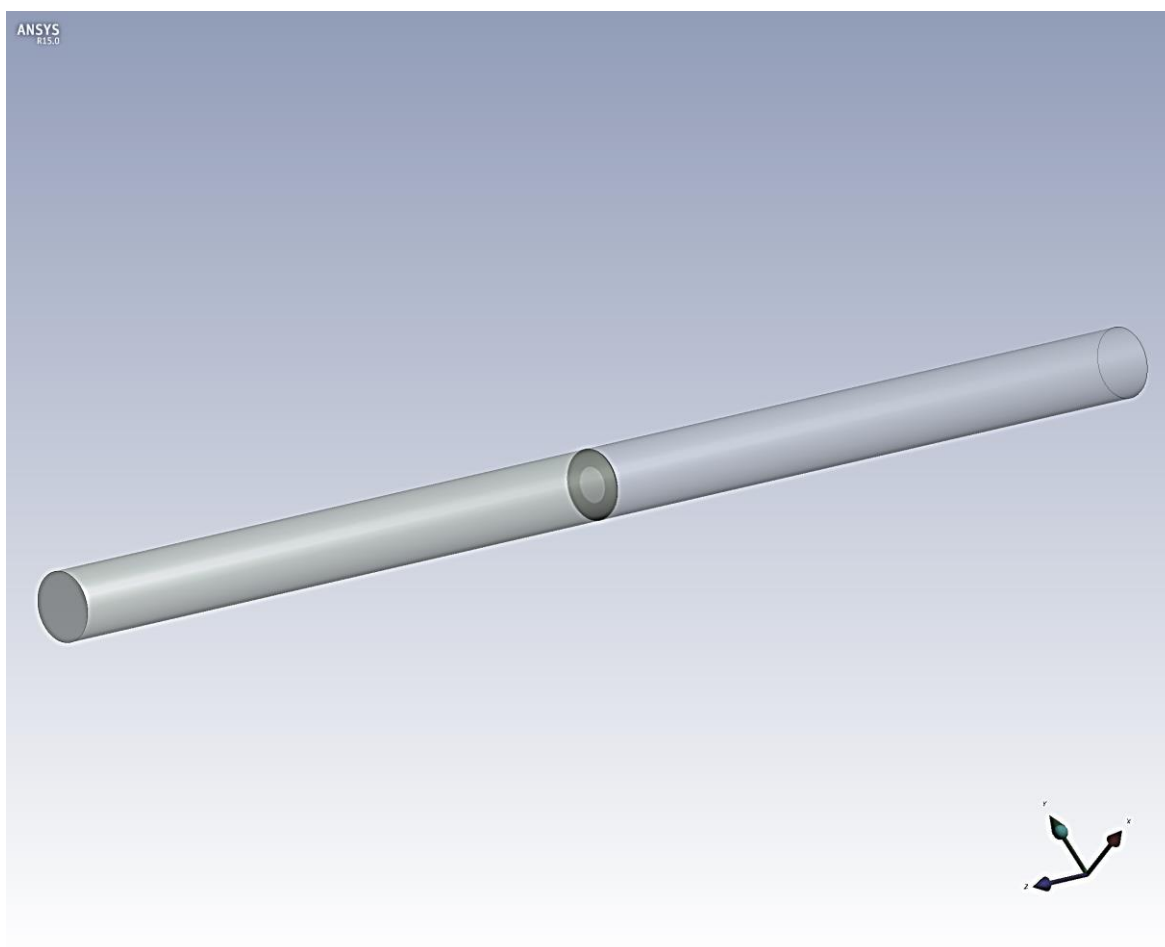
جزییات ابعاد و مدل‌های به کاررفته در پژوهش حاضر به شرح جدول (۱-۴) می‌باشد:

1- Mesh Independency

جدول (۱-۴) جزییات هندسی مدل‌های جریان‌سنج روزنه‌ای

t (mm)	L_D	L_u	$\beta = \frac{d}{D}$	D(m)	شماره مدل
۲	۱۰D	۱۰D	۰/۵	۰/۱۵۴۰	شماره ۱
۲	۱۰D	۱۰D	۰/۷	۰/۱۵۴۰	شماره ۲

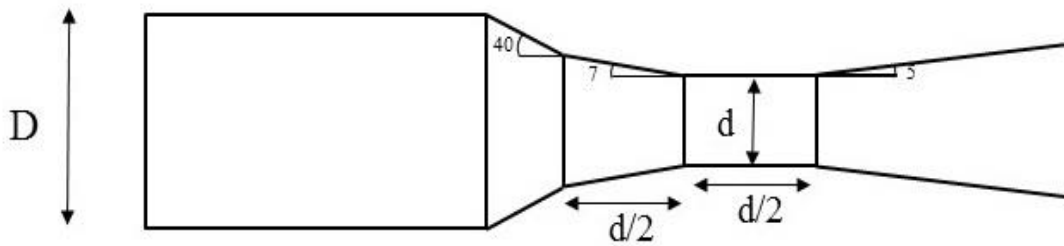
نمونه‌ای از شکل مدل‌سازی شده در نرم‌افزار درآورده شده است.



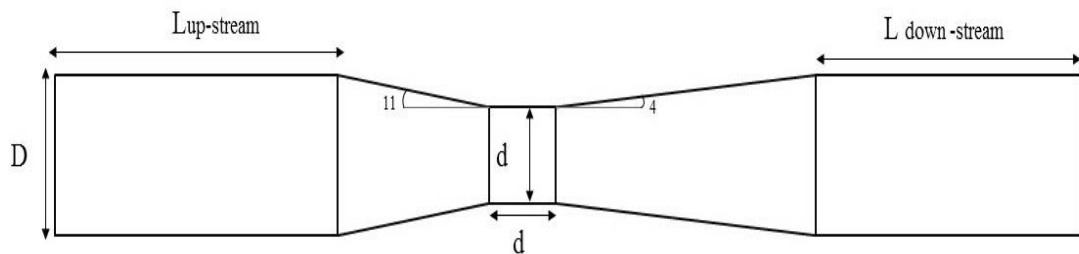
شکل (۲-۴) مدل سه‌بعدی اریفیس

۴-۱-۲- هندسه ونتوری متر

نوع و ابعاد ونتوری مترها با توجه به دو منبع [۳۲] و [۱۹] که مدل دوبعدی هر کدام به ترتیب در شکل (۳-۴) و (۴-۴) ، جزییات ابعاد در جدول (۲-۴) و نمونه‌ای از مدل‌سازی در نرم‌افزار در شکل (۵-۴) آورده شده است.



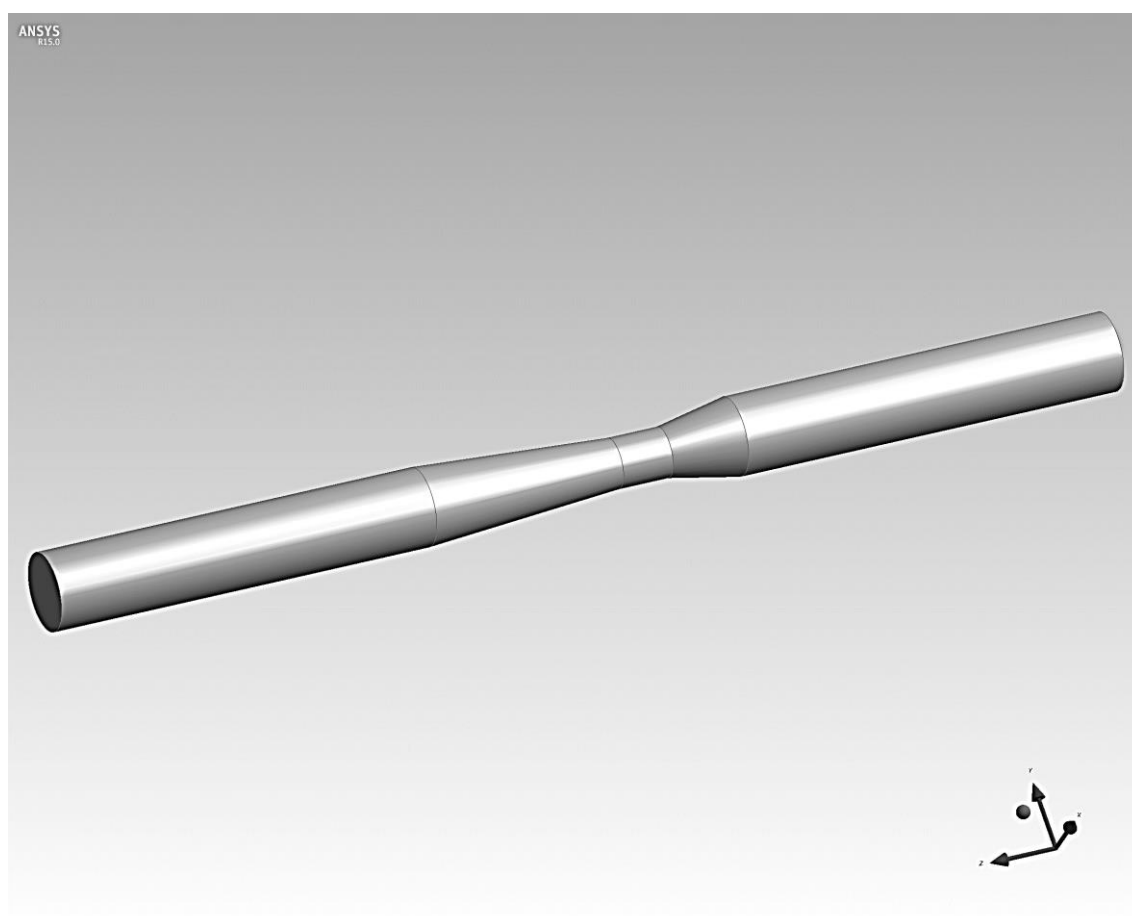
شکل (۳-۴) مدل دوبعدی Universal Venturi (U.V.T)



شکل (۴-۴) مدل دوبعدی Classical Venturi

جدول (۲-۴) جزییات ابعادی ونتوری مترها

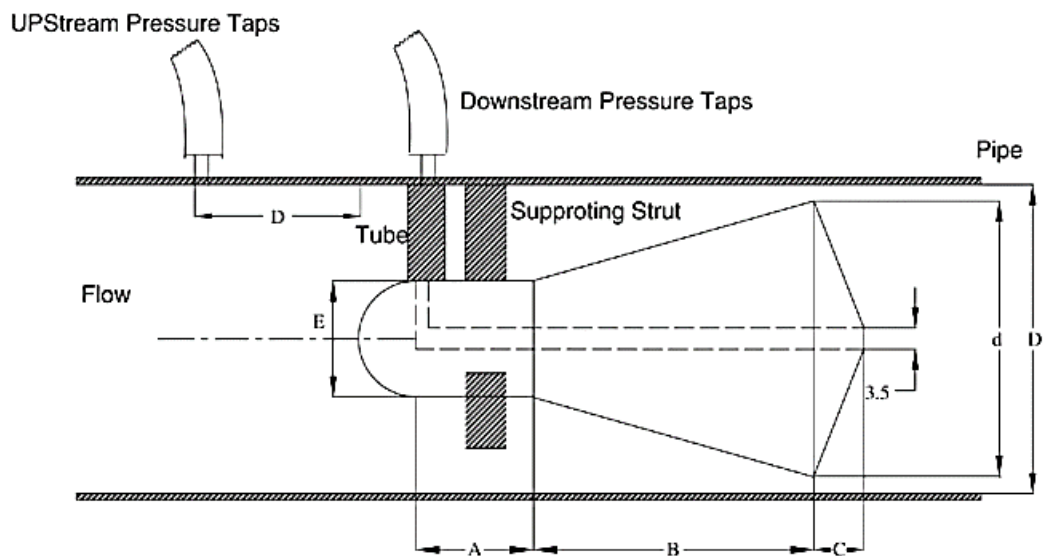
L_D	L_u	$\beta = \frac{d}{D}$	D(m)	نوع مدل
۱۰D	۱۰D	۰/۶۶۱	۰/۱۵۴۰	Universal Venturi
۱۰D	۱۰D	۰/۶۶۱	۰/۱۵۴۰	classical Venturi



