فصل دوم:

دستگاه اریفیس متر

بخش اول: تئوری دستگاه اریفیس متر

اصول اندازه گیری جریان توسط اریفیس متر

هر دستگاه اندازه گیری، مستقل از نوع آن، از دو قسمت مجزا تشکیل شده است که هر کدام وظیفه مشخص به خود را انجام می دهند. بخش اول دستگاه که به نام جزء اولیه شناخته می شود بخشی است که با سیال در تماس است و این تماس می تواند اشکال مختلفی داشته باشد. بخش دوم دستگاه یعنی جزء ثانویه بخشی است که نوع تماس بخش اولیه با سیال را به سیگنال مشخصی تبدیل می کند که این سیگنال می تواند به شکل حجم، وزن، نرخ جریان و ... تغییر شکل داده و نتایج جریان سنجی را ارائه دهد.

در یک اریفیس متر، روزنه مربوطه به علاوه بخش هایی از لوله که در کنار آن قرار دارند و همچنین اتصالات فشار سنج جانبی همگی به عنوان جز اولیه محسوب می شوند و ابزار های محاسبه اختلاف فشار و همچنین مکانیزم های مورد استفاده برای تبدیل اختلاف فشار به نرخ جریان و تجهیزات جانبی دستگاه که برای نشان دادن نتیجه نهایی استفاده می شوند را می توان جزء ثانویه دانست. این ترکیب دو تایی جزء اولیه و جزء ثانویه را در همه انواع ابزار های سنجش می توان به وضوح مشاهده نمود.

جریان سنج ها را می توان در دو گروه عمده تقسیم بندی نمود:

گروه اول، جریان سنج های جابجایی مثبت، (quantity meters) که مقدار جریان را اندازه می گیرند و گروه دوم، جریان سنج های استنتاجی که نرخ جریان (rate meters) را ارائه می دهند.

جریان سنج های جابجایی مثبت

برخی از معروف ترین جریان سنج های جابجایی مثبت (شمارشگر) عبارتند از جریان سنج های وزنی، جریان سنج های پیستونی رفت و برگشتی، جریان سنج های پیستونی چرخشی، جریان سنج های صفحه رقاصکی، جریان سنج های پره بیضوی و اغلب جریان سنج هایی که برای اندازه گیری نرخ های بسیار پایین جریان در گاز ها استفاده می شوند.

جریان سنج های استنتاجی

a) اریفیس ها: این ابزار اندازه گیری که معمولترین ابزار اندازه گیری جریان است از یک صفحه نازک با یک روزنه در مرکز آن تشکیل شده است که در ادامه این فصل بیشتر به جزئیات آن خواهیم پرداخت.

b) لوله های ونتوری و نازل ها: نازل های جریان و لوله های ونتوری ابزار های سنجش ابتدایی هستند که جریان عبوری از آنها نزدیک به بیش از ۶۰٪ از جریان عبوری از روزنه اریفیس متر در شرایط یکسان بیشتر است و در نتیجه حجم بیشتری از سیالات را از خود می گذرانند. این ابزار ها هزینه های نصب بیشتری نسبت به اریفیس متر ها دارند و همچنین تغییر سایز و همچنین بازرسی آنها نیز به مراتب مشکل تر است.