شکل (۵-۴) مدل سه بعدی ونتوری

۳-۱-۴- هندسه جریان سنج مخروطی

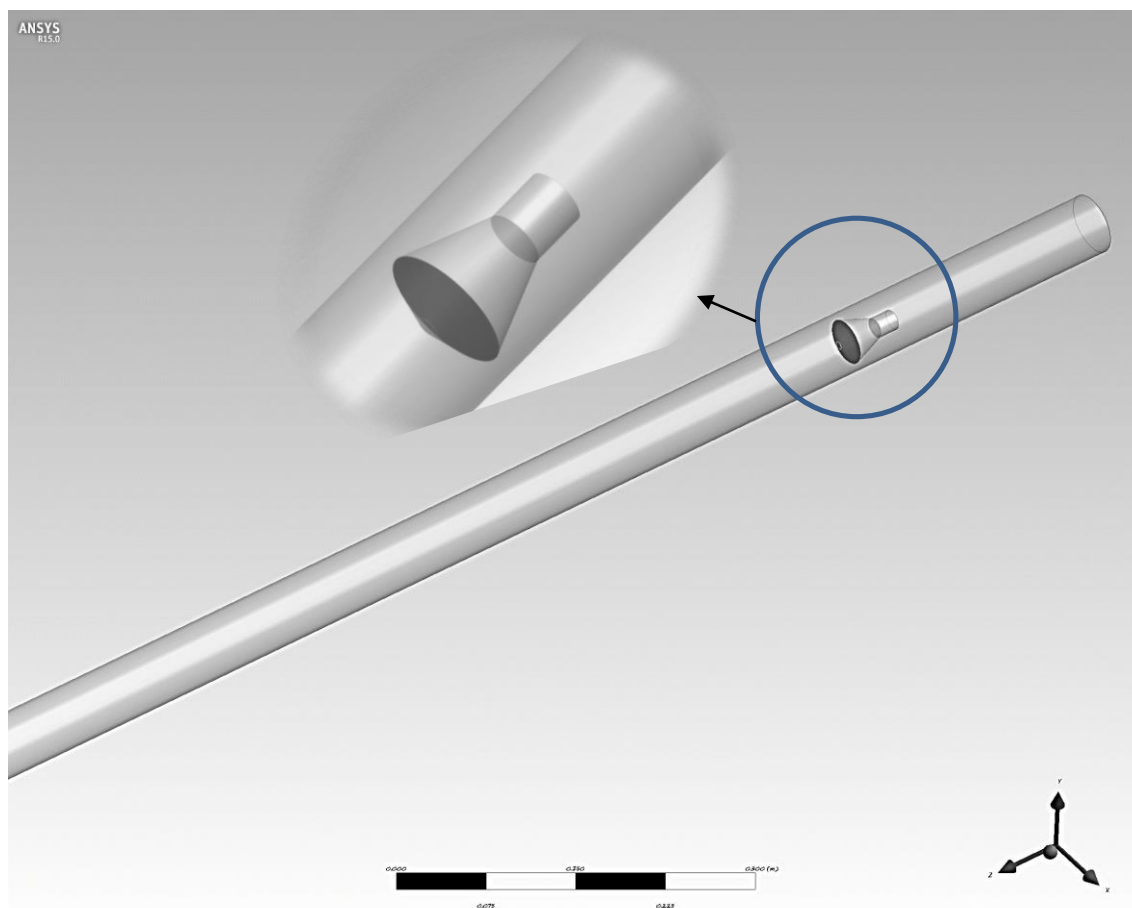
هندسه جریان سنج مخروطی با توجه به مرجع [۲۱] انتخاب گردید که به صورت زیر می باشد:



شکل (۴-۶) مدل دوبعدی جریان سنج مخروطی [۲۱]

جدول (۳-۴) جزییات ابعادی جریان سنج مخروطی

E(mm)	D(mm)	d(mm)	C(mm)	B(mm)	A(mm)	نسبت β
۱۸	۵۲/۱۰	۴۰	۸	۳۰	۱۸	۰/۶



شکل (۷-۴) مدل سه بعدی جریان سنج مخروطی

۴-۱-۴- شبکه بندی مدل ها

هرکدام از مدل ها در نرم افزار ANSYS DesignModeler به صورت سه بعدی ترسیم گردید و سپس با وارد کردن هندسه ی تولیدی به نرم افزار ICEM CFD اصلاحات لازم بر روی هندسه انجام شده و سپس شبکه بندی انجام شد. برای شبکه بندی هرکدام از مدل ها، از روش تولید شبکه سازمان یافته

استفاده شده است. در شبکه سازمان یافته، شناسایی سلول های مجاور به صورت ماتریسی می باشد و شبکه یک ساختار منظم دارد (شکل (۸-۴)). سلول های مورد استفاده در این نوع شبکه، چهار گوش^۱ در دو بعد و شش وجهی^۲ در سه بعد هستند.

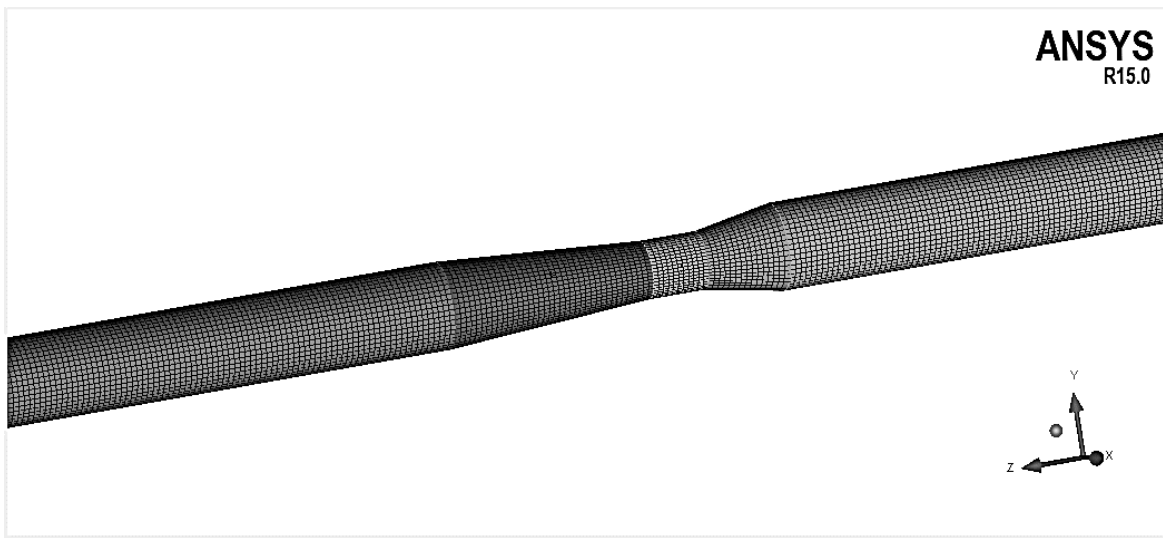
	$i, j+1$	
$i-1, j$	i, j	$i+1, j$
	$i, j-1$	

شکل (۸-۴) آدرس دهی سلول های مجاور در شبکه سازمان یافته

نرم افزار فلوئنت به صورت پایه ای دارای حل گر بدون سازمان است، بنابراین شبکه های سازمان یافته تولید شده برای هر مدل، در نرم افزار ICEM-CFD با تبدیل آدرس دهی سلول ها به روش بدون سازمان، به نرم افزار فلوئنت وارد شدند. نمونه ای از شبکه بندی انجام شده بر روی ونتوری متر در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.

1-Quadrilateral

2- Hexahederal



شکل (۴-۹) شبکه‌بندی سازمان‌یافته بر روی ونتوری متر

از آنجایی که استقلال شبکه یکی از مباحث مهم و تأثیرگذار در حل عددی می‌باشد، شبکه‌های ایجاد شده از لحاظ استقلال شبکه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور حل عددی برای شبکه با تعداد سلول‌های مختلف، برای هر یک از مدل‌ها انجام گردید، سپس با افزایش و کاهش یکپارچه اندازه سلول‌ها، به بررسی تأثیر تعداد سلول‌ها بر روی نتایج شبیه‌سازی پرداخته شد. برای هر کدام از مدل‌ها تغییر ضریب دبی در یک عدد رینولدز مشخص نسبت به تعداد سلول‌ها، مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت شبکه‌بندی مناسب انتخاب گردید.

۴-۲- شبیه‌سازی عددی با فلوئنت

بعد از وارد کردن شبکه تولیدی به فلوئنت، در ابتدا کیفیت شبکه از جنبه‌های مختلف از جمله: عدم وجود شبکه منفی مورد بررسی قرار گرفت. حجم منفی در شبکه بدین معنا می‌باشد که یک یا چند سلول به صورت نامناسب به یکدیگر متصل شده‌اند.

جهت انجام تحلیل آب و نفت به عنوان سیال انتخاب شدند. از آب برای $Re > 20,000$ و از نفت برای $Re < 20,000$ استفاده شد. در ادامه مراحل و تنظیمات انجام شده، بیان خواهند شد.

۴-۲-۱- تعیین مدل حل

کار حاضر در نوع رژیم جریان آرام و آشسته انجام گردید. جهت مدل کردن آشفتگی از مدل K- ϵ استفاده شد. در نرم افزار فلوئنت برای مدل کا-اپسیلون سه مدل تعریف شده است که با استفاده از هر کدام از این مدل‌ها شبیه‌سازی برای یک عدد رینولدز مشخص انجام گردید و با مقایسه نتایج نهایتاً با توجه به مقایسه جواب‌های به دست آمده مدل RNG برای ادامه کار انتخاب گردید. این مدل برای جریان‌های ساده‌ای که در آن‌ها توربولانس در حالت تعادل موضعی قرار دارند، نتایجی شبیه به مدل استاندارد K- ϵ ارائه می‌کند. ضرایب اصلی مدل RNG برای جریان‌ها هم‌دما عبارتند از: $C_{\epsilon 2}$, $C_{\epsilon 1}$, C_{μ} .
یاخوت و همکارانش [۳۳] ضرایب زیر را برای این مدل پیشنهاد کردند:

جدول (۴-۴) ضرایب مدل آشفتگی RNG

C_{μ}	$C_{\epsilon 2}$	$C_{\epsilon 1}$
۰/۰۸۵	۱/۶۸	۱/۴۲

۴-۲-۲- تعیین شرایط مرزی

شرایط مرزی در کار حاضر شامل موارد زیر می‌باشد:

شرط مرزی سرعت در ورودی: از شرط مرزی سرعت ورودی برای تعیین سرعت و پارامترهای اسکالر جریان در مرز ورودی استفاده می‌شود. از این شرط مرزی، برای شبیه‌سازی جریان‌های تراکم‌ناپذیر استفاده می‌شود. در رژیم جریان آشفته لازم است مقادیر اسکالر مربوط به پارامترهای آشفتگی در مرز ورودی تعیین گردند. در واقع زمانی که جریان وارد دامنه ورودی و خروجی می‌شود، فلوئنت نیاز به مشخصه‌هایی دارد که آشفتگی را منتقل کنند، چندین روش برای انجام این کار وجود دارد که در اینجا از شدت آشفتگی و قطر هیدرولیکی استفاده شده است. شدت آشفتگی به صورت نسبت تغییرات سرعت آشفتگی u' به سرعت متوسط جریان u_{ave} تعریف می‌شود؛ که با استفاده از رابطه‌ی $I \equiv \frac{u'}{u_{ave}} = 0.16 \times Re^{-\frac{1}{8}}$ به دست می‌آید. قطر هیدرولیکی نیز برابر قطر لوله‌ی ورودی می‌باشد. برای هر مدل و برای هر عدد رینولدز سرعت ورودی و پارامترهای آشفتگی تعیین شده و در نرم‌افزار وارد گردید.

شرط مرزی فشار در خروجی: در مرز خروجی از شرط مرزی فشار استفاده می‌شود. که همانند شرط مرزی ورودی پارامترهای آشفتگی نیز در تنظیمات وارد شد.

شرط مرزی دیوار: سایر سطوح به صورت شرط مرزی دیوار تعریف شدند [۳۴]

۴-۲-۳- تکنیک‌های حل مسئله

جریان سیال به صورت پایا و تراکم‌ناپذیر فرض شده است. دو نوع حلگر در انسیس فلوئنت وجود دارد: حلگر مبتنی بر فشار (و حلگر مبتنی بر چگالی^۱). هر دو نوع حلگر می‌توانند در دامنه وسیعی از

1- Pressure- based

2- Density-based

جریان‌ها استفاده شوند ولی در برخی موارد، گونه‌ای از حلگرها می‌تواند بهتر جوابگو باشد. حلگر مبتنی بر فشار برای جریان‌های غیرقابل تراکم و نسبتاً قابل تراکم استفاده می‌شود، بنابراین در این پژوهش حلگر مبتنی بر فشار انتخاب شده است.

در حلگر مبتنی بر فشار دو الگوریتم جدا شده و الگوریتم کوپل برای گسسته سازی و حل عددی جریان سیال وجود دارد. الگوریتم جدا شده معادله‌های حاکم را به صورت ترتیبی و پشت سر هم حل می‌کند، در صورتی که الگوریتم کوپل آن‌ها را به صورت هم‌زمان و در یک‌زمان حل می‌کند. در این پژوهش روش الگوریتم جدا شده مورد استفاده قرار گرفته است. این انتخاب به این دلیل است که الگوریتم کوپل اغلب در جریان‌های تراکم‌پذیر که معادله‌های مومنتم و انرژی باید هم‌زمان با یکدیگر حل شوند به کار برده می‌شود. این روش اغلب دارای همگرایی سریع‌تری می‌باشد. یکی دیگر از دلایل استفاده از الگوریتم جدا شده به جای الگوریتم کوپل این است که الگوریتم کوپل به حافظه بیشتری نسبت به الگوریتم جدا شده نیاز دارد.

چهار نوع روش در حالت الگوریتم جدا شده برای کوپلینگ فشار و سرعت^۱ وجود دارد که از جمله آن‌ها روش سیمپل^۲ و سیمپل سی^۳ می‌باشد. منظور از کوپلینگ فشار-سرعت الگوریتم عددی است که هنگام استفاده از حلگر مبتنی بر فشار از ترکیب معادلات پیوستگی و مومنتم برای به دست آوردن معادله‌ای برای فشار (یا اصلاح فشار) استفاده می‌کند به‌طور کلی در حالت دائم از روش‌های سیمپل و سیمپل سی استفاده می‌شود. در کار حاضر از روش سیمپل استفاده شده است. زیرا این روش، یک روش پیش‌بینی و اصلاح است، به این صورت که در ابتدا یک حدس برای میدان‌های سرعت و فشار انجام می‌شود؛ از آنجا که این حدس الزاماً درست نیست معادله پیوستگی را ارضا نمی‌کند؛ با استخراج معادلاتی، میدان‌های سرعت و فشار طوری اصلاح می‌شوند که پیوستگی جرم تقویت شود و با تکرار

1-Pressure-Velocity Coupling

2-SIMPL

3-SIMPLC

این روش نهایتاً معادله پیوستگی تا حد مورد قبولی ارضا می‌شود؛ در نتیجه میدان‌های اصلاح‌شده سرعت و فشار هم معادلات مومنتوم و هم معادله پیوستگی را ارضا کرده و جواب مساله می‌باشند.

برای گسسته سازی معادلات مومنتم و توربولانس از Upwind مرتبه دوم و برای فشار از روش میانبایی استاندارد (standard) استفاده شده است. روش مرتبه اول همگرایی بهتری نسبت به روش مرتبه دوم دارد ولی این روش دارای دقت کمتری در حل معادلات و نتایج حاصله نسبت به روش مرتبه دوم می‌باشد. در حالا کلی اگر در روش مرتبه دوم مشکلات و عدم همگرایی پیش آید باید از روش مرتبه اول استفاده کرد. فاکتورهای تخفیف^۱ برای پایداری فرآیند تکرار برای حلگر مبتنی بر فشار به کار می‌رود. معمولاً فاکتور تخفیف در نظر گرفته شده توسط نرم‌افزار بهینه می‌باشد و برای آغاز محاسبات از فاکتورهای تخفیف پیش فرض استفاده می‌شود. بنابراین در این کار فاکتورهای تخفیف مطابق پیش فرض نرم‌افزار در نظر گرفته شده‌اند [۳۴].

حلگر انسیس فلونتت به شیوه تکرار شونده عمل می‌کند؛ در نتیجه قبل از اولین تکرار، باید یک مقدار به ازای هر کمیت در سلول‌ها وجود داشته باشد. تنظیم این مقدار، مقداردهی اولیه نام دارد. حتی در صورت مستقل بودن حل نهایی از زمان، می‌بایست به‌عنوان یک حدس اولیه، مقداردهی انجام شود. هر چه مقادیر اولیه در دامنه حل به مقادیر نهایی نزدیک‌تر باشند، حل سریع‌تر همگرا می‌شود. مقداردهی اولیه بر اساس مقادیر ورودی انجام شد.

و مقادیر باقیمانده حل بر روی $10e-6$ تنظیم گردید.

تعیین سطوح فشار

به‌منظور به دست آوردن فشار سطوحی قبل و بعد از جریان سنج تعیین گردید. این سطوح در جریان سنج روزنه‌ای در فاصله D و $D/2$ از صفحه اریفیس، در ونتوری متر در قسمت میانی گلوگاه و فاصله $d/2$ از قسمت ورودی لوله به بخش همگرا و در جریان سنج مخروطی در قبل و بعد جریان سنج

1- Relaxation Factor

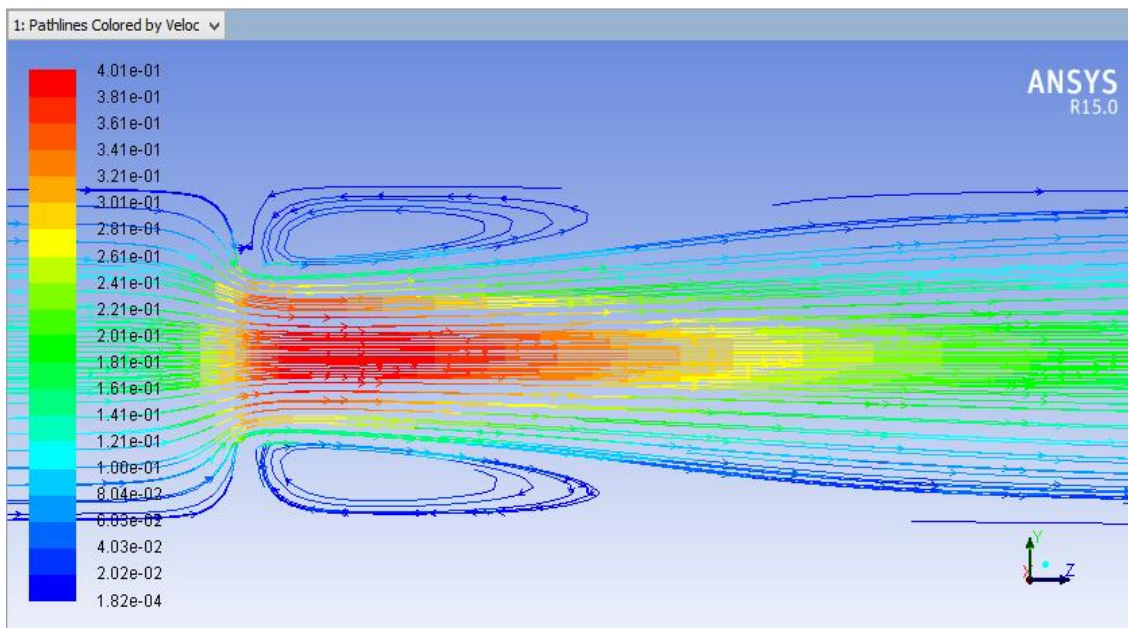
انتخاب شد.

۴-۳- نتایج مدل سازی

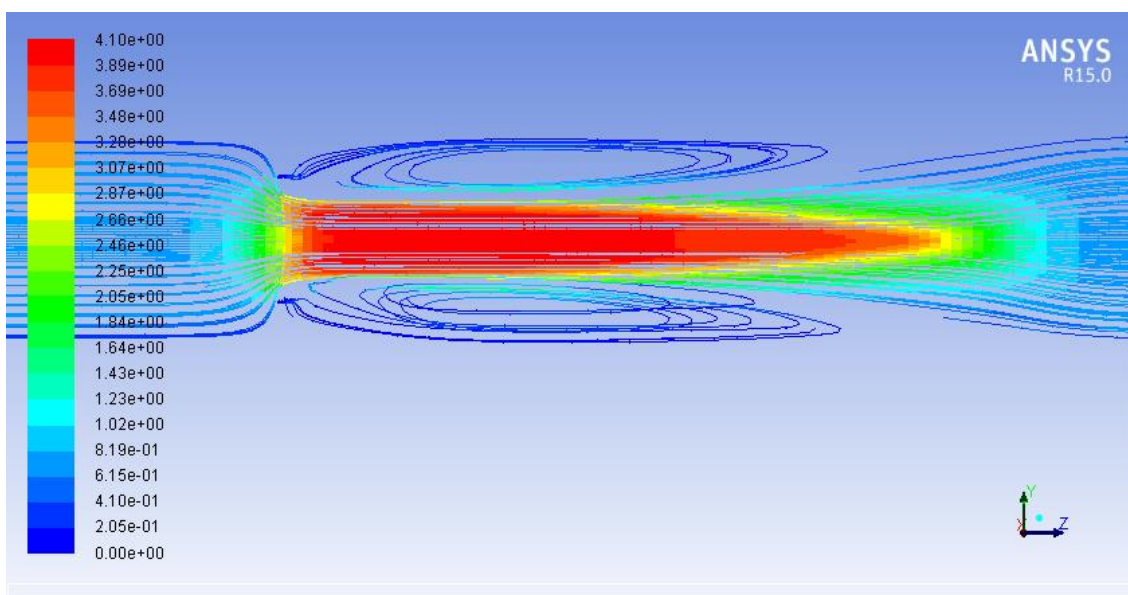
جهت به دست آوردن ضریب دبی جریان سنج‌ها از نرم‌افزار فلوئنت استفاده شد. بدین صورت که مدل‌های ارائه شده در بخش ۴-۱- در نرم‌افزار تحلیل گردید و سپس اختلاف فشار بین نقاط مشخص، محاسبه شده و با استفاده از این اختلاف فشار و روابط موجود ضریب دبی به دست آمد. برای نشان دادن نتایج، تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز به صورت نمودار ارائه می‌شود. برای بهتر نشان داده شدن تغییرات از نمودار نیمه لگاریتمی در محور x استفاده شده است؛ همچنین برای مقایسه، نتایج قبلی نیز در همان نمودار ارائه شده‌اند. جدول جزییات محاسبات در پیوست آورده شده است.

۴-۳-۱- نتایج جریان سنج روزنه‌ای (اریفیس)

تجزیه و تحلیل اریفیس برای به دست آوردن تغییرات ضریب دبی برای نسبت قطر 0.7 و 0.5 و قطر لوله ورودی $15/41$ سانتی‌متر انجام گردید. در هر دو حالت از روش D و $D/2$ برای به دست آوردن فشار در دو طرف صفحه اریفیس استفاده شد. در ادامه نتایج ارائه خواهند شد.