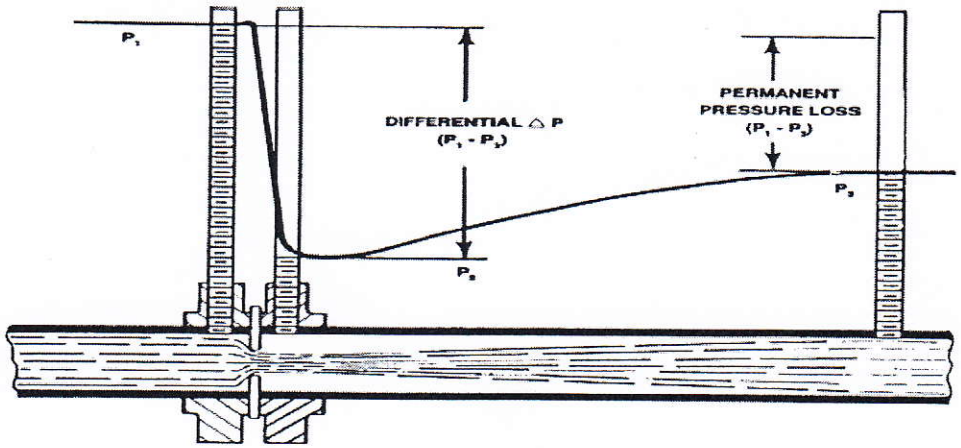
c) لوله های پیتوت: لوله پیتوت یا همان لوله ضربه ای از تفاوت بین فشار ایستا و فشار جنبشی در یک نقطه مشخص برای اندازه گیری جریان استفاده می کند. برای بدست آوردن پروفایل جریان در مقطع لوله می توان از ابزاری که چندین لوله پیتوت در آن تعبیه شده است استفاده نمود.

d) جریان سنج های توربینی: جزء اولیه این ابزار توربینی است که در زیر آب قرار دارد و در اثر برخورد جریان سیال با آن نیروی محرکه لازم برای حرکت آن مهیا می شود. نرخ جریان متناسب با تعداد چرخش این توربین در واحد زمان بدست می آید.

e) جریان سنج های چرخشی، ورتکسی، روتامتر ها و ... : این ابزارها که برای محاسبه نرخ جریان استفاده می شوند ابزار هایی هستند که برای استفاده از آنها احتیاج به جزئیات و شرایط خاصی است که باید توسط سازنده آنها مشخص شود.

اریفیس متر چیست؟

اریفیس متر مجرایی است که برای جریان سیال مانعی ایجاد می کند و این مانع موجب ایجاد افت فشار در آن نقطه می شود. ساعت شنی نوعی اریفیس است. نازل، ونتوری و یا هر مجرای شیب دار می تواند به عنوان مانع سیال استفاده شود. به منظور استفاده از هر کدام از این ابزار ها برای اندازه گیری لازم است که عملیات کالیبراسیون صورت گیرد. برای کالیبراسیون سیال با جریان های معلوم از دستگاه اندازه گیری عبور داده می شود و با استاندارد نمودن دستگاه از آن برای اندازه گیری جریان های نا مشخص سیال استفاده می گردد. شکل ۱۶ اریفیسی را در یک خط لوله نشان می دهد که از یک مانومتر برای اندازه گیری افت فشار دو طرف آن استفاده شده است. حداقل سطح مقطع عرضی جت ایجاد شده را در اصطلاح vena contracta گویند.



شکل ۱۶. حالت عمومی یک اریفیس متر

اریفیس متر چگونه کار می کند؟

یادآوری می کنیم که طبق اصول مکانیک سیالات رفتار سیال در ارفیس به گونه ای است که فشار در ابتدا کمی افزایش می یابد و سپس با گذر از روزنه اریفیس ناگهان افت می کند. افت فشار تا زمانی ادامه دارد که سیال در فضای vena contracta باشد و سپس فشار رفته رفته افزایش می یابد و تقریبا در فاصله بین ۵ تا ۸ برابر قطر لوله از اریفیس به بیشترین فشار ممکن می رسد که کمتر از فشار سیال در بالا دست اریفیس می باشد. کاهش فشار سیال گذرنده از اریفیس منجر به افزایش سرعت آن می گردد و با گذر سیال از روزنه سرعت به تدریج کمتر شده و فشار برای رسیدن به فشار بالا دست روزنه اریفیس افزایش می یابد اما به دلیل وجود اتلافات حاصل از اصطکاک و تلاطم سیال کاملا به آن نمی رسد. هر چه نرخ جریان سیال بیشتر باشد افت فشار نشان داده شده توسط اریفیس بیشتر است. هنگامی که هیچ جریانی وجود ندارد واضح است که هیچ اختلاف فشاری نیز مشاهده نمی شود. اختلاف فشار با مربع سرعت سیال متناسب است و بنابراین می توان گفت اگر فاکتور های دیگر همگی ثابت بمانند اختلاف فشار با مربع نرخ جریان متناسب است.