(الف)

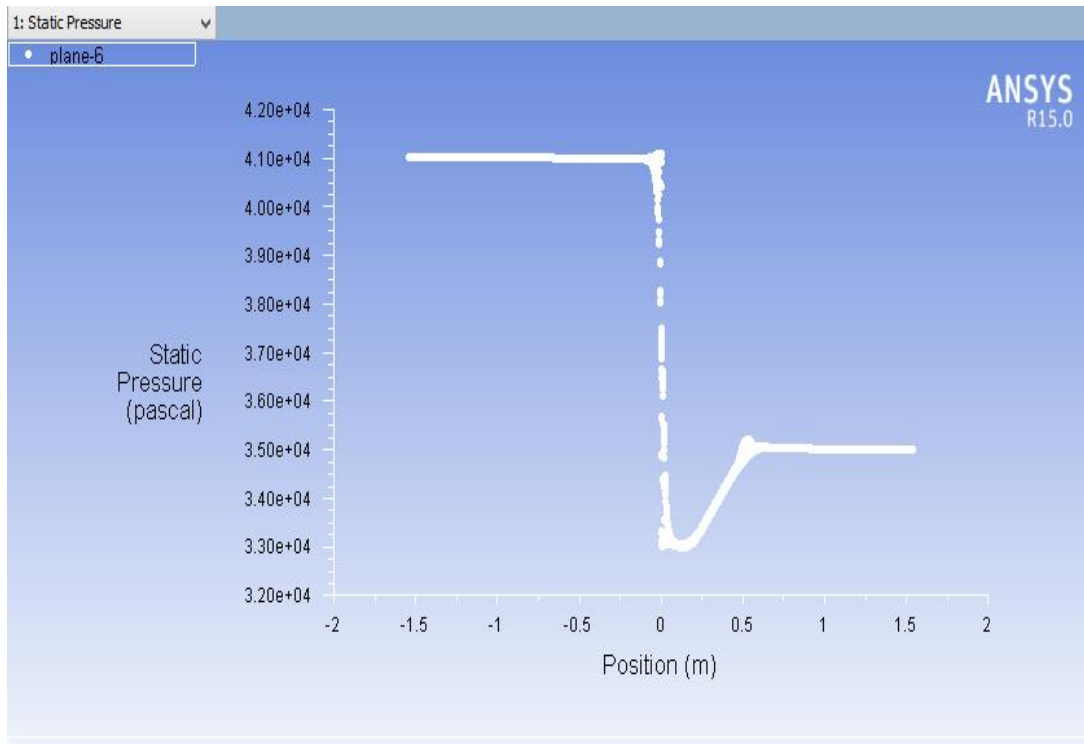


(ب)

شکل (۴-۱۰) تشکیل گردابه در اریفیس الف ($Re=40$) ب ($Re=100000$)

مطابق شکل (۴-۱۰) گردابه‌هایی در پشت صفحه‌ی اریفیس تشکیل می‌شود که به دلیل وجود همین گردابه‌ها، اریفیس دارای افت فشار نسبتاً بالایی است. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش عدد رینولدز این گردابه‌ها کشیده‌تر می‌شوند. نتیجه حاصل مطابقت با یافته‌های میلر در مرجع [۸] دارد.

شکل (۴-۱۱) نشان‌دهنده‌ی تغییرات فشار در طول اریفیس می‌باشد، بدین صورت که فشار با رسیدن به سوراخ اریفیس کاهش می‌یابد و بعداز آن دوباره فشار افزایش می‌یابد و این با اصول اولیه جریان سنج روزنه‌ای (اریفیس) تطابق دارد.



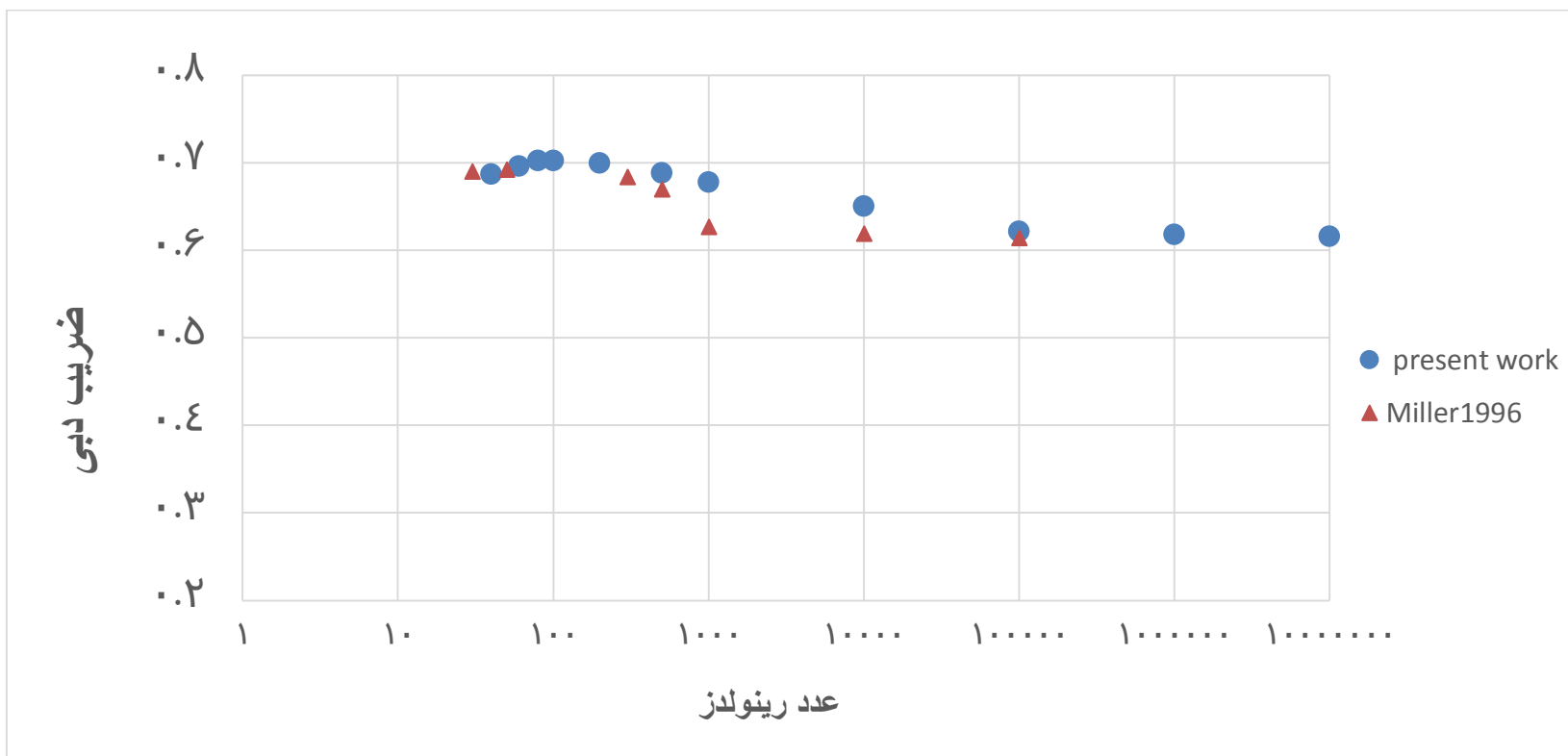
شکل (۴-۱۱) روند تغییرات فشار در طول جریان سنج روزنه‌ای

۴-۳-۱-۱- اریفیس با نسبت قطر ۰/۵

ضریب دبی در اریفیس با نسبت قطر ۰/۵ برای $Re < 100$ یکروند افزایشی نسبت به عدد رینولدز دارد و بعداز آن با افزایش عدد رینولدز کاهش می‌یابد، به طوری که در اعداد رینولدز بالاتر و در جریان آشفته به سمت یک مقدار ثابت تمایل پیدا می‌کند. روند بیان‌شده به طور واضح در شکل (۴-۱۲) قابل مشاهده است.

جدول (۴-۵) نتایج ضریب دبی جریان سنج روزنه‌ای $\beta=0.5$

Re	Cd
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۱۵۷۱۱۸۲۷
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۱۷۵۳۷۵۷۳
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۲۰۹۴۷۳۳۲
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۴۹۷۲۱۹۷۴
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۷۷۶۶۲۲۵۹
۵۰۰	۰/۶۸۸۰۹۲۵۳۱
۲۰۰	۰/۶۹۹۰۴۵۴۳۶
۱۰۰	۰/۷۰۱۸۳۵۲۶۲
۸۰	۰/۷۰۱۷۲۰۲۵۳
۶۰	۰/۶۹۵۹۴۵۵۸
۴۰	۰/۶۸۶۲۱۴۱۳۵



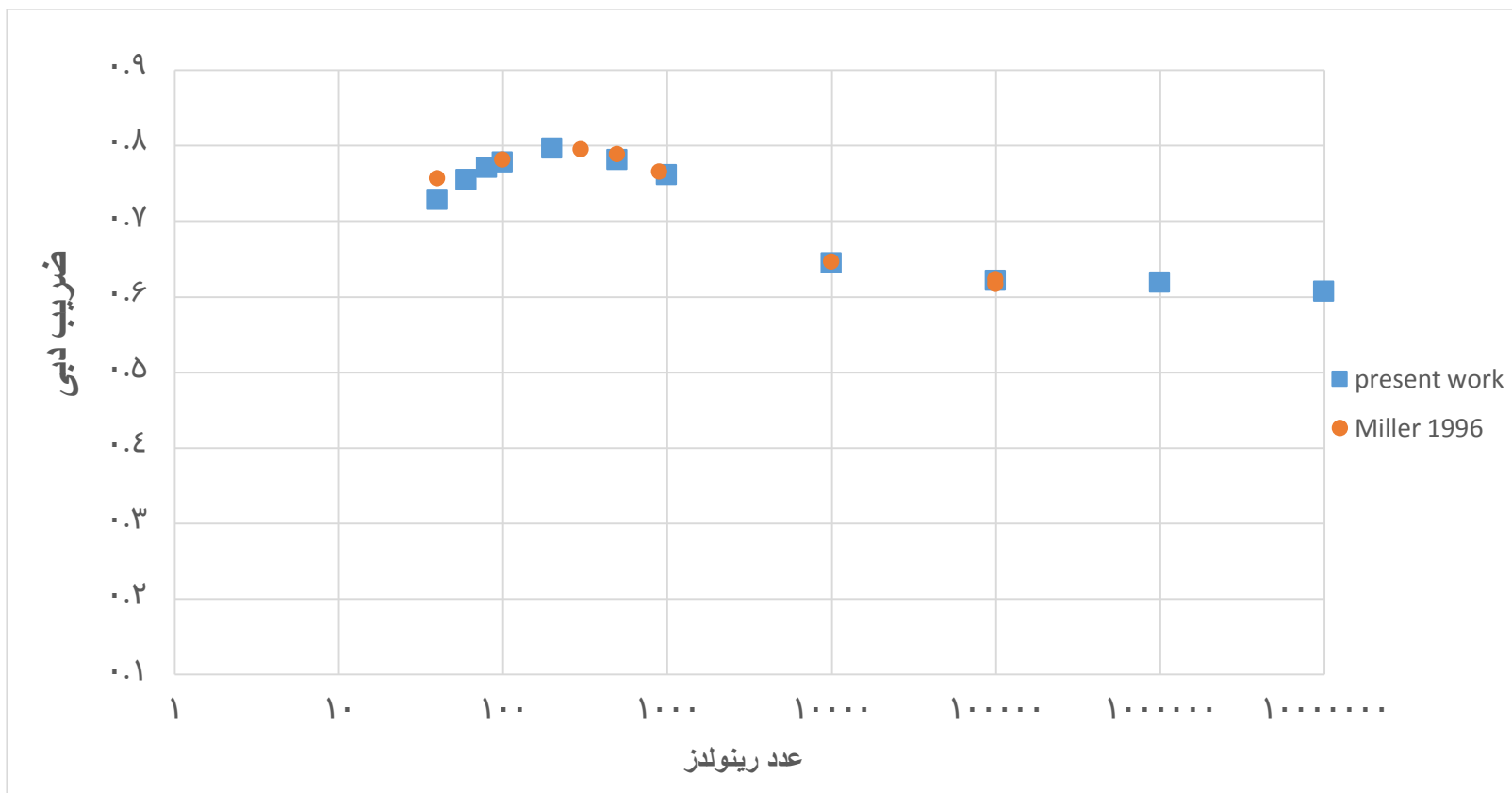
شکل (۴-۱۲) نمودار تغییرات ضریب دبی در جریان سنج روزنه‌ای در $\beta=0.5$

۴-۳-۱-۲- اریفیس با نسبت قطر ۰/۷

در اریفیس با نسبت قطر ۰/۷ روند همانند حالت قبلی می‌باشد این تفاوت که روند افزایشی تا عدد رینولدز ۲۰۰ اتفاق می‌افتد و بعداز آن روند کاهشی نسبت به عدد رینولدز آغاز می‌شود و در اعداد رینولدز بالاتر به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد. در شکل (۴-۱۳) می‌توان این روند را مشاهده کرد.

جدول (۴-۶) نتایج برای جریان سنج روزنه‌ای $\beta=0.7$

Re	CD
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۰۷۱۷۷۹۹۲
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۶۱۹۰۸۰۲۶۶
۱۰۰۰۰۰	۰/۶۲۰۸۱۰۴۹۱
۱۰۰۰۰	۰/۶۴۴۲۸۱۷۰۳
۱۰۰۰	۰/۷۶۱۲۹۱۴۱۵
۵۰۰	۰/۷۸۱۳۲۶۲۳۷
۲۰۰	۰/۷۹۵۹۶۹۰۳۳
۱۰۰	۰/۷۷۷۶۶۳۷۷۸
۸۰	۰/۷۷۰۳۷۷۸۶۹
۶۰	۰/۷۵۴۳۰۰۷۵۴
۴۰	۰/۷۲۸۱۵۹۹۷۹

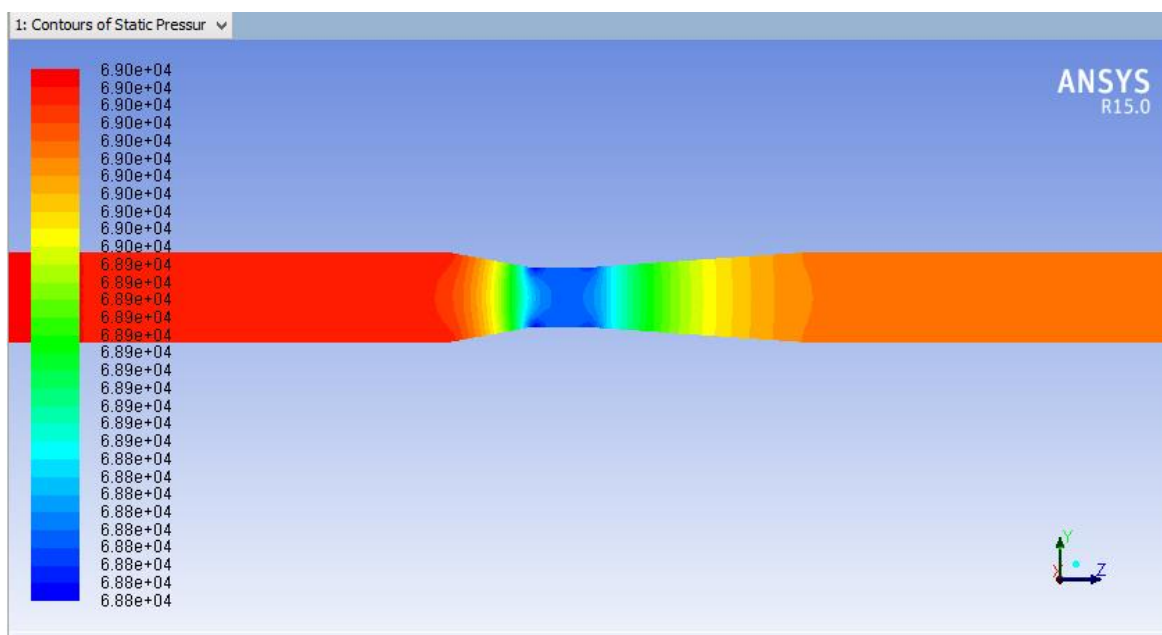


شکل (۴-۱۳) نمودار تغییرات دبی در جریان سنج روزنه‌ای $\beta=0.7$

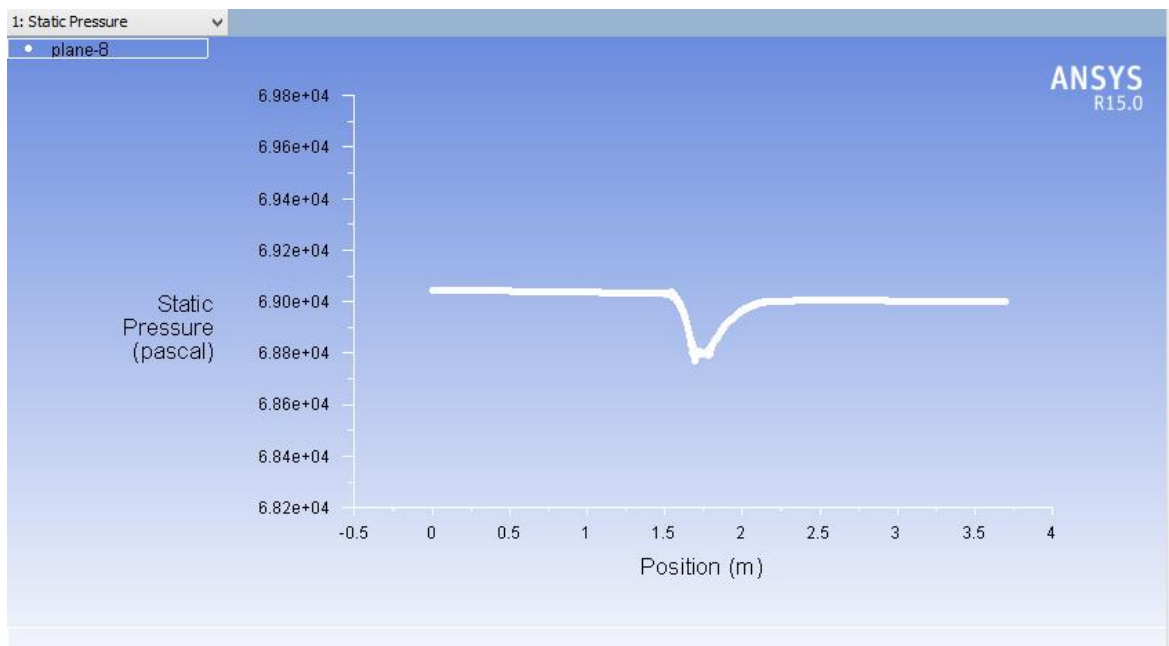
با توجه به نتایج ارائه شده برای اریفیس، روندی که ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز دارد تقریباً مشابه روندی است که جوهانس در مرجع [۶] به آن رسید. اینکه ضریب دبی در رژیم جریان گذرا از آرام به آشفته، به حداکثر مقدار خود رسیده و پس از آن در رژیم جریان آشفته (اعداد رینولدز بالا) کاهش می یابد و به مقدار ثابتی می رسد و عدد رینولدز در قسمت گذرا از آرام به آشفته، برای نسبت قطر بیشتر، بالاتر می باشد. که در کار حاضر برای نسبت قطر ۰/۷ در عدد رینولدز ۲۰۰ و برای نسبت قطر ۰/۵ در عدد رینولدز ۱۰۰ اتفاق می افتد.

۴-۳-۲- نتایج ونتوری متر

ونتوری متر با استفاده از دو هندسه کمی متفاوت برای تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز، مدل سازی شد. نسبت قطر برای هردو ونتوری برابر ۰/۶۶۱ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه تفاوت دو مدل در کانتورهای سرعت و فشار تفاوت چشم گیری ندارند در ادامه نمونه ای از خروجی های نرم افزار برای ونتوری متر کلاسیک برای نشان دادن روند تغییرات در ونتوری متر ارائه خواهد شد. بعد از آن نتایج حاصل از تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای هر دو مدل آورده شده است.

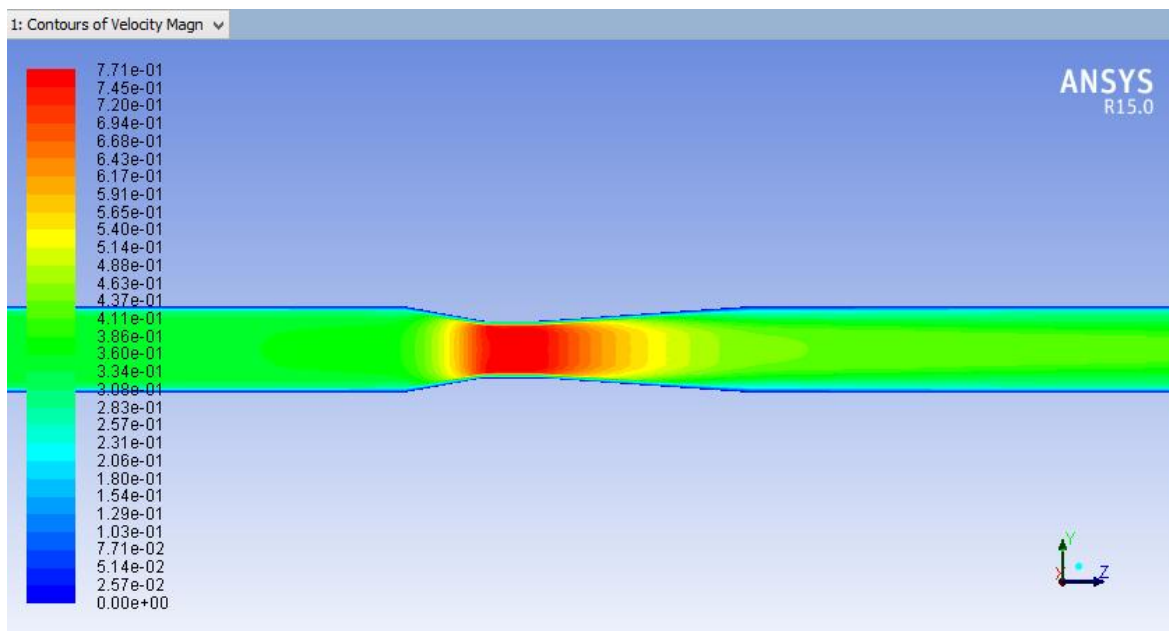


شکل (۴-۱۴) کانتور فشار ونتوری متر در $Re=50000$



شکل (۴-۱۵) نمودار توزیع فشار در طول ونتوری متر در $Re=50000$

همان طور که در شکل (۴-۱۴) و شکل (۴-۱۵) مشاهده می شود فشار در ونتوری متر بعد از ورود به بخش همگرا به تدریج کاهش می یابد تا زمانی که به گلوگاه برسد و در گلوگاه فشار به حداقل مقدار خود می رسد و بعد وارد شدن جریان به بخش واگرا فشار به تدریج افزایش می یابد.