تاریخچه اندازه گیری جریان با اریفیس متر

قدیمی ترین سند مربوط به استفاده از اریفیس برای اندازه گیری جریان مربوط است به آزمایشات سال ۱۷۹۷ فیزیکدان ایتالیایی Giovanni B. Venturi، که نتایج آن منجر به ساخت ونتوری متر امروزی در سال ۱۸۸۶ توسط Clemons Herschel گردید. در سال ۱۸۹۰ پروفسور Robinson از دانشگاه ایالتی اهایو، اریفیس متری را برای اندازه گیری جریان گاز طراحی نمود. در سال ۱۹۰۳ دکتر Weymouth در دانشگاه پنسیلوانیا دست به انجام سری آزمایشاتی زد که نتیجه آن انتشار جداول مربوط به ضرایب اریفیس با روزنه های فلنجی بود. در همان زمان آقای E.O. Hickstein

آزمایشات مشابهی را در دانشگاه میسوری انجام داد که اطلاعات مربوط به اریفیس متر ها با روزنه های لوله ای را ارائه می دادند.

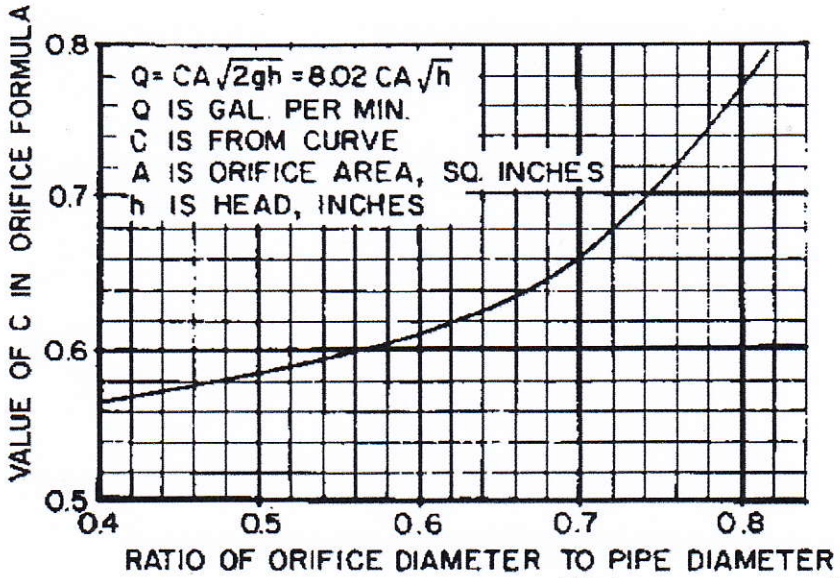
عمده فعالیت های آزماشگاهی و تحقیقاتی بر روس اریفیس متر در سال های ۱۹۲۴ الی ۱۹۳۵ توسط انجمن گاز آمریکا و جامعه مهندسان مکانیک آمریکا به منظور توسعه ضرایب اریفیس متر و همچنین استاندارد نمودن ساختار آن صورت گرفت. در سال ۱۹۳۵ این دو گروه گزارش مشترکی را تحت عنوان " تاریخچه اریفیس متر، کالیبراسیون، ساخت و عملیات آن برای اندازه گیری" منتشر نمودند که هم اکنون نیز پایه و اساس اغلب آزمایشات مربوط به اندازه گیری جریان توسط اریفیس متر است. ورژن بازبینی شده این گزارش در سال ۱۹۹۱ توسط API در کتابچه استاندارد های اندازه گیری نفتی، فصل ۱۴، بخش سوم منتشر شد. همچنین اسناد و انتشارات بسیاری نیز در کنار این گزارشات وجود دارند که می توانند پایه و اساس تحقیقات بر روی این وسیله اندازه گیری قرار گیرند که از آن جمله می توان به ششمین ویرایش جریان سنج های ASME، فصل چهارم کتاب جامع مهندسی اندازه گیری سیالات نوشته R.W. Miller و کتاب راهنمای ASME Power Test Code اشاره نمود. برای مدیریت مطلوب هر سیالی نیاز است که نرخ جریان آن به دقت قابل اندازه گیری باشد. یک ابزار ساده اما در عین حال اقتصادی و دقیق برای اندازه گیری نرخ جریان سیال ابزاری است به نام اریفیس متر. در منابع مختلف از این ابزار با نام های دیگری چون pipe orifice و end-cap orifice نیز یاد شده است. نرخ جریان در این ابزار بر اساس مشخصه های روزنه موجود در آن و افت فشار سیال محاسبه می شود. برای داشتن بیشترین دقت اغلب فشار سیال به وسیله مانومتر اندازه گیری می شود. در این وسیله چون از اجزای متحرک استفاده نمی شود در نتیجه کالیبراسیون آن با دقت بیشتری انجام می شود و این باعث شده است که دقت کلی این وسیله از دیگر ابزار های جریان سنجی تا حدودی بالاتر باشد.