شکل (۴-۱۶) کانتور سرعت در ونتوری متر در $Re=50000$

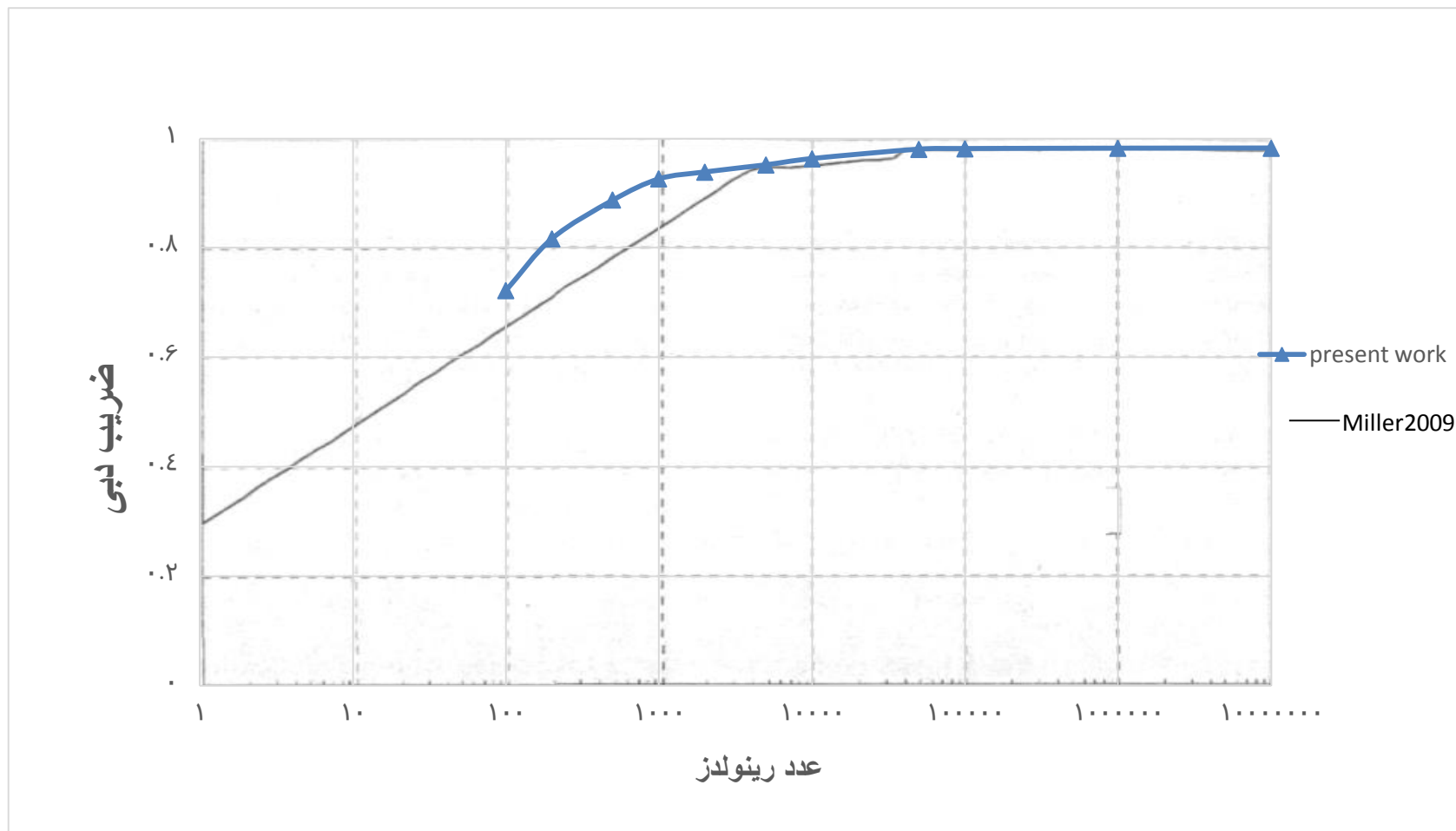
همان طور که از کانتور سرعت مشخص است سرعت بعد از رسیدن به گلوگاه که کمترین سطح مقطع را دارد افزایش می یابد و بعد آن به تدریج کاهش می یابد.

جدول (۴-۷) نتایج ونتوری متر کلاسیک

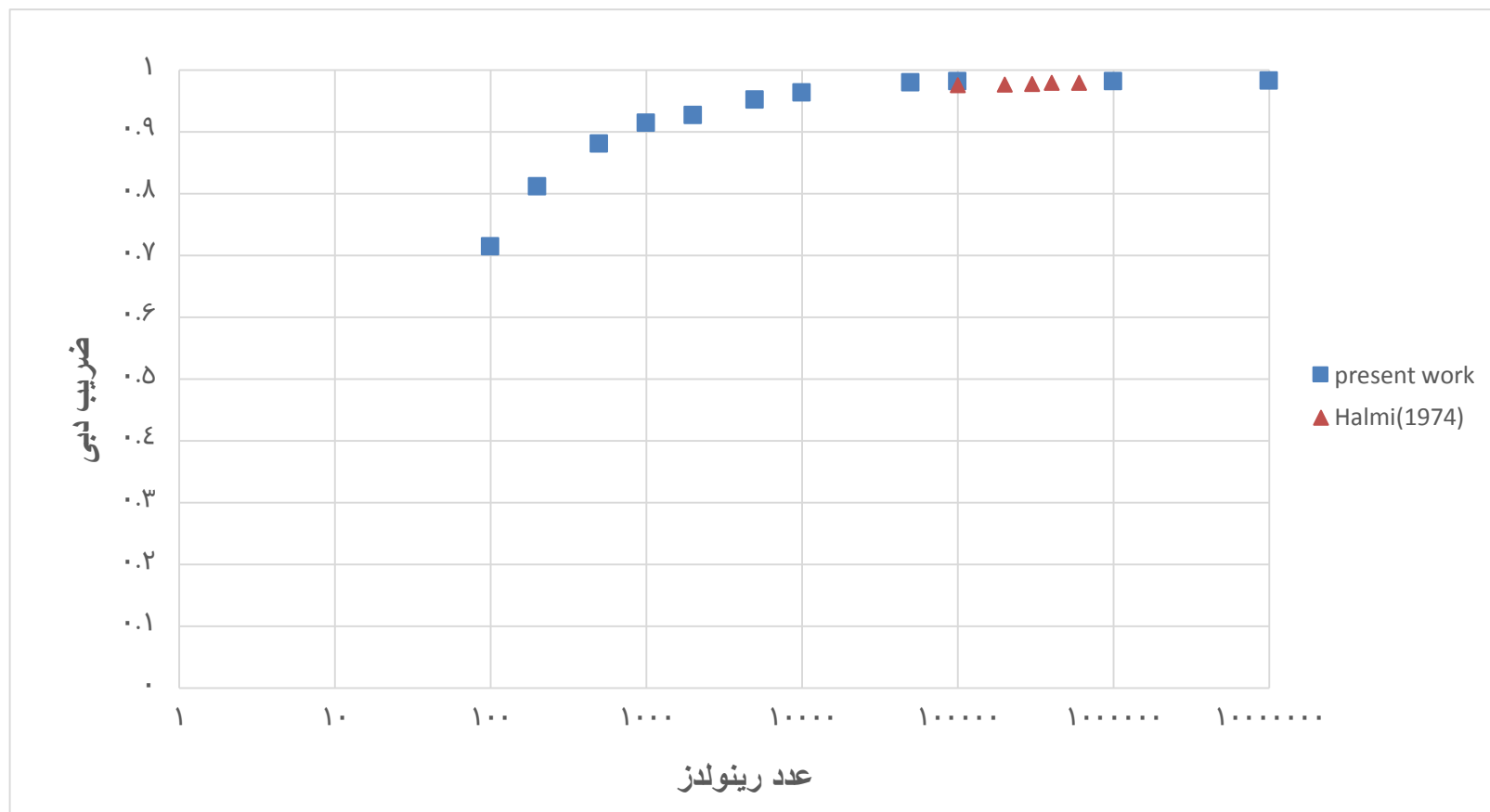
Re	CD
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۲۵۷۹۶۴
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۲۲۳۷
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۱۵۹۲۵۵۱
۵۰۰۰۰	۰/۹۸۰۵۰۹۶۳۱
۱۰۰۰۰	۰/۹۶۳۲۸۷۵۳۹
۵۰۰۰	۰/۹۵۱۸۳۶۹۵۲
۲۰۰۰	۰/۹۲۷۸۳۰۷۹۵
۱۰۰۰	۰/۹۲۶۱۴۶۳۹۳
۵۰۰	۰/۸۸۷۳۲۵۱۰۷
۲۰۰	۰/۸۱۶۹۴۱۸۵۹
۱۰۰	۰/۷۲۲۱۰۶۰۳۷

جدول (٤-٨) نتایج Universal Venturi (U.V.T)

Re	CD
١٠٠٠٠٠٠	٠/٩٨٢٤١٦١٦٩
١٠٠٠٠٠٠	٠/٩٨١٩١٤٧٩٦
١٠٠٠٠٠٠	٠/٩٨١٤٨٥٨٣٢
٥٠٠٠٠	٠/٩٨٠١٥٥٥٦١
٥٠٠٠٠	٠/٩٨٠١٥٥٥٦١
١٠٠٠٠	٠/٩٦٣٣٧٧٦٧
٥٠٠٠	٠/٩٥١٨٣٦٠٧٩
٥٠٠٠	٠/٩٥١٨٣٦٠٧٩
٢٠٠٠	٠/٩٢٧٠١١٧١٤
١٠٠٠	٠/٩١٤١٤٨٧٦٣
٥٠٠	٠/٨٨٠٩٨٣٤٩٩
٢٠٠	٠/٨١١٤٦٧٨٨٧
١٠٠	٠/٧١٤٢٠٤٤٧٥



شکل (۴-۱۷) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای ونتوری متر کلاسیک



شکل (۴-۱۸) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای Universal Venturi

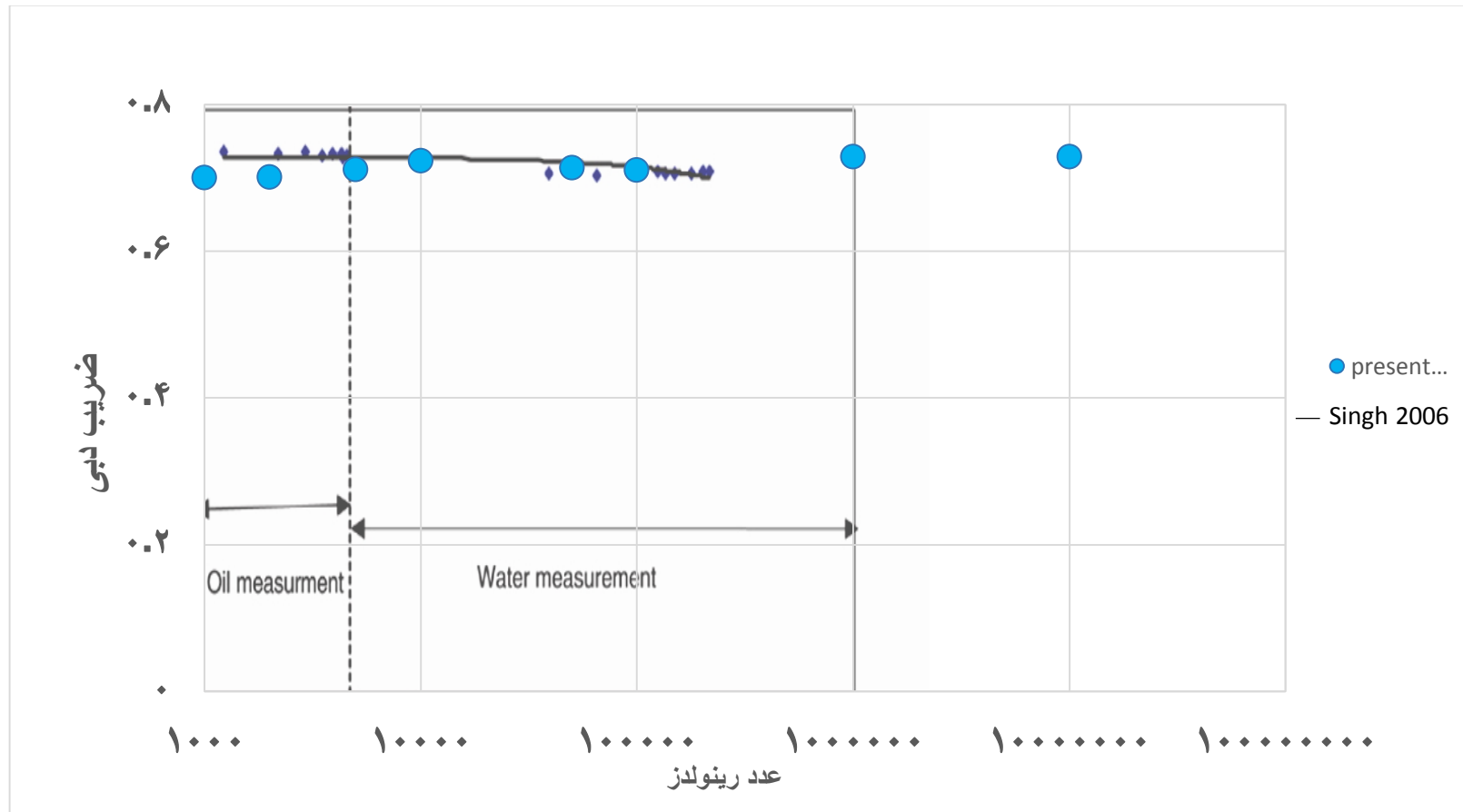
با توجه به نمودارهای ارائه شده، ضریب دبی در ونتوری متر کلاسیک کمی بیشتر از Universal Venturi است و این به دلیل تفاوت در هندسه‌ی ورودی به گلوگاه می‌باشد در ونتوری کلاسیک به دلیل وجود یک مخروط، جریان هموارتر وارد گلوگاه می‌شود و آشفتگی و افت کمتری دارد به همین دلیل ضریب دبی بیشتری نسبت به Universal Venturi دارد.