معادلات اریفیس متر

برای هر اندازه از روزنه اریفیس متر نرخ جریان متناسب با افت فشار سیال بر اساس رفتار مشخصی تغییر می کند. جریان خروجی از روزنه اریفیس از معادله ۱ محاسبه می شود:

$$Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$$

که Q جریان خروجی از اریفیس است که واحد آن gpm می باشد و C_d (discharge coefficient) نیز ضریبی است که بر اساس نسبت قطر روزنه به قطر لوله اصلی تغییر می کند و بر اساس نمودار شکل ۱۷ مشخص می گردد.



شکل ۱۷. نمودار مربوط به تعیین C

A_O (orifice area) نیز عبارت است از مساحت مقطع عرضی روزنه اریفیس متر که واحد آن اینچ مربع است و H نیز نماد مربوط به عدد نشان دهنده اختلاف ارتفاع مانومتر آبی با واحد اینچ است.

مقدار عددی ضریب C از آن جهت با تغییر نسبت قطر روزنه به قطر لوله اصلی تغییر می کند که با تغییر سایز روزنه، خطوط جریان همگرا نیز تغییر می کند و همچنین C تابعی از اتلاف اصطکاکی ناشی از دیواره روزنه نیز می باشد.

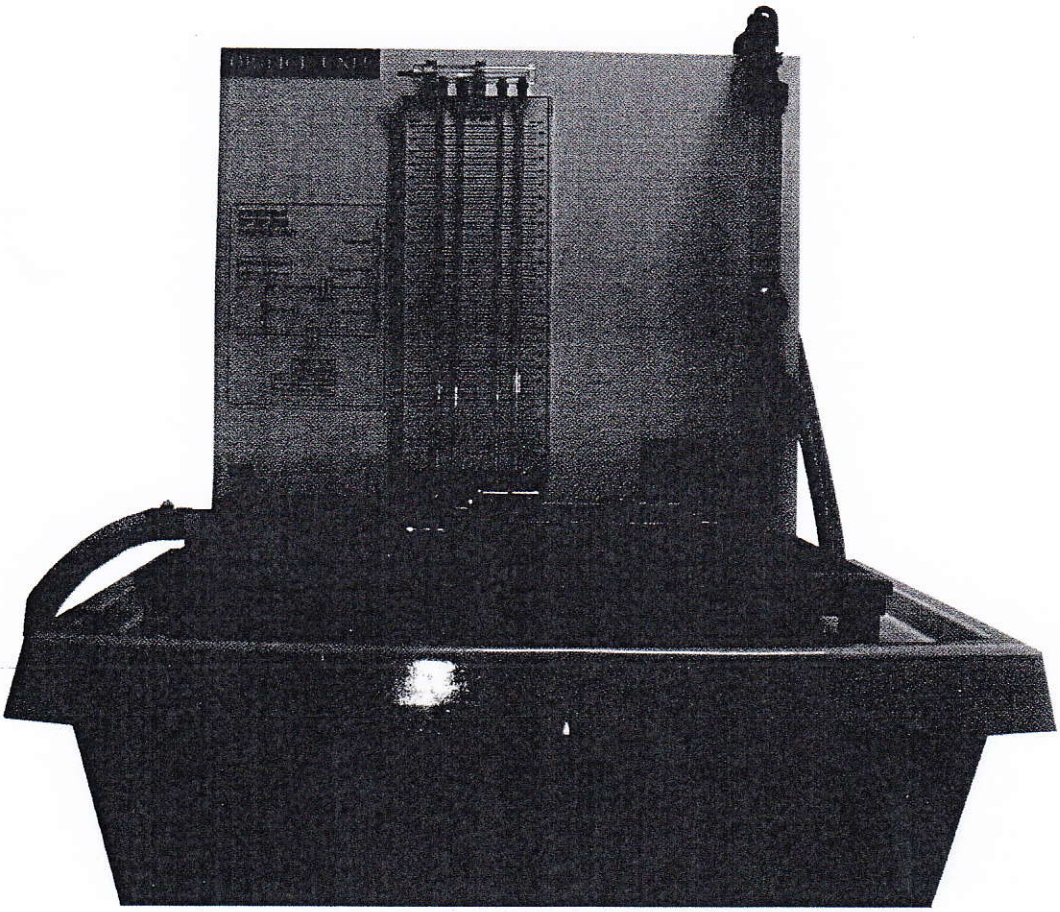
$Q = C_d A_O \sqrt{2gH}$	معادله شدت جریان.
$C_d = \frac{Q}{A_O \sqrt{2gH}}$	معادله ضریب تخلیه
$A_O = \frac{Q}{C_d \sqrt{2gH}}$	معادله سطح روزنه
$H = \frac{\left(\frac{Q}{C_d A_O}\right)^2}{2g}$	معادله اختلاف ارتفاع