۳-۳-۴- نتایج جریان سنج مخروطی

جریان سنج مخروطی با نسبت قطر $0/6$ و هندسه‌ی مشخص شده مدل‌سازی شد. تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز به صورت جدول (۹-۴) و شکل (۱۹-۴) است. نتیجه حاصله نشان‌دهنده‌ی این است که در اعداد رینولدز مختلف ضریب دبی تقریباً ثابت و نزدیک به هم هست.

جدول (۹-۴) نتایج جریان سنج مخروطی

Re	CD
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۷۲۸۴۵۲۸۷۸
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۷۲۸۶۱۷۴۷
۱۰۰۰۰۰۰	۰/۷۱۰۱۰۷۶۳۱
۵۰۰۰۰	۰/۷۱۳۶۳۳۲۰۸
۱۰۰۰۰	۰/۷۲۳۱۵۸۸۲۲
۵۰۰۰	۰/۷۱۰۷۵۲۱۲۷
۲۰۰۰	۰/۷۰۰۸۱۸۰۰۵
۱۰۰۰	۰/۷۰۰۰۶۰۱۵۱
۵۰۰	۰/۷۰۰۰۶۱۶۵۵



شکل (۴-۱۹) تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برای جریان سنج مخروطی

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

سه جریان سنج اختلاف فشاری اریفیس، ونتوری متر و مخروطی با هند سه و نسبت قطرهای مشخص شده مدل سازی شدند. در ادامه با توجه به نتایج ارائه شده در فصل قبل، به بیان نتایج به دست آمده از این پژوهش پرداخته می شود.

۱- در جریان سنج روزنه ای روند تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز در ابتدا یک روند افزایشی می باشد تا زمانی که به عدد رینولدزی که در آن جریان گذرا اتفاق می افتد یعنی در عدد رینولدزی که جریان از آرام به آشفته می رسد، بعد از آن یک روند کاهشی با افزایش عدد رینولدز دارد، به طوری که در اعداد رینولدز بالاتر و در جریان آشفته تقریباً به یک مقدار ثابتی می رسد.

۲- با توجه به مدل سازی جریان سنج روزنه ای با دو نسبت قطر $0/7$ و $0/5$ روند تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز در هر دو آن ها یک روند یکسان بود ولی تفاوت هر چند اندک در میزان ضریب دبی قابل مشاهده بود. که این نشان دهنده ای این است که ضریب دبی علاوه بر وابستگی به عدد رینولدز به نسبت قطر جریان سنج روزنه ای نیز بستگی دارد.

۳- در نسبت قطر $0/7$ عدد رینولدزی که جریان گذرا اتفاق می افتد برابر 200 و این عدد برای نسبت قطر $0/5$ برابر 100 می باشد، که نشان دهنده ای این است که با افزایش نسبت قطر عدد رینولدزی که جریان از حالت آرام به آشفته می رسد بالاتر می باشد.

۴- در ونتوری متر تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز برخلاف اریفیس یک روند مشخص دارد بدین صورت که با افزایش عدد رینولدز ضریب افزایش می یابد به طوری که در اعداد رینولدز بالاتر به مقدار تقریباً ثابت $0/98$ می رسد.

۵- دو ونتوری از لحاظ هندسه ای ورودی به گلوگاه متفاوت بودند که همین تفاوت باعث تغییر هر چند اندک در ضریب دبی آن ها شد و این امر نشان دهنده ای این است که تغییر در هندسه ونتوری متر هر چند با یکسان بودن نسبت قطر و سایر ابعاد تفاوت در ضریب دبی را به همراه دارد.

۶- برای جریان سنج مخروطی بعد از بررسی تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد رینولدز این نتیجه حاصل شد که تغییرات این ضریب در جریان سنج مخروطی نسبت به عدد رینولدز حساسیت چندانی ندارد. قابل ذکر است که این نتیجه برای جریان سنج با هندسه‌ی مشخص شده در این کار به دست آمده است و با توجه به اینکه نوع هندسه و ابعاد مخروط می‌تواند کاملاً متفاوت از هندسه مورد نظر باشد امکان نتیجه‌ی مشابه یا غیرمشابه وجود دارد.

۷- در جریان سنج روزنه‌ای در پشت صفحه اریفیس گردابه‌هایی تشکیل می‌شود که این گردابه‌ها باعث می‌شود که افت فشار این نوع جریان سنج برخلاف ونتوری که چنین پدیده‌ای در آن اتفاق نمی‌افتد بالاتر باشد. و این دلیل باعث می‌شود که از ونتوری متر درجایی که نیاز به افت فشار کمتری است استفاده شود. در واقع اریفیس برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار استفاده نمی‌شود.

۸- به‌طور کلی ضریب دبی در ونتوری متر بیشتر از مخروطی و در مخروطی بیشتر از اریفیس بدست آمده است. که این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی افت فشار بالاتر اریفیس نسبت به مخروطی و ونتوری باشد.

۹- در مدل سازی جریان سنج‌ها از مدل‌های مختلف آشفستگی استفاده شد و با بررسی هر کدام از مدل‌ها و مقایسه‌ی ضریب دبی به دست آمده با نتایج کارهای قبلی، در نهایت به دلیل اینکه از مدل آشفستگی RNG K-ε نتایج بهتری به دست آمد، از این مدل برای انجام ادامه کار استفاده شد.

۵-۲- پیشنهادات

برای انجام تحقیقات بیشتر در مورد کار حاضر موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- ۱- جهت بررسی بیشتر در مورد تأثیر نسبت قطر بر روی جریان سنج روزنه‌ای می‌توان با در نظر گرفتن محدوده‌ی بیشتری از نسبت قطر شبیه‌سازی عددی را انجام داد.
- ۲- از آنجاکه در این تحقیق برای به دست آوردن فشار در اریفیس از روش D و $D/2$ استفاده

شد، با توجه به اینکه روش‌های دیگری هم برای مکان شیرهای فشار وجود دارد می‌توان با در نظر گرفتن آن‌ها بررسی کرد که روش انتخاب مکان شیر فشار چه تأثیری بر روی ضریب دارد.

۳- برای ونتوری متر می‌توان شکل‌های مختلف و نسبت قطرهای مختلف را جهت بررسی بیشتر استفاده نمود.

۴- برای جریان سنج مخروطی می‌توان هندسه‌های متعدد با ابعاد متفاوت را مدل‌سازی نمود تا تأثیر هندسه بر روی ضریب دبی را در این نوع جریان‌سنج‌ها بررسی کرد.

پیوست‌ها

orifice $\beta=0.50$

		Pipe Flow Rate			Measured pressure			Meter Coefficient
Fluid	Re	Flow (m ³ /s)	Viscosity (m ³ /s)	Velocity (m/s)	High Tap (Pa)	Low Tap (Pa)	diff., P ₁ - P ₂ (Pa)	Cd
Water	10000000	1.216118479	1.00E-06	65.2049744	5.47E+06	- 7.85E+07	8.40E+07	0.615711827
Water	1000000	0.121611848	1.00E-06	6.52049744	5.18E+04	- 7.83E+05	8.35E+05	0.617537573
Water	100000	0.012161185	1.00E-06	0.652049744	4.10E+04	3.27E+04	8.26E+03	0.620947332
Oil	10000	0.324952821	2.68E-04	17.4230889	5.42E+06	3.98E+04	5.38E+06	0.649721974
Oil	1000	0.032495282	2.68E-04	1.74230889	8.62E+04	3.67E+04	4.95E+04	0.677662259
Oil	500	0.016247641	2.68E-04	0.871154445	4.80E+04	3.60E+04	1.20E+04	0.688092531
Oil	200	0.006499056	2.68E-04	0.348461778	3.78E+04	3.60E+04	1.86E+03	0.699045436
Oil	100	0.003249528	2.68E-04	0.174230889	3.64E+04	3.59E+04	4.61E+02	0.701835262
Oil	80	0.002599623	2.68E-04	0.139384711	3.62E+04	3.59E+04	2.95E+02	0.701720253
Oil	60	0.001949717	2.68E-04	0.104538533	3.46E+04	3.44E+04	1.69E+02	0.69594558
Oil	40	0.001299811	2.68E-04	0.069692356	3.45E+04	3.45E+04	7.72E+01	0.686214135

orifice $\beta=0.70$

Fluid	Re	Pipe Flow Rate			Measured pressure			Meter Coefficient
		Flow (m ³ /s)	Viscosity (m ³ /s)	Velocity (m/s)	High Tap (Pa)	Low Tap (Pa)	diff., P ₁ - P ₂ (Pa)	Cd
Water	10000000	1.216118479	1.00E-06	65.2049744	1.72E+07	-9.97E+05	1.82E+07	0.607177992
Water	1000000	0.121611848	1.00E-06	6.52049744	9.00E+04	-8.53E+04	1.75E+05	0.619080266
Water	100000	0.012161185	1.00E-06	0.652049744	4.65E+04	4.47E+04	1.74E+03	0.620810491
Oil	10000	0.324952821	2.68E-04	17.4230889	6.74E+05	-4.82E+05	1.16E+06	0.644281703
Oil	1000	0.032495282	2.68E-04	1.74230889	4.07E+04	3.24E+04	8.27E+03	0.761291415
Oil	500	0.016247641	2.68E-04	0.871154445	4.13E+04	3.93E+04	1.96E+03	0.781326237
Oil	200	0.006499056	2.68E-04	0.348461778	3.57E+04	3.54E+04	3.03E+02	0.795969033
Oil	100	0.003249528	2.68E-04	0.174230889	3.45E+04	3.45E+04	7.93E+01	0.777663778
Oil	80	0.002599623	2.68E-04	0.139384711	3.45E+04	3.45E+04	5.17E+01	0.770377869
Oil	60	0.001949717	2.68E-04	0.104538533	3.45E+04	34469.65	3.03E+01	0.754300754
Oil	40	0.001299811	2.68E-04	0.069692356	3.45E+04	34474.48	1.45E+01	0.728159979

Classical Venturi

		Pipe Flow Rate		Measured pressure				Meter Coefficient
Fluid	Re	Flow (m ³ /s)	Viscosity (m ³ /s)	Velocity (m/s)	High Tap (Pa)	Low Tap (Pa)	diff., P ₁ - P ₂ (Pa)	Cd
Water	10000000	1.216118479	1.00E-06	65.2049744	6.97E+05	-8618905	9315625	0.98257964
Water	1000000	0.121611848	1.00E-06	6.52049744	77696.1	-15525.154	93221.254	0.982237
Water	100000	0.012161185	1.00E-06	0.652049744	69115	68181.563	933.437	0.981592551
Water	50000	0.006080592	1.00E-06	0.326024872	69034	68800.125	233.875	0.980509631
Oil	10000	0.324952821	2.68E-04	17.4230889	266089.1	-425940.2	692029.3	0.963287539
Oil	5000	0.16247641	2.68E-04	8.711544452	113074.675	-64120.24	177194.915	0.951836952
Oil	2000	0.064990564	2.68E-04	3.484617781	51157.25	21320	29837.25	0.938830795
Oil	1000	0.032495282	2.68E-04	1.74230889	39417	31930.53	7486.47	0.926146393
Oil	500	0.016247641	2.68E-04	0.871154445	36060.12	34021.15	2038.97	0.887325107
Oil	200	0.006499056	2.68E-04	0.348461778	3876.12	3491.25	384.87	0.816941859
Oil	100	0.003249528	2.68E-04	0.174230889	3563.15	3440	123.15	0.722106037

U.V.T Venturi

		Pipe Flow Rate				Measured pressure			Meter Coefficient
	Re	Flow (m ³ /s)	Viscosity (m ³ /s)	Velocity (m/s)	High Tap (Pa)	Low Tap (Pa)	diff., P ₁ - P ₂ (Pa)	Cd	
Water	10000000	1.216118479	1.00E-06	65.2049744	7.00E+05	-8.62E+06	9.32E+06	0.982416169	
Water	1000000	0.121611848	1.00E-06	6.52049744	77666.289	-1.56E+04	9.33E+04	0.981914796	
Water	100000	0.012161185	1.00E-06	0.652049744	69115.203	6.82E+04	9.34E+02	0.981485832	
Water	50000	0.006080592	1.00E-06	0.326024872	69035.997	6.88E+04	2.34E+02	0.980155561	
Oil	10000	0.324952821	2.68E-04	17.4230889	266086.98	-4.26E+05	6.92E+05	0.96327767	
Oil	5000	0.16247641	2.68E-04	8.711544452	113074	-6.41E+04	1.77E+05	0.951836079	
Oil	2000	0.064990564	2.68E-04	3.484617781	51160	21270	2.99E+04	0.927011714	
Oil	1000	0.032495282	2.68E-04	1.74230889	39617	31932.73	7.68E+03	0.914148763	
Oil	500	0.016247641	2.68E-04	0.871154445	36059.58	33991.15	2.07E+03	0.880983499	
Oil	200	0.006499056	2.68E-04	0.348461778	3880.86	3490.78	3.90E+02	0.811467887	
Oil	100	0.003249528	2.68E-04	0.174230889	3580.48	3454.59	1.26E+02	0.714204475	

v-cone

		Pipe Flow Rate			Measured pressure			Meter Coefficient
	Re	Flow (m ³ /s)	Viscosity (m ³ /s)	Velocity (m/s)	High Tap (Pa)	Low Tap (Pa)	diff., P ₁ - P ₂ (Pa)	Cd
Water	1000000	0.411160109	1.00E-06	192.8615462	1.55E+08	-7.97E+07	2.35E+08	0.728452878
Water	1000000	0.041116011	1.00E-06	19.28615462	1.06E+06	-1.29E+06	2.35E+06	0.72861747
Water	100000	0.004111601	1.00E-06	1.928615462	6.37E+04	3.89E+04	2.47E+04	0.710107631
Water	50000	0.002055801	1.00E-06	0.964307731	5.61E+04	4.99E+04	6.12E+03	0.713633208
Oil	10000	0.109863997	2.68E-04	51.53355086	5.42E+06	-1.16E+07	1.70E+07	0.723158822
Oil	5000	0.054931999	2.68E-04	25.76677543	5.01E+06	6.01E+05	4.41E+06	0.710752127
Oil	2000	0.021972799	2.68E-04	10.30671017	7.94E+05	6.91E+04	7.25E+05	0.700818005
Oil	1000	0.0109864	2.68E-04	5.153355086	4.66E+05	2.84E+05	1.82E+05	0.700060151
Oil	500	0.0054932	2.68E-04	2.576677543	4.39E+05	3.94E+05	4.54E+04	0.700061655

منابع

- [۱] موحدی م.ح.، (۱۳۹۱) "اصول اندازه گیری جریان سیالات" نشر معبود، تهران.
- [2] ISO 5167-1 (2003) "*Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements* "
- [3] ANSYS 11.0 User's Manual.
- [4] ANSYS Fluent 12.0 User's guide(2009) .
- [5] User Manual, "Ansys inc," Cannonsburg, PA(2000).
- [6] Johansen F.C. (1930) "*Flow through Pipe Orifices at Low Reynolds Numbers* " Proceedings of the royal society of London. series A, containing Papers of a Mathematical and Physical character , 126(801), 231-245.
- [7] Thom A. and Apelt C. J.(1961) "*Field computations in engineering and physics* ".
- [8] Mills R. D. (1968) "*Numerical Solutions of Viscous Flow through a Pipe Orifice at Low Reynolds Numbers*" J. Mech. Eng. Sci., vol. 7, no. 1, p. 5
- [9] Sahin B. and Ceyha H. (1996) "*Numerical and experimental analysis of laminar flow through square-edged orifice with variable thickness*" Trans. Inst. Meas. Control, vol. 18, no. 4, pp. 166–174.
- [10] Erdal A. and Andersson H. I (1997) "*Numerical aspects of flow computation through orifices* " vol. 8, no. 1, pp. 27–37.
- [11] Eiamsa-ard S. and Ridluan A. and Somravysin P. and Promvonge P. and Chok N. (2008) "*Numerical investigation of turbulent flow through a circular orifice* " KMITL Sci.J., vol. 8, no. 1, pp. 44–50.
- [12] Singh R. K. and Singh S. N. and Seshadri V.(2010) "*Performance evaluation of orifice plate assemblies under non-standard conditions using CFD* " Indian J. Eng. Mater. Sci., vol. 17, no. 6, pp. 397–406.
- [13] Shah M. S. and J. B. Joshi J. B. and Kalsi A. S. and Prasad C. S. R. and

- Shukla D. S (2012) “*Analysis of flow through an orifice meter: CFD simulation*” Chem. Eng. Sci., vol. 71, pp. 300–309.
- [14] Huang S. and Ma T. and Wang D. and Lin Z.(2013) “*Study on discharge coefficient of perforated orifices as a new kind of flowmeter*” Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 46, pp. 74–83, 2013.
- [15] Benedict R. P. and Wyler J. S.(1974) “*A generalized discharge coefficient for differential pressure type fluid meters*” J. Eng. Power, vol. 96, no. 4, pp. 440–448.
- [16] Bharani S. and Mishra R. and Singh S. N. and Seshadri V.(1999) “*Performance characteristics of an eccentric venturi meter with elongated throat for flow rate measurement of solid-liquid flows*” vol. 6, no. June, pp. 119–124.
- [17] Reader-Harris M. J.and Brunton W. C.and Gibson J. J.and Hodges D. and Nicholson I. G.(2001) “*Discharge coefficients of Venturi tubes with standard and non-standard convergent angles,*” Flow Meas. Instrum., vol. 12, no. 2, pp. 135–145.
- [18] Stobie G. S. and Hart R. and Svedeman S. and Zanker K.(2007) “*Erosion in a Venturi Meter with Laminar and Turbulent Flow and Low Reynolds Number Discharge Coefficient Measurements*” 25th Int. North Sea Flow Meas. Work., pp. 1–21.
- [19] Miller G. J.and Pinguet B. G.and Theuveny B., and Mosknes, P. O. (2009) “*The influence of liquid viscosity on multiphase flow meters*” TUV NEL, Glasgow, United Kingdom.< [http://www. tekna. no/ikbViewer/Content/778329/14_Miller%20HV_Multiphase. pdf](http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/778329/14_Miller%20HV_Multiphase.pdf)>(Feb. 16, 2010)
- [20] Ms K. and Seshadri V. (2015) “*Prediction of Viscous Coefficient of Venturi Meter under Non ISO Standard Conditions*” in International Journal of Engineering Research and Technology, vol. 4, no. 05 pp.

1338–1343.

- [21] Singh S. N. and Seshadri V. and Singh R. K. and Gawhade R. (2006) “*Effect of upstream flow disturbances on the performance characteristics of a V-cone flowmeter*” *Flow Meas. Instrum.*, vol. 17, no. 5, pp. 291–297.
- [22] Tan C. and Dong F. and Zhang F. and Li W. (2009) “*Oil-Water Two-Phase Flow Measurement with a V- Cone Meter in a Horizontal Pipe*” *Electr. Eng.*, no. May, pp. 5–7.
- [23] Xie D. and Zhu Y. and Tao S. (2011) “*Flowrate measurement of gas/liquid two-phase flow base on the double-cone flowmeter*” in *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* pp. 1–4.
- [24] Frenzel F. and Grothey H. and Habersetzer C. and Hiatt M. and Hogrefe W. and Kirchner M. and Lütkepohl G. and Marchewka W. and Mecke U. and Ohm M. (2011) “*Industrial Flow Measurement Basics and Practice*” *ABB Autom. Prod. GmbH*.
- [25] Kuphaldt T. (2014) “*Lessons in Industrial Instrumentation.[e-book]*” vol. 19.
- [26] Standard ISO 5167 (2003) (“*Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full-Part 2: Orifice plates*” *EN ISO*, pp. 5162–5167.
- [27] Reader-Harris, M. (2015). “*Orifice plates and venturi tubes*” Springer International Publishing.
- [28] McCrometer(2002) “*Flow calculations for the V-cone and wafer-cone flow meters*”.
- [29] Kundu P. (2010) “*Fluid Mechanics*” Elsevier.

[۳۰] صنیعی نژاد م، (۱۳۸۸) "مبانی جریان‌های آشفتنه و مدل سازی آن‌ها"، انتشارات دانش‌نگار،

تهران

- [31] Miller R. W.(1996) “*Flow measurement engineering handbook*”
- [32] Halmi D.(1974) “*Metering Performance Investigation and Substantiation of the ‘Universal Venturi Tube’(UVT): Part 1—Hydraulic Shape and Discharge Coefficient*” *J. Fluids Eng.*, vol. 96, no. 2, pp. 124–131.
- [33] Yakhot V. and Orszag S. A.(1986) “*Renormalization-group analysis of turbulence*” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 57, no. 14, p. 1722.
- [34] “User’s Guide,” no. September, 2006.

Abstract

One way to measure the fluids flow inside the tubes is measuring by pressure difference that due to simplicity, low cost and being based on proven scientific principles, it has many applications in measuring of gases and fluids flows. This measurement basis is that by positioning an element in fluid flow path, a pressure difference would be created on both side of this element, this easily measurable pressure difference in sides of element is proportional to the fluid flow rate. Flow meters that measure flow rate using pressure differences are including an orifice flow meter, ventury meter and cone flow meter. Determining of actual discharge of flow is a common goal in all these three flow meters. Discharge Coefficient (C_d) is used to transform theory discharge to actual discharge. In this thesis, the relationship between discharge coefficient and Reynolds number in above-mentioned flow meters were investigated. Computational fluid dynamics software of Ansys Fluent and ICEM-CFD software were used to analyze and produce of net respectively. This investigation was done in laminar and turbulent regime. For Reynolds numbers of higher than 20000, water and for Reynolds numbers of less than 20000, oil were used as fluid. Considering models for each flow meter, each model was run according to chosen Reynolds number and eventually discharge coefficient was obtained by determining pressure differences of between surfaces. To represent the results, discharge coefficient and Reynolds number were plotted on semi log graph in x-axis. Also in order to validate the results, the obtained results were compared with results of previous works. According to the results, discharge coefficient in ventury flow meter and crone flow meter had a specified trend proportional to Reynolds number but in orifice flow meter this trend was different.

Keywords: Differential flow meter, Venturi meter, Orifice meter, V-cone meter, Discharge coefficient



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering
MSc Thesis in Water and Environmental Engin

Discharge Coefficient Determination in pipe Discharge Measurment Tools

By: Zeynab Fazli Moghadam

Supervisor:
Dr. Ramin Amini

September 2016