بخش دوم: نحوه انجام آزمایش ها در اریفیس متر

شرح دستگاه

این دستگاه که شمای کلی آن را در شکل ۱۸ نشان داده شده است، یکی از معروف ترین و کاربردی ترین مجموعه های آزمایشی برای بررسی و مطالعه معادلات اریفیس است. در این دستگاه دو اریفیس با قطر روزنه متفاوت به همراه یک سیستم لوله کشی که آب را به کمک یک پمپ از مخزن به این اریفیس ها هدایت می کند و سپس به مخزن باز می گردارد جهت مطالعه و انجام آزمایش های مختلف بر روی جریان در نظر گرفته شده است.

شکل دستگاه



شکل ۱۸ . شمای کلی دستگاه اریفیس متر

نحوه انجام آزمایش ها : اریفیس متر

شرح قطعات

این دستگاه به همراه کلیه تجهیزات لازم برای انجام آزمایشات به شرح زیر ساخته شده است.

۱-اریفیس ۱۶ میلیمتری

۲- اریفیس ۲۰ میلیمتری

۲- شیر تنظیم و کنترل دبی

۳- روتامتر ۲۵۰-۲۵۰۰ لیتر بر ساعت

۴- کولکتور

۵- مانومتر چند لوله ای

۶- صفحه مدرج

۷- مخزن فایبر گلاس

۸- پمپ کف کش از جنس استیل

۹- شیر وردی

مراحل انجام آزمایشات

در جریان آزمایش های طراحی شده برای این دستگاه قصد داریم معادلات محاسبه شدت جریان بوسیله اریفیس را برای دو اریفیس با قطر روزنه متفاوت به کار بریم و نتایج بدست آمده را با نتایج بدست آمده از روتامتر همراه دستگاه مقایسه نماییم. با استفاده از نتایج بدست آمده از لوله های مانومتر و با استفاده از اختلاف ارتفاع های مشاهده شده، جدول مربوط به آزمایش را تکمیل نموده و با توجه به اطلاعات موجود از فرمول های تئوری استخراج کرده و با دبی اصلی که روتامتر نشان می‌دهد مقایسه نموده و از این طریق ضریب تخلیه واقعی اریفیس را محاسبه کنیم.

همانگونه که در بخش تئوری نیز بیان شد، بطور کلی برای محاسبه جریان از اطلاعات بدست آمده از دو مانومتر متصل به مقطع اریفیس و اندازه قطر روزنه و قطر لوله جریان استفاده می شود. در جدول مربوط به این آزمایش سه حالت برای سیستم در نظر گرفته شده است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

آزمایش اول: سیستم تک اریفیس

پس از راه اندازی اولیه دستگاه و ثابت شدن ارتفاع سیال درون مانومتر ها و هواگیری، یکی از اریفیس‌ها را انتخاب نموده و دو شیر موجود روی مسیر لوله ها را به گونه ای تنظیم کنید که جریان سیال تنها از آن اریفیس بگذرد (یک شیر باز و یک شیر بسته). اختلاف ارتفاع سیال را در مانومتر متصل به اریفیس انتخابی به کمک صفحه مدرج خوانده و در جدول وارد نمایید. قطر مقطع روزنه

نحوه انجام آزمایش ها : اریفیس متر

اریفیس انتخابی و قطر داخلی لوله اصلی را از روی تابلو خوانده و در جدول وارد نمایید. سپس با توجه به بخش تئوری و جدول داده شده در این بخش C تئوری را بدست آورده و همراه با دیگر اطلاعات درخواستی وارد جدول نمایید و به کمک معادله اریفیس جریان را محاسبه نموده و با جریان خوانده شده از روی روتامتر مقایسه نمایید.

محاسبه دیگری نیز که از روی این داده ها قابل انجام است، بدست آوردن ضریب واقعی تخلیه و مقایسه آن با ضریب تئوری بدست آمده از روی جدول است که به کمک جریان خوانده شده از روی روتامتر و معادله ضریب تخلیه است. برای تنظیم دبی مناسب توسط روتامتر می توانید از دبی ۵۰۰ لیتر بر ساعت شروع کرده و به صورت پله ای آن را افزایش دهید تا به دبی ۱۴۰۰ لیتر بر ساعت برسید.

$$Q = \frac{\text{دبی مشاهده شده از روی روتامتر}}{} \left(m^3/s\right)$$

جدول ۴. جدول کار سیستم تک اریفیس

حالت سیستم	قطر روزنه اریفیس (m)	ارتفاع مانومتر (m)	قطر داخلی لوله اصلی (m)	ضریب تخلیه تئوری C_v	سطح مقطع روزنه اریفیس (m^2)	دبی محاسبه شده $\left(m^3/s\right)$	ضریب تخلیه واقعی C_v
A	۰/۰۱۶						
B	۰/۰۲						

آزمایش دوم: سیستم دو اریفیس (ترکیبی)

پس از راه اندازی اولیه دستگاه و ثابت شدن ارتفاع سیال درون مانومتر ها و هواگیری، دو شیر موجود روی مسیر لوله ها را باز نمایید که جریان سیال از هر اریفیس بگذرد. اختلاف ارتفاع سیال را در دو مانومتر به کمک صفحه مدرج خوانده و در جدول وارد نمایید. قطر مقطع روزنه اریفیس ها و قطر داخلی لوله اصلی را از روی تابلو خوانده و در جدول وارد نمایید. سپس با توجه به C های واقعی و تئوری بدست آمده در آزمایش های قبل و دیگر اطلاعات درخواستی جدول، به کمک معادله اریفیس جریان گذرا از هر یک را محاسبه نموده و مجموع آنها را با جریان خوانده شده از روی روتامتر مقایسه نمایید و در رابطه با دلایل اختلاف این دو عدد بحث نمایید.

نحوه انجام آزمایش ها : اریفیس متر

جدول ۵. جدول کار سیستم دو اریفیس (ترکیبی)

اریفیس	قطر روزنه اریفیس (m)	ارتفاع مانومتر (m)	قطر داخلی لوله اصلی (m)	ضریب تخلیه تئوری C_v	ضریب تخلیه واقعی C_v	سطح مقطع روزنه اریفیس (m^2)	دبی محاسبه شده از ضریب تخلیه تئوری (m^3/s)	دبی محاسبه شده از ضریب تخلیه واقعی (m^3/s)
A	۰/۰۱۶							
B	۰/۰۲							
						مجموع		
						دبی روتامتر		
						اختلاف		